

Aus dem Zentrum für Augenheilkunde der Universität zu Köln  
Klinik und Poliklinik für Allgemeine Augenheilkunde  
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med C. Cursiefen

# Zuverlässigkeit der Stereofotogrammetrie für Flächenmessungen im periokulären Bereich

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Maxim Formuzal  
aus Ceadir-Lunga (Moldawien)

promoviert am  
09.09.2022

---

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Universitätsprofessor Dr. med. Dr. phil. L. Heindl
2. Gutachter: Privatdozent Dr. med. R. Widder

### **Erklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Dr. med. Alexander C. Rokohl

Marat Arakelyan

Jinhua Liu

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

### **Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:**

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 24/2011) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 10.10.2021

  
Unterschrift: .....

---

Die Messdaten wurden zusammen mit Herrn Marat Arakelyan und Frau Jinhua Liu ermittelt und ausgewertet.

Zur direkten Messung der Größe der einzelnen Gegenständen wurde ein Messschieber verwendet.

Die Stereofotografie wurde mit dem VECTRA M3 3D -Bildgebungssystem (Canfield Scientific, Inc., Fairfield, NJ, USA) aufgenommen

Die Balkendiagramme wurden mit Hilfe der GraphPad Prism Version 8 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA) erstellt.

Alle statistischen Analysen wurden mit der SPSS-Software Version 22 (IBM Corporation, Armonk, NY) durchgeführt.

---

# Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Doktorarbeit unterstützt haben. Insbesondere gilt mein Dank den folgenden Personen, ohne deren Hilfe die Anfertigung dieser Doktorarbeit niemals zustande gekommen wären: Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Heindl, für die Betreuung dieser Arbeit sowie der freundlichen Hilfe und Unterstützung.

Insbesondere der konstruktive Austausch und die regelmäßigen Gespräche auf fachlicher und persönlicher Ebene waren stets eine große Hilfe für mich und haben mich stets positiv beeinflusst und ermutigt.

Auch danke ich Herrn Dr. Rokohl. Sowohl die wissenschaftliche Betreuung als auch die Hilfsbereitschaft waren mir stets eine große Unterstützung. Mein ganz besonderer Dank gilt Jinhua Liu und Marat Arakelyan für die wissenschaftliche Zusammenarbeit im Projekt Stereoblepharoplastik. Diese war stets geprägt von einer angenehmen Atmosphäre, wertvollen Diskussionen und gegenseitiger Unterstützung. Meinen Eltern und meinen Brüdern möchte ich ganz besonders herzlich danken für die aufmerksame, liebevolle und vielseitige Unterstützung während des Verfassens dieser Arbeit und während meines gesamten Studiums.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen Verwandten, Freunden und Studienkollegen, die mich auch in schwierigen Zeiten unterstützt und immer wieder aufgeheitert haben. Dies war stets ein großer Rückhalt für mich, der als wichtiger Teil zum Erfolg meines Studiums beigetragen hat.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagungen</b> .....	4
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	6
<b>1. Einleitung</b> .....	7
1.1 Ursprünge der Anthropometrie.....	7
1.2 Dreidimensionale Stereofotogrammetrie .....	10
<b>2. Materialien und Methoden</b> .....	13
2.1 Teilnehmer .....	13
2.2 Gegenstände .....	14
2.3 Bilder .....	19
2.4 Messungen .....	25
2.5 Datenanalyse .....	27
<b>3. Ergebnisse</b> .....	29
<b>4. Diskussion</b> .....	40
<b>5. Zusammenfassung</b> .....	47
<b>6. Literaturverzeichnis</b> .....	48
<b>7. Vorabveröffentlichung von Ergebnissen</b> .....	53
<b>8. Lebenslauf</b> .....	54

---

# Abkürzungsverzeichnis

3D - dreidimensional

2D - zweidimensional

IKK - intraklassen- Korrelationskoeffizient

MAD - mittlere absolute Differenz

TMF - technischer Messfehler

rTMF - relativer technische Messfehler

RMF - relativer Messfehler

---

# 1. Einleitung

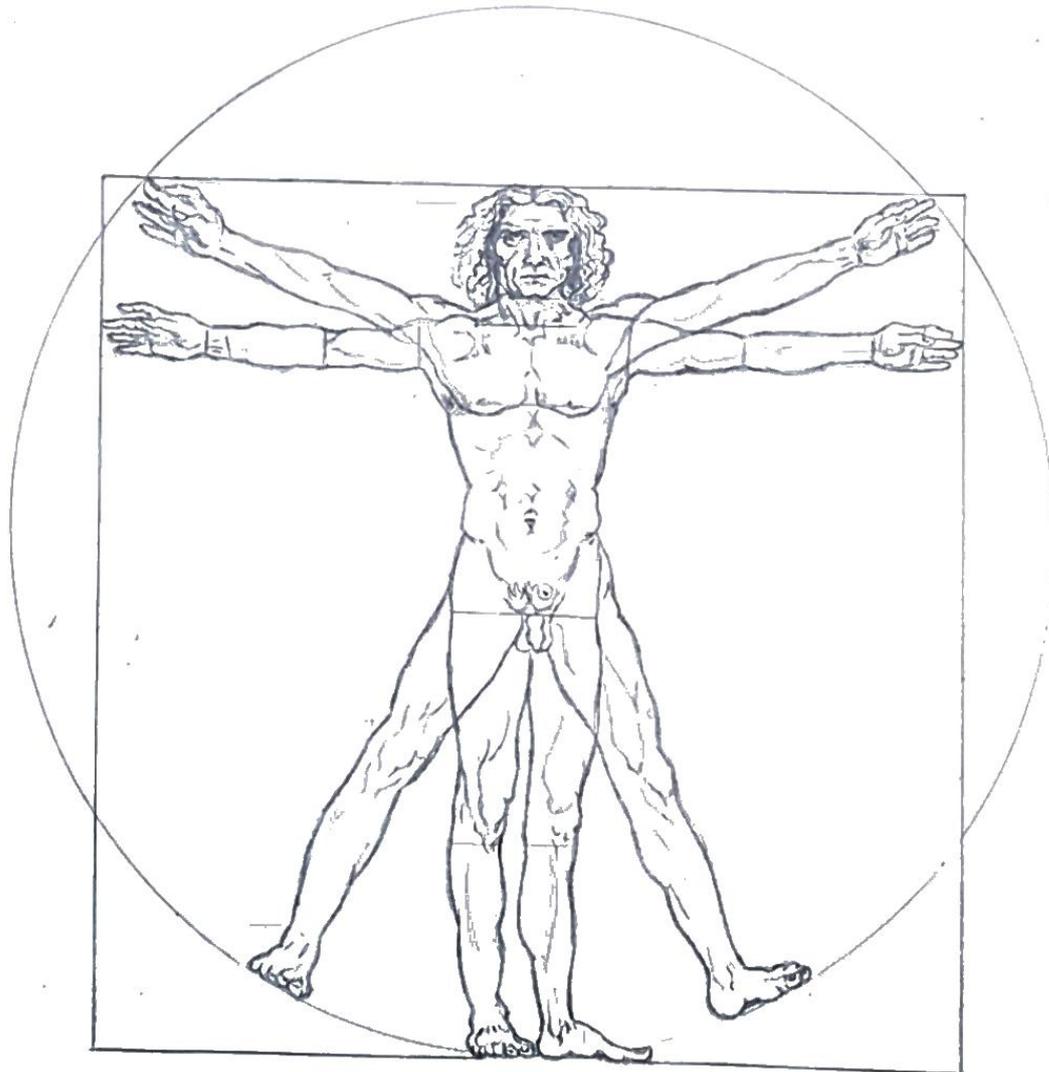
## 1.1 Ursprünge der Anthropometrie

Der Begriff der Anthropometrie besteht aus 2 Wörtern, die ihren Ursprung aus dem Griechischen haben: „Anthropos“ (der Mensch) und „Metros“ (das Maß) [1]. Anthropometrie beschäftigt sich mit der Vermessung des menschlichen Körpers und gilt als eigenständige Wissenschaft [1].

Schon die alten Zivilisationen von Griechenland und Rom machten Gebrauch von den Erkenntnissen der Wissenschaft, um anthropometrische Messungen im Bereich der Kultur und in Form von Kunstwerken vorzunehmen [2]. Der Zweck dieser Messungen war, solche Eigenschaften des Menschen wie Aussehen oder Macht darzustellen. „Menschliche Hände, als Maßeinheit für die Breite“ und „menschliche Füße, als Maßeinheit für die Länge“ [2] wurden von besonderem Interesse für die Messungen.

Später in der Epoche der Renaissance wurden die aus der Obduktion menschlicher Leichen gewonnenen anthropometrische Messdaten dazu benutzt, die möglichst genaue Darstellung des Aufbaus sowohl des menschlichen Körpers, des Skeletts als auch der inneren Organe zu präsentieren [3]. Nicht nur die damaligen Wissenschaftler sondern auch aufstrebende Künstler der Renaissance, wie Leonardo Da Vinci, machten Gebrauch von der anthropologischen Wissenschaft, indem er durch die Obduktion gewonnene Daten der menschlichen Maße für die Optimierung seiner Arbeitsgeräte benutzte [3].

So wurden Skizzen des menschlichen Körpers angefertigt, somit entstand eins der berühmtesten Werke von Leonardo Da Vinci : „Der Vitruvianische Mensch“ (Abbildung 1) [4].



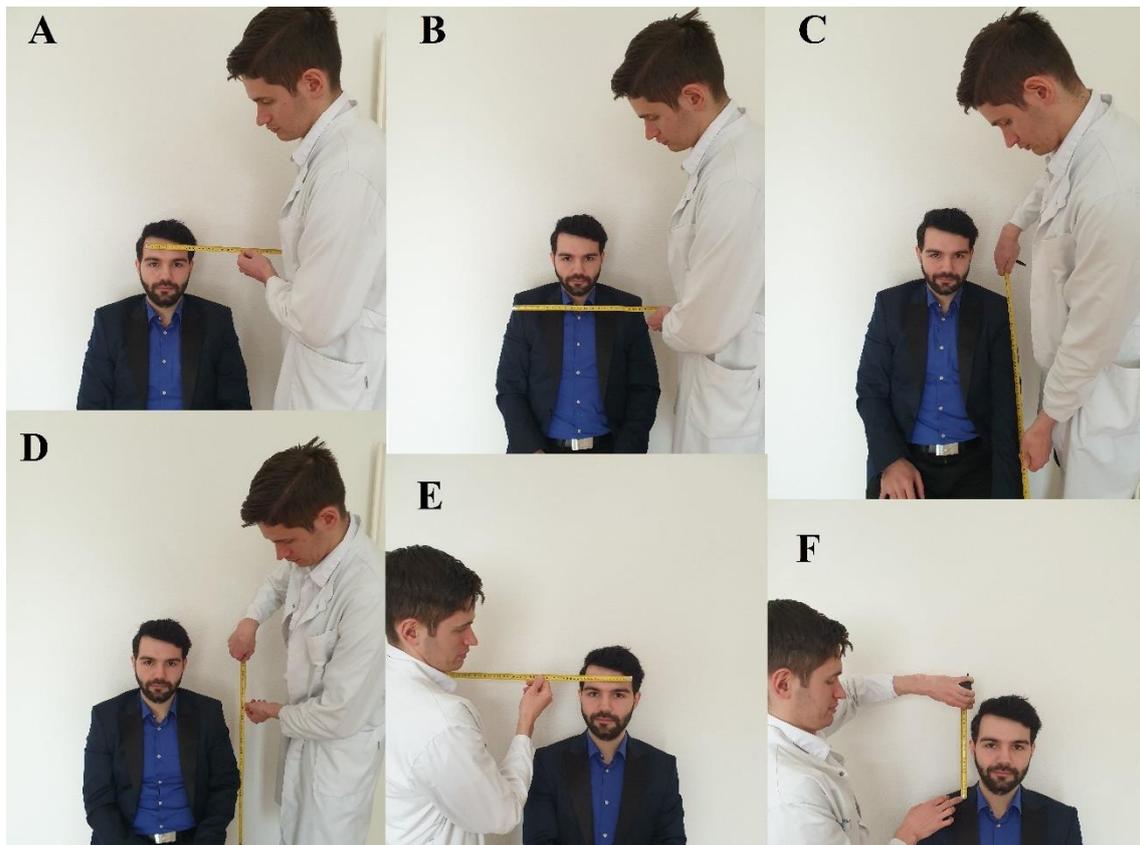
**Abbildung 1:** Nachzeichnung von dem Werk „Der vitruvianische Mensch“

Als die Fotografie entstand, nahmen auch die anthropometrischen Messungen ebenso an Entwicklung zu. So entwickelte der französische Kriminalist und Anthropologe Alphonse Bertillon im 19. Jahrhundert eine neue kriminalistische Identifikationsmethode [5]. Diese Methode basiert auf den Erkenntnissen der Anthropometrie [5]. Sie ist als „Bertillonage“ bekannt und gilt als eins der frühen biometrischen Identifikationssysteme [5].

Nach dem sogenannten Katalogisierungsverfahren wurden die Verdächtigten und Täter unter standardisierten Bedingungen fotografiert und deren Körpermaße ausgemessen [6]. Nach dieser Methode wurden die Länge und Breite folgender Körperregionen: des

---

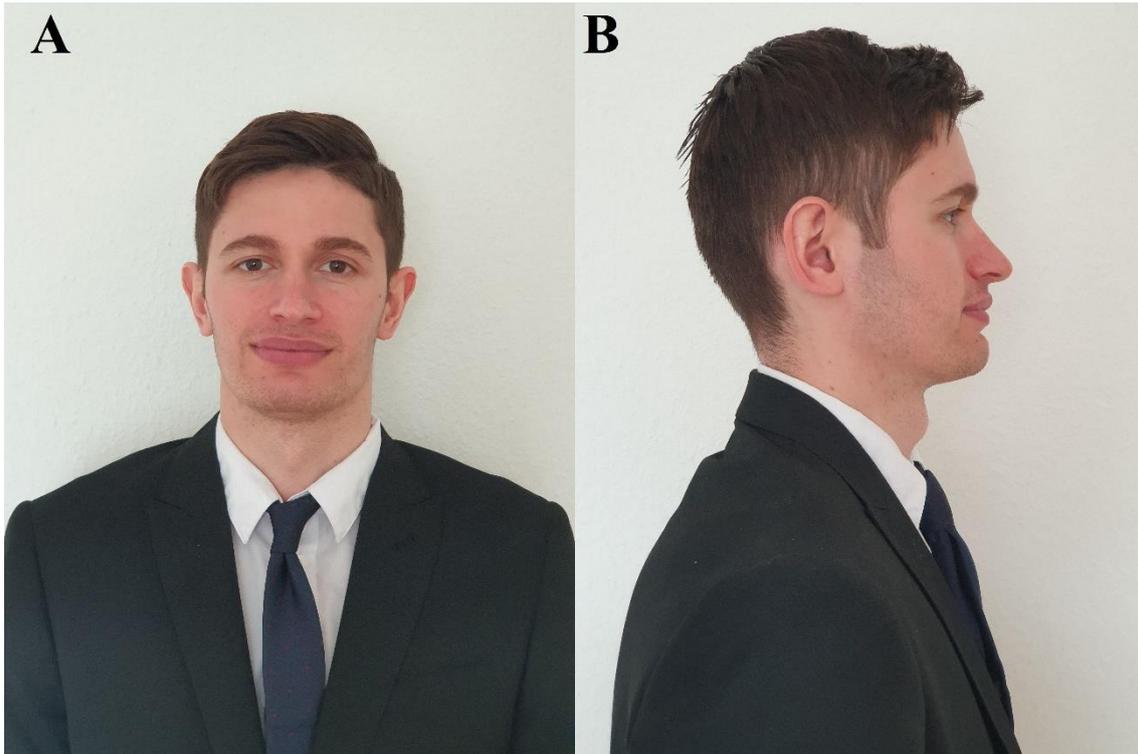
Kopfs, des Ohrs, des Fußes, des Vorderarms vermessen. (Abbildung 2) Auch die Größe und Farbe der Augen wurden registriert und in eine Karte aufgenommen [6].



**Abbildung 2:** Ermittlung der Körperproportionen

A – Kopfbreite, B – Schulterlänge, C – Armlänge, D – Ellenbogenlänge, E – Augenabstand, F – Kopflänge

Obwohl ein schnelleres und genaueres Verfahren namens „Daktyloskopie“ die „Bertillonage“ später ersetzte, ist zu bemerken, dass die letzte immer noch Gebrauch in der Kriminalistik findet [6]. So werden zum Beispiel die Bilder von Tätern und Verdächtigen „en face“ und „en profil“ (von vorne und von Seite) aufgenommen (Abbildung 3) [6]. Man nennt solche Aufnahmen bei der Polizei Mugshot [6].



**Abbildung 3:** „en face“ und „en profil“ A – von vorne, B – von der Seite

## 1.2 Dreidimensionale Stereofotogrammetrie

Die dreidimensionalen Stereofotogrammetrischen Systeme werden in Bereichen, wie z.B. der Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie umfangreich eingesetzt, weil sie die Aufnahme und die Messung der Oberflächengeometrie ermöglichen und eine Messgenauigkeit hier extrem wichtig ist [7]. Auch im Bereich der Anthropometrie haben sich in den letzten Jahren die Anwendungsgebiete der dreidimensionalen Stereofotogrammetrischen Systeme stark erweitert [7].

Die quantitative Analyse der Gesichtsanthropometrie spielt eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Wachstums, der Gestaltung der plastischen Chirurgie, der postoperativen Effektbewertung sowie bei der Messung der Gesichtsmorphologie und der Fehlbildung [8]. Anthropometrische Messungen des Gesichts umfassen Messschieber, zweidimensionale Bilder und dreidimensionale (3D) Methoden, wie die Stereofotogrammetrie [9]. Direkter Kontakt mit der Haut, kontinuierliche Kooperation

---

und Bildverzerrung aufgrund von Tiefentäuschungsdefiziten sind sowohl bei herkömmlichen direkten als auch bei zweidimensionalen Messmethoden unvermeidlich. Die präzise Messung von Fläche und Volumen ist für diese beiden Methoden ebenso unerreichbar [10].

In den letzten Jahren hat die Entwicklung der hochauflösenden Kameratechnologie es ermöglicht, dass die Stereofotogrammetrie eine zunehmend wichtigere Rolle bei der Beschreibung der Gesichtsmorphologie spielt [11]. Bilder können nichtinvasiv, schnell und präzise ohne jegliche Bestrahlung aufgenommen werden. Das kartesische 3D-Koordinatensystem ( $x$ ,  $y$  und  $z$ ) der Stereofotogrammetrie ermöglicht die mathematische Berechnung der Tiefe [12]. Ausgehend von der Tiefe werden die Messungen für Fläche und Volumen zu einem einzigartigen Vorteil und bieten somit eine neuartige und präzise Methode zur Gesichtsbeschreibung. Im Vergleich zur herkömmlichen Linearmessung (bestehend aus zwei Punkten) oder Winkelmessung (bestehend aus drei Punkten) gewinnt die flächen- oder volumenbezogene Anwendung der Stereofotogrammetrie in der klinischen Praxis immer mehr an Bedeutung [13-15]. Laut den technischen Informationen und der Produkteinführung des Herstellers des 3D-Stereofotogrammetrie-Systems Vectra-M3 (<https://www.canfieldsci.com/imaging-systems/vectra-m3-3d-imaging-system/>) wird jedoch behauptet, dass die Volumenmessung ungenau ist. Einige Forscher berichteten auch, dass die Genauigkeit der Volumenmessung durch die 3D-Stereofotogrammetrie bei der Messung empfindlicher Teile, wie das periokuläre Gewebe, nicht zufriedenstellend ist [15].

Die Flächenmessung besteht aus zahlreichen Messpunkten im Zielgebiet und kann mehr Informationen liefern. Obwohl die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Stereofotografie bei den linearen Abstands- und Winkelmessungen in früheren Studien überprüft wurde [10, 16-19]. Leider ist die Zuverlässigkeit der Flächenmessungen im periokulären Bereich (die Oberflächenanatomie des periorbitalen Bereichs, die Stirn, Oberlid, Unterlid und Mittelgesicht umfasst) nicht vollständig überprüft worden. Da die

---

stereografische Flächenmessung eine vielversprechende klinische Anwendung im periokulären Bereich darstellt (wie z.B. die Beurteilung von Augenlidödem, Augenlidnarben oder Augenlidläsionen), soll ihre Durchführbarkeit (Genauigkeit und Zuverlässigkeit) vor einer umfassenden klinischen Anwendung überprüft werden.

Die vorliegende Studie zielte darauf ab, die Zuverlässigkeit der Stereofotografie für Flächenmessungen mit verschiedenen Messzielen an verschiedenen periokulären Bereichen darzustellen, einschließlich der interraten Zuverlässigkeit sowie der Intramethoden-Zuverlässigkeit des Systems VECTRA M3.

---

## **2.Materialien und Methoden**

### **2.1 Teilnehmer**

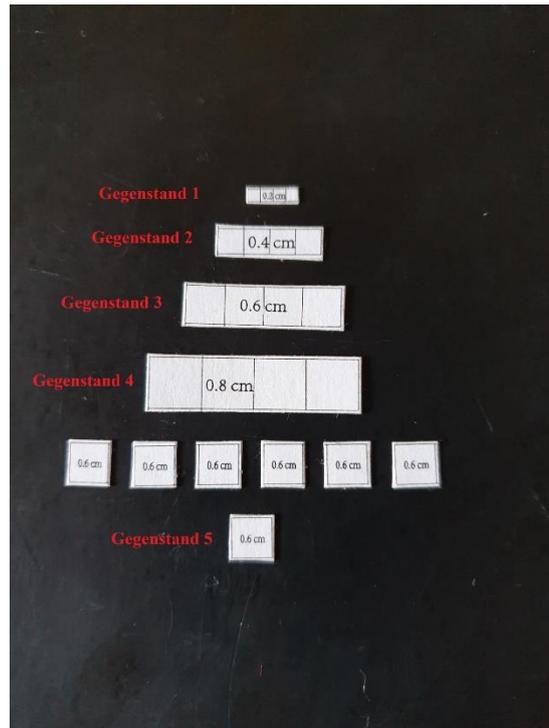
Für diese Studie wurden vierzig gesunde Freiwillige unter vierzig Jahren an der Augenklinik der Universität zu Köln herangezogen. Freiwillige mit Fehlbildungen im Gesicht oder Gesichtsanomalien, Gesichtstrauma und Hautkrankheiten wurden ausgeschlossen. Von allen Teilnehmern wurde vor der Aufnahme der Bilder eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt. Die vorliegende Studie entsprach der Deklaration von Helsinki und deren späteren Änderungen. Die Zustimmung wurde von der institutionellen Ethikkommission vor Ort eingeholt.

---

## 2.2 Gegenstände

Fünf papierartige Gegenstände wurden mit Adobe Illustrator 2019 (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA, USA) entworfen. Die rechteckigen Gegenstände mit den Nummern 1-4 wurden entsprechend mit einer Fläche von  $16 \text{ mm}^2$ ,  $64 \text{ mm}^2$ ,  $144 \text{ mm}^2$  bzw.  $256 \text{ mm}^2$  entworfen. Der quadratische Gegenstand 5 wurde mit einer Fläche von  $36 \text{ mm}^2$  entworfen. Zum Drucken der Gegenstände wurde DIN A4-Kopierpapier verwendet. Doppelseitiges Klebeband mit vernachlässigbarer Dicke wurde verwendet, um die Gegenstände fest auf der Haut zu befestigen. Für jeden Probanden wurden insgesamt 11 einzelne Papierobjekte angefertigt. Die Gegenstände 1-4 jeweils ein Exemplar, Gegenstand 5 – sieben Exemplare. (Abbildung 4)

Zur direkten Messung der Größe der einzelnen Gegenständen wurde ein Messschieber verwendet, um die Flächenkonsistenz zu erhalten (Abbildung 5). Die Gegenstände 1-4 wurden separat in der Mitte des Unterlids unterhalb des Lidrandes platziert (Abbildung 6). Der Gegenstand Nummer 5 wurde in sieben verschiedenen Positionen eingefügt: - das Endokanthion und oberes mediales, oberes mittleres, oberes laterales, unteres mediales, unteres mittleres und unteres laterales Augenlid (Abbildung 7). Jeder Gegenstand wurde in einem Abstand von 5 mm vom Lidrand gehalten, um den Einfluss der Wimpern auf die Messungen zu verringern.



**Abbildung 4:** Gegenstände 1-5

Gegenstand 1 mit  $16 \text{ mm}^2$

Gegenstand 2 mit  $64 \text{ mm}^2$

Gegenstand 3 mit  $144 \text{ mm}^2$

Gegenstand 4 mit  $256 \text{ mm}^2$

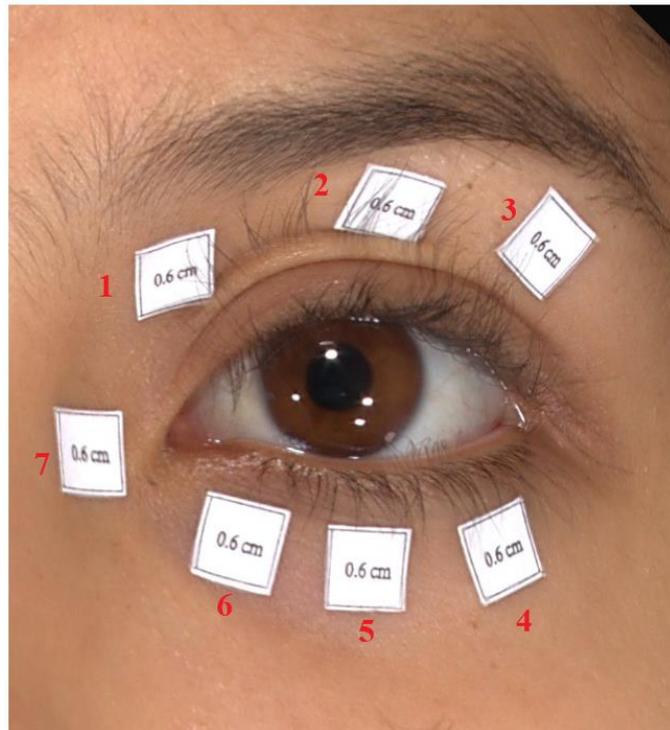
Gegenstand 5 mit  $036 \text{ mm}^2$



**Abbildung 5:** Messschieber mit einer Genauigkeit von 0,005 cm



**Abbildung 6:** Positionierung der Gegenstände 1-4 ungefähr 0.5 cm vom Unterlidrand



**Abbildung 7:**

Positionierung von Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) an sieben Stellen

- 1 - das obere mediale Augenlid
- 2 - das obere mittlere Augenlid
- 3 - das obere laterale Augenlid
- 4 - das untere laterale Augenlid
- 5 - das untere mittlere Augenlid
- 6 - das untere mediale Augenlid
- 7 - Endokanthion

---

## 2.3 Bilder

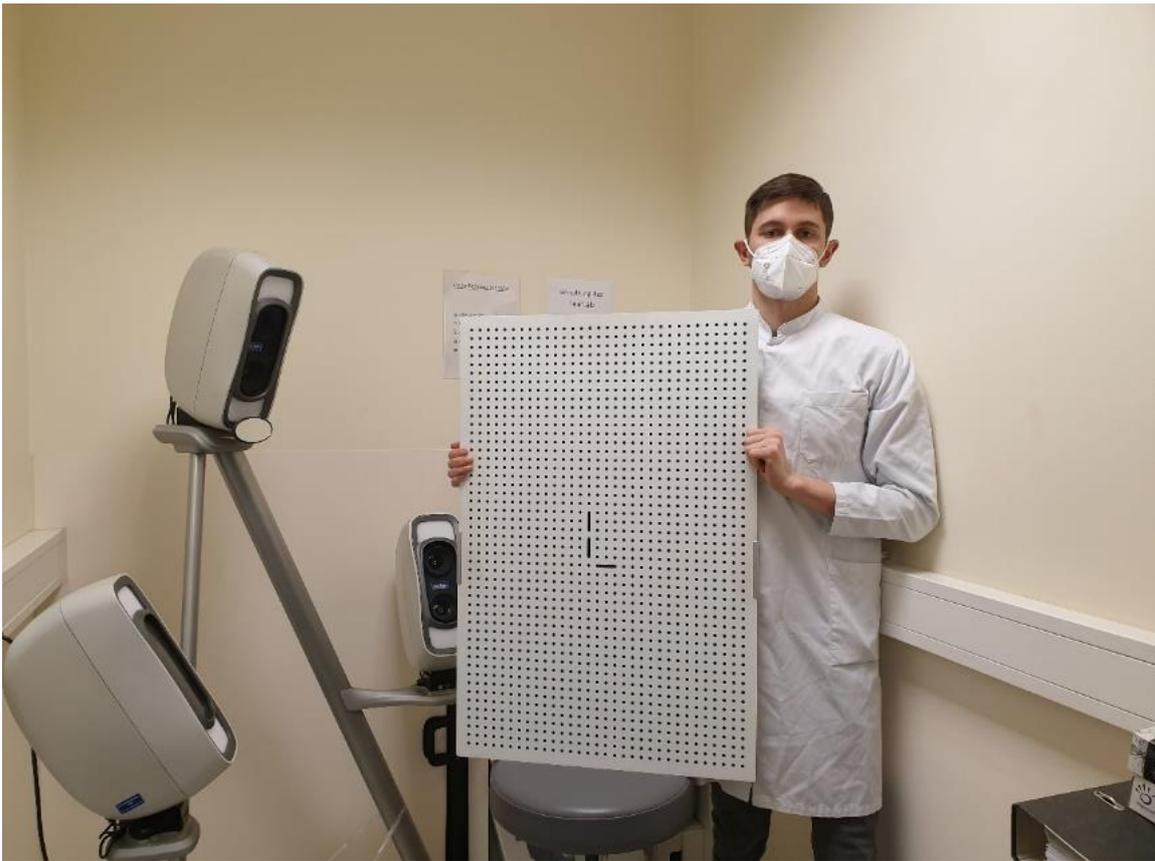
Die Stereofotografie wurde mit dem VECTRA M3 3D -Bildgebungssystem (Canfield Scientific, Inc., Fairfield, NJ, USA) aufgenommen, wie in Abbildung 8 dargestellt.

Das Zustandekommen eines dreidimensionalen Bilds wird durch die Software ermöglicht, welche die von den 3 Kameras separat ausgelöste zweidimensionale Bilder bearbeitet, und zu einem dreidimensionalen Bild konvertiert. Um das ganze einheitlich zu gestalten muss das System mithilfe einer Kalibrierungsschablone (Abbildung 9) regelmäßig justiert werden. (Abbildung 10+11) Abgesehen davon ist es wichtig, dass die Abstände zwischen der Kamera und der zu untersuchenden Objekten gleich sind. Als Hilfestellung dienen 3 Linienpaare bei welchen, das zu untersuchte Objekt im Bereich von den Linienpaaren ist (Abbildung 12).

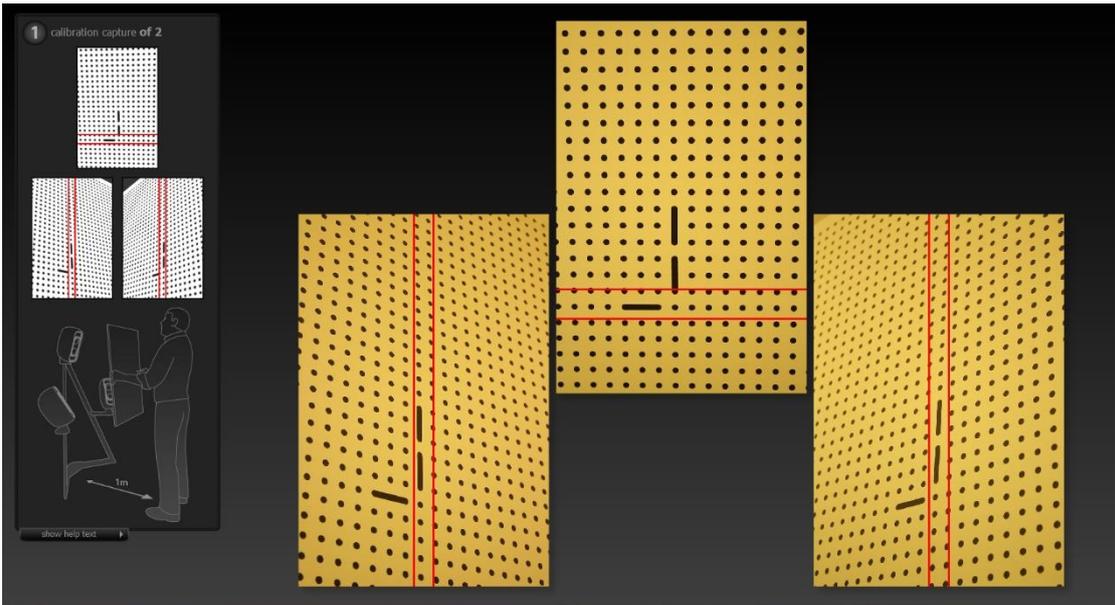
Bevor die Fotos aufgenommen worden sind, wurden die Haare der Freiwilligen nach hinten gelegt und jeglicher Schmuck herausgenommen, um Gesichtsverdeckung und abnormale Reflexionen zu vermeiden. Die Gesichtsschminke wurde entfernt, um eine bessere Sicht von den zu untersuchten Bereich zu erhalten. Die Bilder wurden aufgenommen, während die Freiwilligen vor der Kamera saßen, vor der sie einen ruhigen natürlichen Gesichtsausdruck hatten. Die Bedienungsanleitung der Kamera wurde genau befolgt, um die Standardbilder zu erhalten. Die Aufnahme wurde vom ersten Autor zweimal durchgeführt (Serie 1 und Serie 2). Die 3D -Kamera wurde vor jeder Serie justiert.



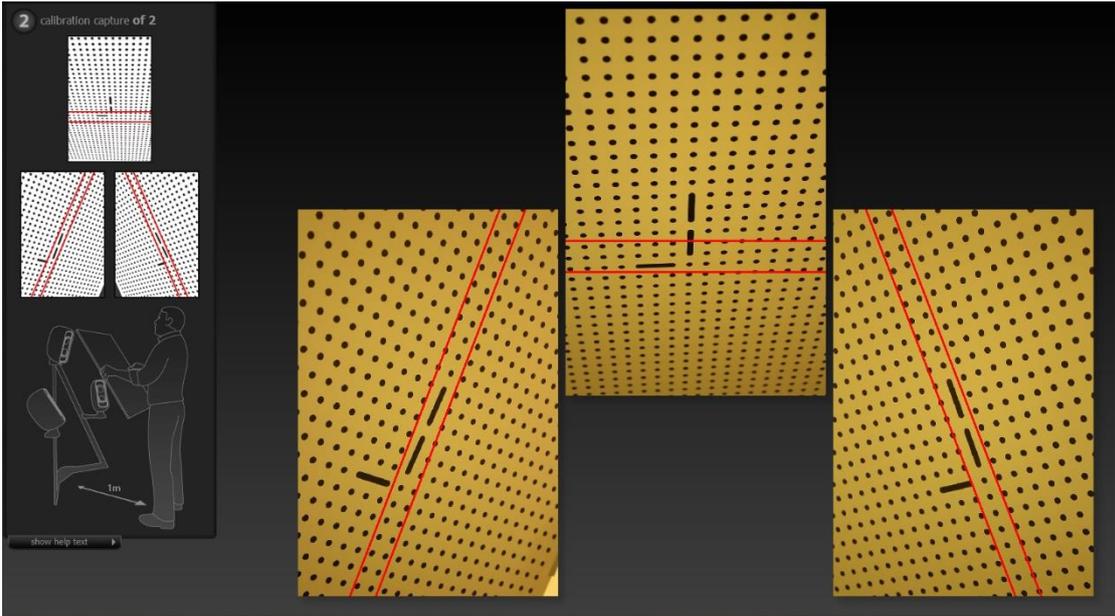
**Abbildung 8:** VECTRA M3 3D -Bildgebungssystem



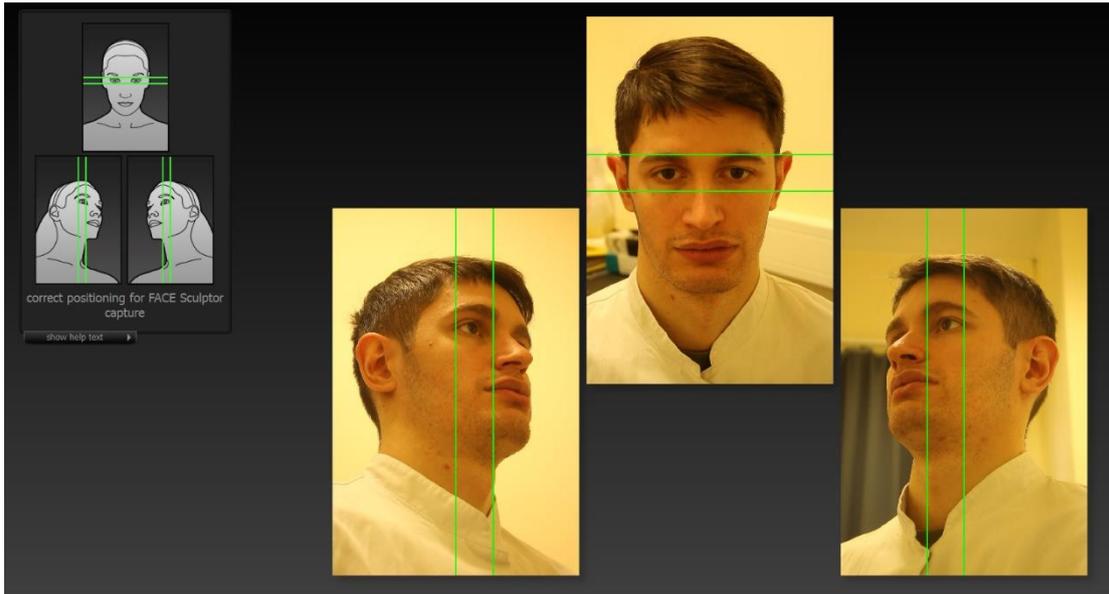
**Abbildung 9:** Kalibrierungsschablone



**Abbildung 10:** Erster Schritt der Kalibrierung



**Abbildung 11:** Zweiter Schritt der Kalibrierung

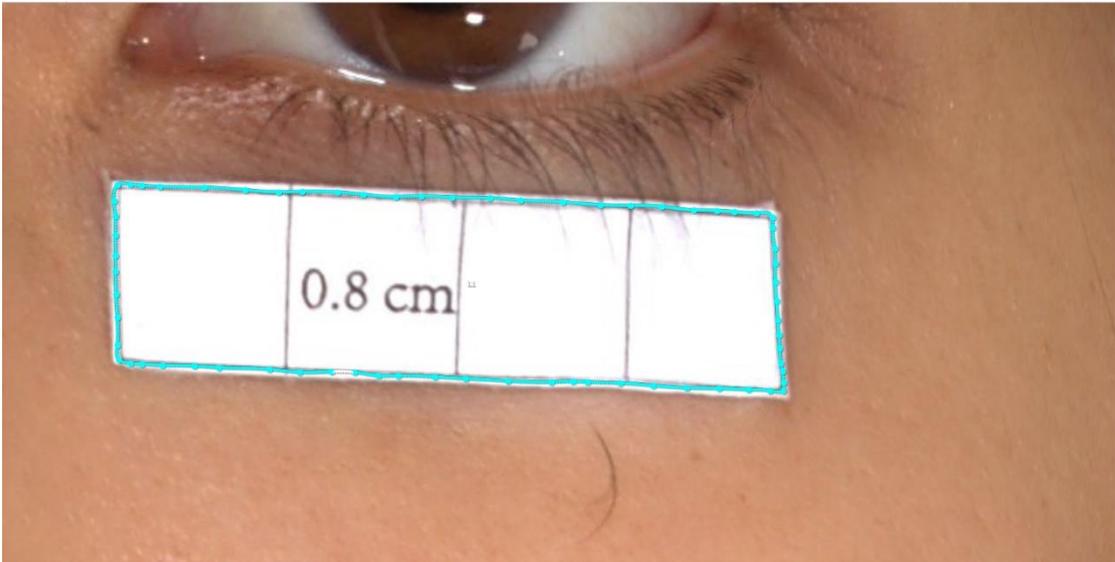


**Abbildung 12:** Positionierung der Probanden mithilfe von vertikalen und horizontalen Linienpaaren

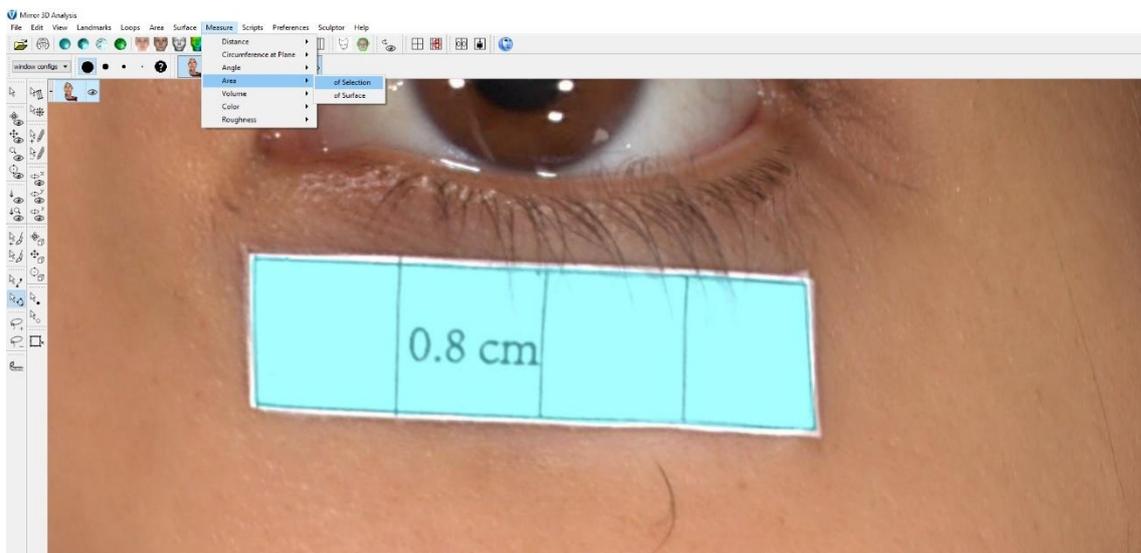
---

## 2.4. Messungen

Jedes aus der Serie 1 erhaltene Bild wurde zweimal von den Bewertern 1 und 2 gemessen, die als Bewertung 1.1, 1.2 und Bewertung 2.1, 2.2 bezeichnet wurden. Bilder aus der Serie 2 wurden einmal von Bewerter 2 gemessen und mit der Bewertung 2.3 bewertet. Zwischen den Messungen wurde ein Zeitintervall von über 24 Stunden eingehalten. Unsere beiden Bewerter wurden vor Beginn der Messung systematisch und ausführlich geschult, um die individuellen Unterschiede zu verringern. Die Landmarken wurden von den Bewertern sorgfältig am äußeren Rand jedes Gegenstands platziert, wenn das Bild mit einer geeigneten Vergrößerung vergrößert wurde (Abbildung 13). Da die Größe der Landmarken vom System fest vorgegeben ist (Radius ca. 1 mm), wird sie bei der Vergrößerung des Bildes nicht verändert. Wenn alle Marker in jedem Gegenstand platziert worden sind, wurde der Bereich, der von der Linie eingeschlossen wird, die durch den Mittelpunkt dieser Landmarke verläuft, als Zielbereich ausgewählt. Die Flächenmessung wurde mit der Vectra-Software (Canfield Scientific, Inc., Fairfield, NJ, USA) berechnet (Abbildung 14).



**Abbildung 13:** Die Landmarken werden miteinander mit Linien verbunden und bilden somit eine Fläche



**Abbildung 14:** Der Bereich wird ausgewählt und gemessen

---

## 2.5 Datenanalyse

Zur Bewertung der Zuverlässigkeit der Stereofotografie wurden fünf häufig verwendete statistische Indikatoren verwendet: darunter sind der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (IKK), die mittlere absolute Differenz (MAD), der technische Messfehler (TMF), der relative Messfehler (RMF) und der relative TMF (rTMF). Der IKK wird häufig verwendet, um die Übereinstimmung zwischen Messungen zu bewerten. Die MAD steht für den durchschnittlichen absoluten Wert aller Abweichungen einer einzelnen Beobachtung vom arithmetischen Mittel. Der TMF wird in der Anthropometrie verwendet, um die Ergebnisse von Messungen zwischen verschiedenen Beobachtern oder Erhebungsmethoden zu vergleichen. RMF und rTMF stehen für die Schätzung der Variation in Bezug auf die Größe der Messungen. Guo et al. [18] stellten bestimmte Berechnungsformeln für die o.g. Indikatoren auf. Im Allgemeinen gilt: je höher die Werte für TMF, RMF, rTMF und MAD sind, desto bedeutender sind die Abweichungen. Je niedriger jedoch der IKK-Wert ist, desto bedeutender ist die Abweichung. Aus anthropometrischer Sicht gelten entsprechend die  $IKKs < 0,5$  als schlecht,  $0,5$  bis  $0,75$  als mäßig,  $0,75$  bis  $0,9$  als gut,  $IKKs > 0,9$  als ausgezeichnet [14]. In Bezug auf den RMF und den rTMF wurden die Werte  $<1\%$ ,  $1\%$  bis  $3,9\%$ ,  $4\%$  bis  $6,9\%$ ,  $7\%$  bis  $9,9\%$  und  $\geq 10\%$  als entsprechend ausgezeichnete, sehr gute, gute, mäßige bzw. schlechte Übereinstimmung eingestuft. In früheren Studien wurde die akzeptable Fehlerschwelle sowohl für die MAD als auch für den TMF in den maxillofazialen Bereichen auf unter zwei Einheiten festgelegt, während einige Studien für den periokulären Bereich aufgrund der relativ geringen Größenordnung der Meinung sind, dass diese unter einer Einheit liegen sollte [19].

Die Intrarater-Analyse wurde durch den Vergleich der Bewertung 1.1 mit der Bewertung 1.2 ermittelt. Die Interrater-Analyse wurde durch den Vergleich der Bewertung 1.2 mit der Bewertung 2.2 erhalten. Die intramethodische Analyse wurde durch den Vergleich der Bewertung 2.2 mit der Bewertung 2.3 ermittelt.

---

Die Balkendiagramme wurden mit Hilfe der GraphPad Prism Version 8 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA) erstellt. Alle statistischen Analysen wurden mit der SPSS-Software Version 22 (IBM Corporation, Armonk, NY) durchgeführt. Um die Unterschiede zwischen den Messungen zu analysieren, wurden t-Tests mit gepaarten Stichproben für normalverteilte Daten verwendet, während nicht-parametrische Vorzeichenrangtests von Wilcoxon für nicht-normalverteilte Daten berechnet wurden und der Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Normalverteilung verwendet wurde. Das statistische Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

---

## 3. Ergebnisse

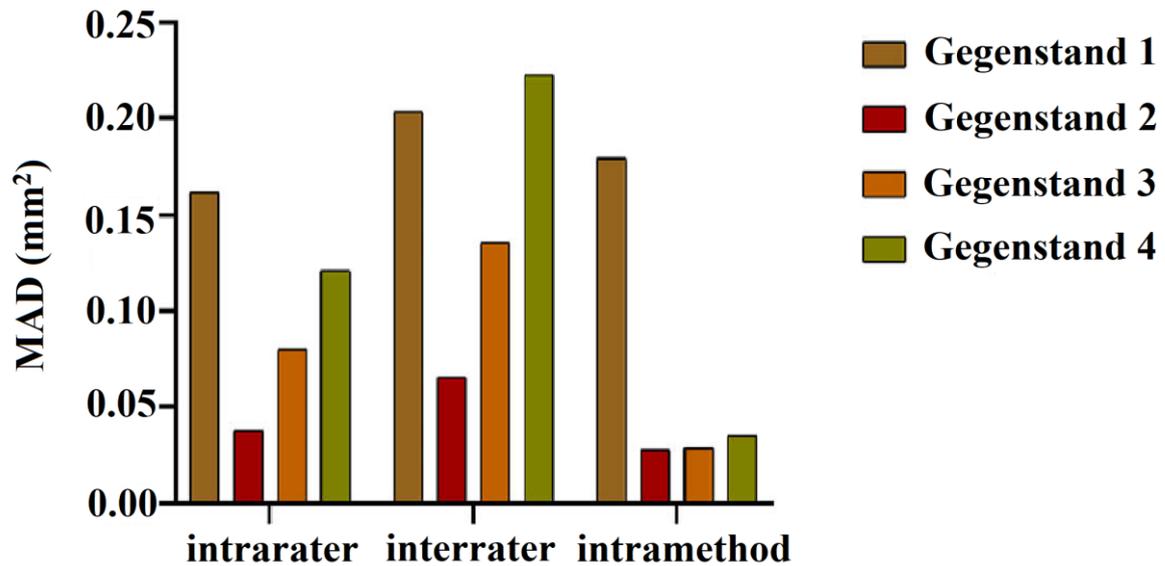
Vierzig gesunde junge Probanden im Alter von 18-36 Jahren, darunter 10 kaukasische Männer, 10 kaukasische Frauen, 10 chinesische Männer und 10 chinesische Frauen, mit einem Durchschnittsalter von  $28,1 \pm 4,38$  Jahren (Bereich 22 - 38 Jahre) wurden einbezogen. Eine statistische Signifikanz zwischen den Geschlechtern und Ethnien wurde nicht festgestellt ( $p > 0,05$ , t-Test bei unabhängigen Stichproben).

Die Unterschiede zwischen den Messungen mit dem Vorzeichenrangtest von Wilcoxon sind in Tabelle 1 dargestellt. Für die meisten Intrarater-, Interrater- und Intramethode-Vergleiche wurde kein statistisch signifikanter Unterschied gefunden, mit Ausnahme der Interrater- und Intramethode für die Endokanthionposition und der Intramethode für die Position des oberen Mittelaugenlids für die Gegenstände 1 (16 mm<sup>2</sup>) und 5 (36 mm<sup>2</sup>). Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse der Intrarater-, Interrater- und Intramethoden für IKK, MAD, TMF, RMF und rTMF für die Gegenstände 1-4 und den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) sind in der Abbildung 15-19 bzw. Abbildung 20-24 dargestellt.

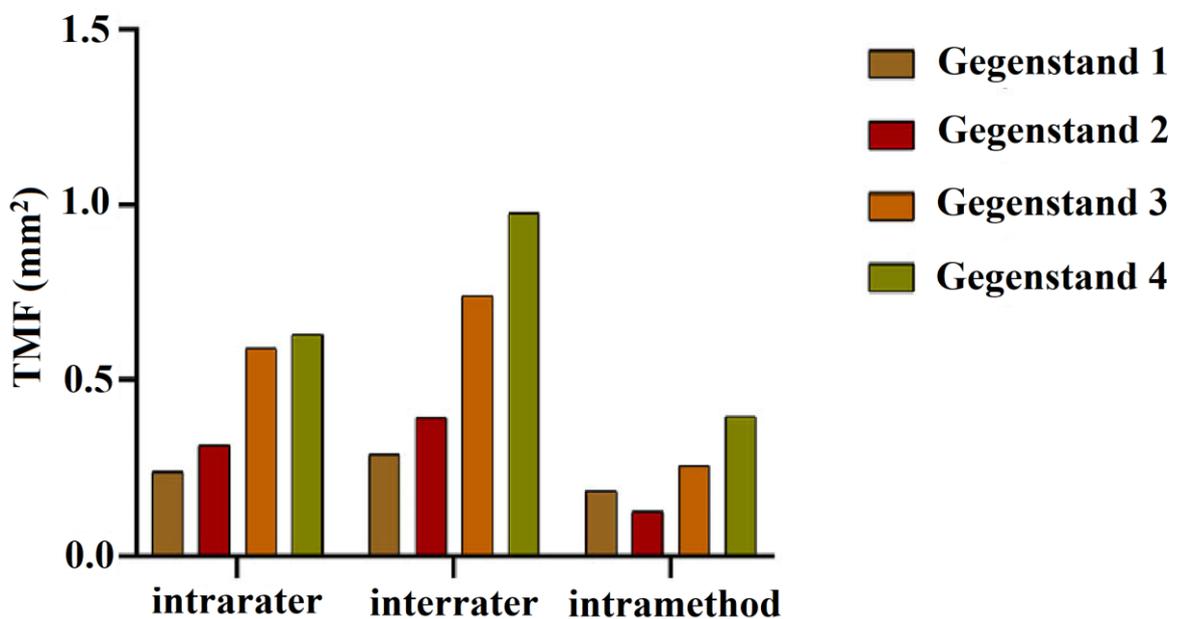
**Tabelle 1:** Die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Unterschiede zwischen den 3D-Messungen.

Gegenstand	<i>p</i> Wert		
	Intrarater	Interrater	Intramethod
	Bewertung 1.1 vs Bewertung 1.2	Bewertung 1.2 vs Bewertung 2.2	Bewertung 2.2 vs Bewertung 2.3
1	0.030*	0.020*	<0.001*
2	0.824	0.253	0.199
3	0.444	0.452	0.468
4	0.532	0.412	0.793
5 (Endokanthion)	0.060	0.016*	<0.001*
5 (oberes mediales Augenlid)	0.638	0.390	0.126
5 (oberes mittleres Augenlid)	0.851	0.788	0.027*
5 (oberes seitliches Augenlid)	0.677	0.677	0.737
5 (unteres mediales Augenlid)	0.145	0.502	0.153
5 (unteres mittleres Augenlid )	0.390	0.307	0.353
5 (unteres seitliches Augenlid)	0.510	0.582	0.185

Der *p*-Wert steht für die Unterschiede, die mit dem Wilcoxon-Test für den Vorzeichenrang analysiert wurden. \*steht für  $p < 0,0$



**Abbildung 15:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für die mittlere absolute Differenz (MAD) für die Gegenstände 1-4.



**Abbildung 16:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den technischen Messfehler (TMF) für die Gegenstände 1-4.

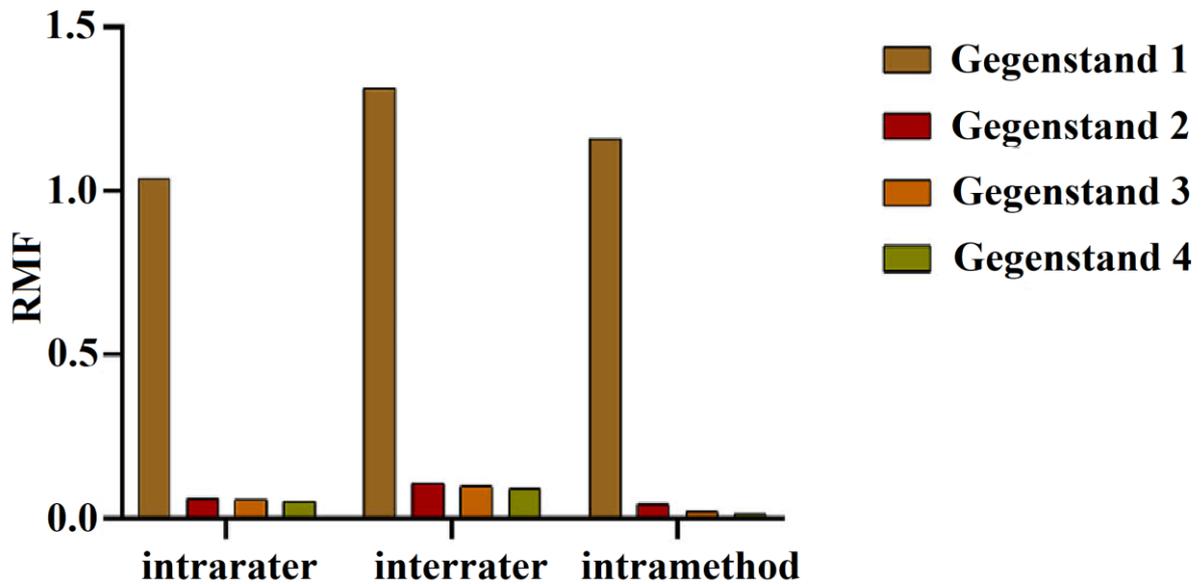


Abbildung 17: Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den relativen Messfehler (RMF) für die Gegenstände 1-4.

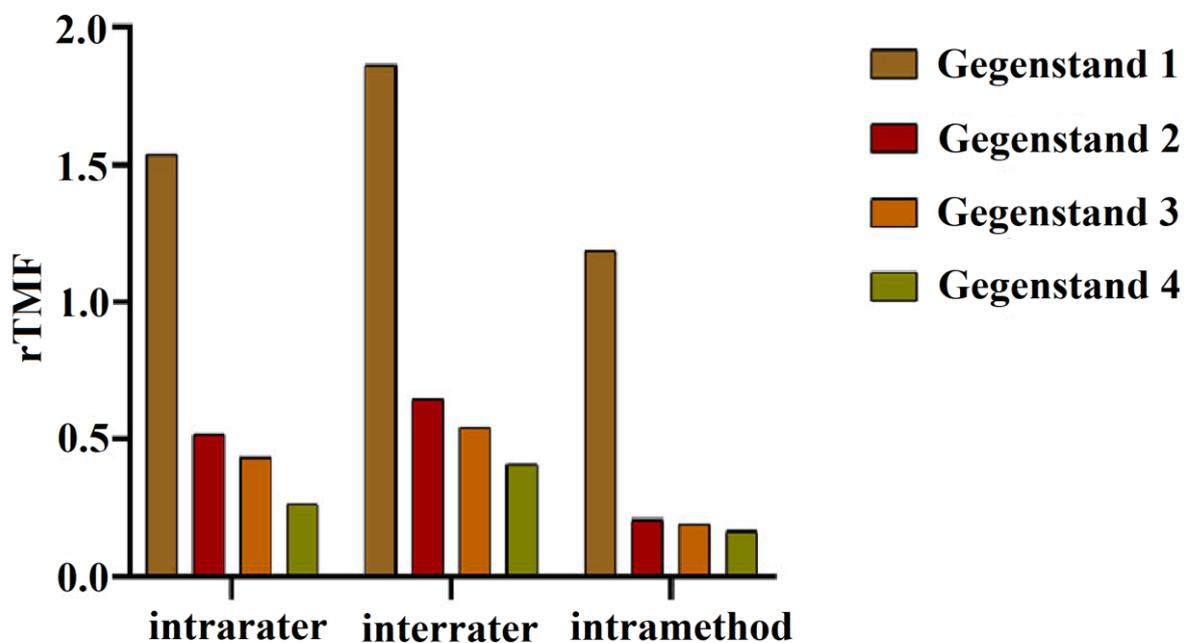
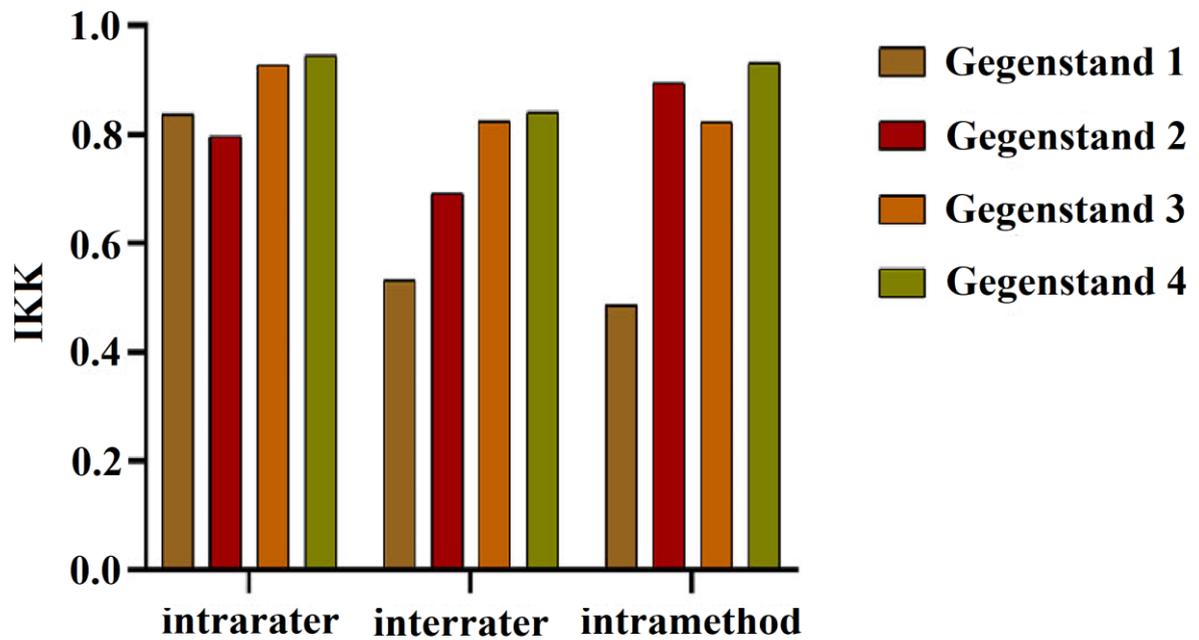


Abbildung 18: Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den relativen TMF (rTMF) für die Gegenstände 1-4.



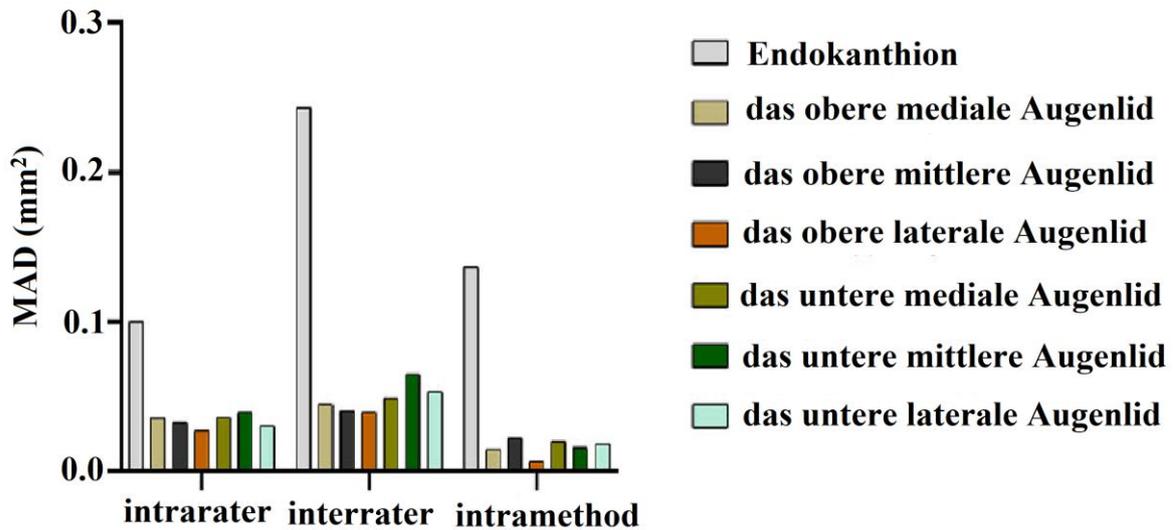
**Abbildung 19:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (IKK) für die Gegenstände 1-4.

Gegenstand 1 mit  $16 \text{ mm}^2$

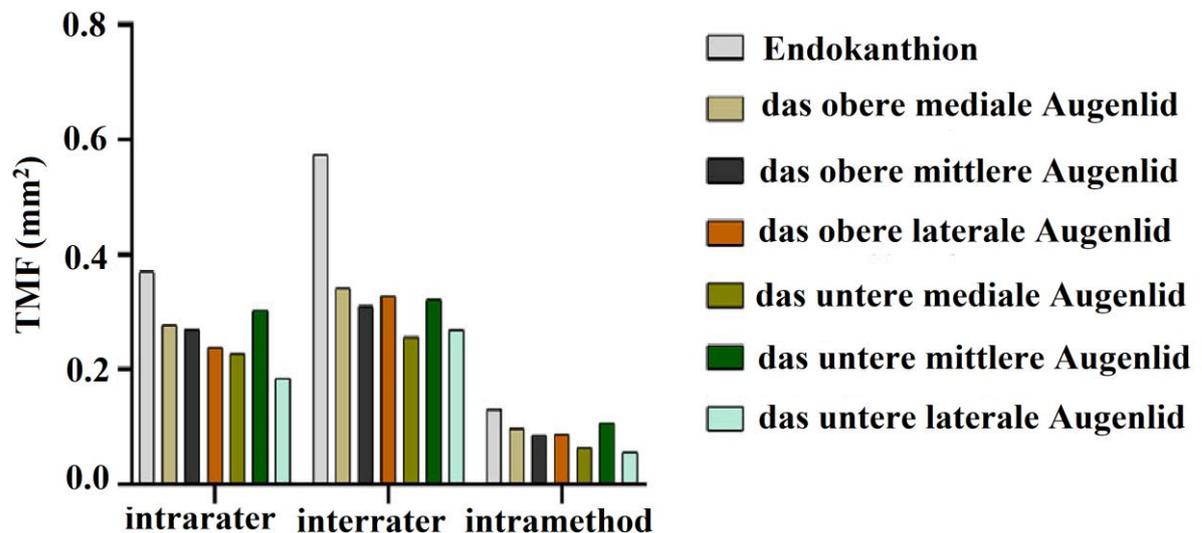
Gegenstand 2 mit  $64 \text{ mm}^2$

Gegenstand 3 mit  $144 \text{ mm}^2$

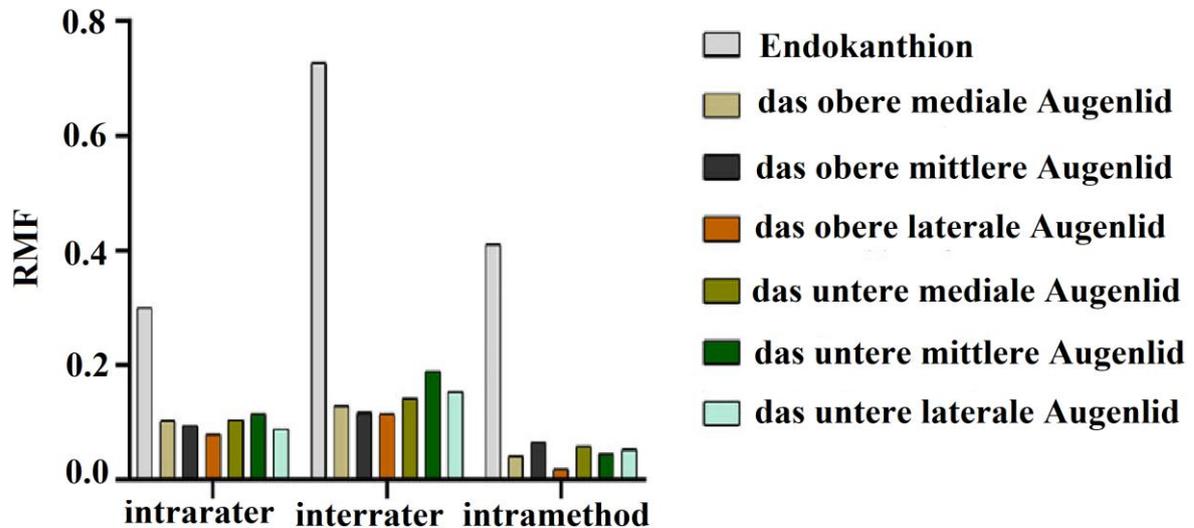
Gegenstand 4 mit  $256 \text{ mm}^2$



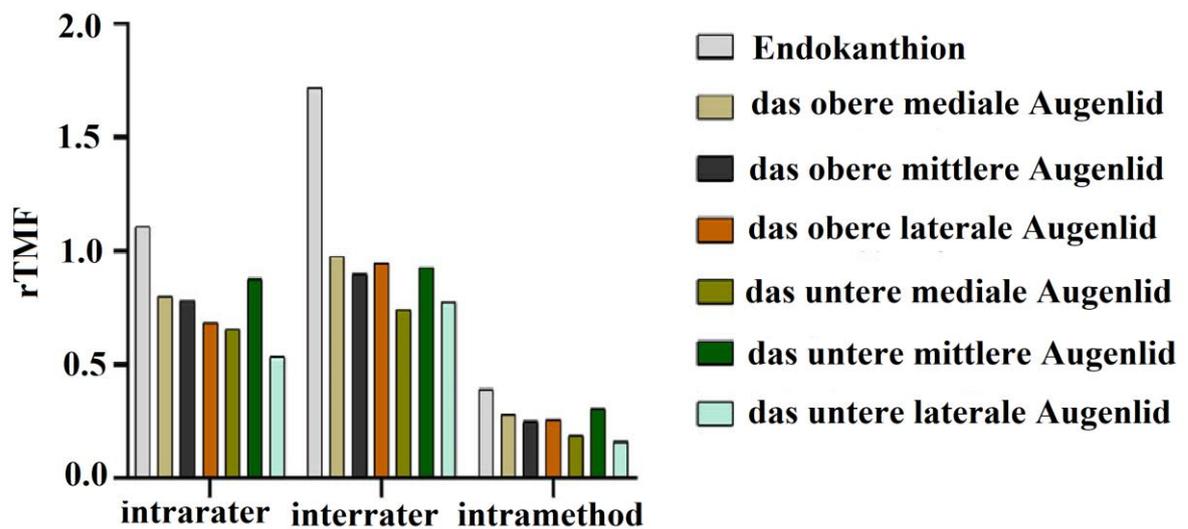
**Abbildung 20:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für die mittlere absolute Differenz (MAD) für Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in sieben verschiedenen Positionen.



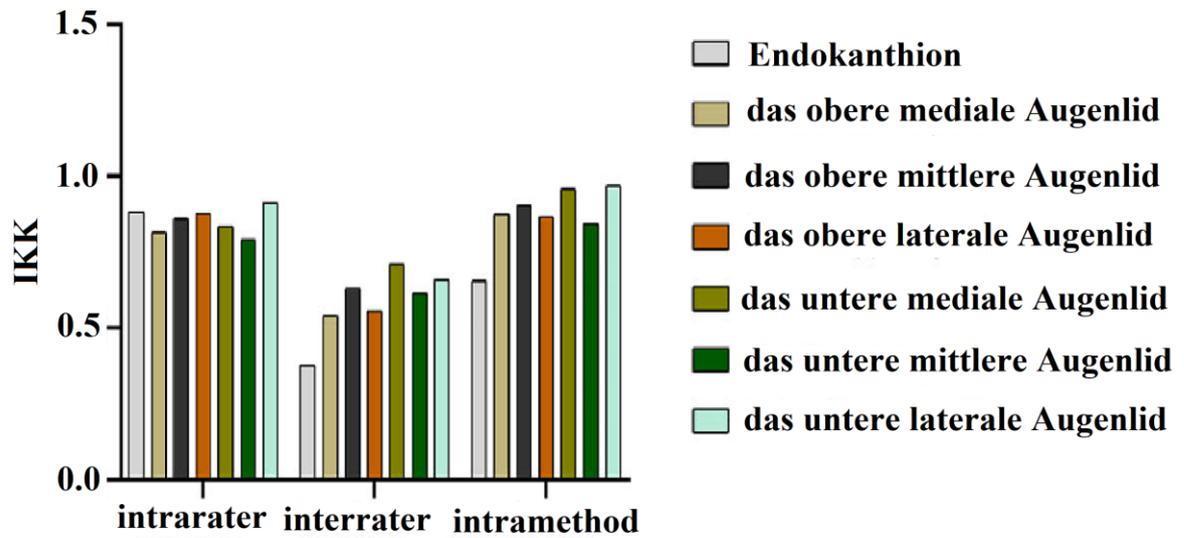
**Abbildung 21:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den technischen Messfehler (TMF) für Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in sieben verschiedenen Positionen.



**Abbildung 22:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den relativen Messfehler (RMF) für Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in sieben verschiedenen Positionen.haa



**Abbildung 23:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den relativen TMF (rTMF) für Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in sieben verschiedenen Positionen.



**Abbildung 24:** Das Balkendiagramm zeigt die Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-Zuverlässigkeit für den Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (IKK) für Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in sieben verschiedenen Positionen.

---

In dieser Studie wurden 21,2 % aller IKKs, einschließlich der Intrarater-, Interrater- und Intramethoden-IKKs, als ausgezeichnet eingestuft, 45,5 % aller IKKs waren gut, 27,3 % waren mäßig, nur der Interrater-IKK für die Endokanthionposition und der Intramethoden-IKK für den Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) waren schlecht. Alle Intrarater-IKKs für die Gegenstände 1-5 wurden als gut oder ausgezeichnet eingestuft, ebenso wie die Interrater-IKKs für die Gegenstände 3 und 4, während der Interrater-IKK für die Gegenstände 1, 2 und 5 (mit Ausnahme der Endokanthionposition) als mäßig und der Interrater-IKK für die Endokanthionposition als schlecht eingestuft wurde. Der intramethodische IKK für die Gegenstände 2, 3, 4 und 5 (außer der Endokanthionposition) wurde als gut oder ausgezeichnet eingestuft. Dagegen war der intramethodische IKK für den Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) schlecht und für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in der Endokanthionposition mäßig. Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) besaß von allen Gegenständen den niedrigsten Interrater- und Intramethoden-IKK.

Die MAD für alle Gegenstände betrug trotz der unterschiedlichen Standorte weniger als 0,3 mm<sup>2</sup>. Die intrarater MAD für die Gegenstände 1-4 lag zwischen 0,038 und 0,121 mm<sup>2</sup>, während die intrarater MAD für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) weniger als 0,040 mm<sup>2</sup> betrug. Die Interrater-MAD für die Gegenstände 1-4 lag zwischen 0,065 und 0,223 mm<sup>2</sup>, während diese für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) weniger als 0,066 mm<sup>2</sup> betrug. Die Intramethode MAD für die Gegenstände 1-4 lag zwischen 0,027 und 0,193 mm<sup>2</sup>. Die MAD für die Gegenstände 2-4 stieg allmählich an, während die höchsten Werte der intrarater MAD und der Intramethoden-MAD beim Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) lagen. Die Intramethoden-MAD für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) betrug weniger als 0,024 mm<sup>2</sup>, mit Ausnahme der Endokanthionsposition, die einen Wert von 0,137 mm<sup>2</sup> hatte.

Der TMF für die Gegenstände 1-5 betrug weniger als 1 mm<sup>2</sup>, um genau zu sein, der Intrarater-TMF für die Gegenstände 1-4 lag zwischen 0,239 und 0,630 mm<sup>2</sup>, und zwischen 0,185 und 0,371 mm<sup>2</sup> für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>). Der Interrater-TMF für die Gegenstände 1-4 lag zwischen 0,289 und 0,978 mm<sup>2</sup>, während dieser für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) zwischen 0,255 und 0,573 mm<sup>2</sup> lag. Die Intramethode-TMF

---

für die Gegenstände 1-4 betrug zwischen 0,256 und 0,397 mm<sup>2</sup>, während diese für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) zwischen 0,055 und 0,13 mm<sup>2</sup> lag.

Bei allen Gegenständen betrug der intrarater, interrater und intramethodale RMF weniger als 2%. Der RMF hatte tendenziell einen niedrigen Wert, sobald die Gegenstandsfläche bei allen Gegenständen zunahm. Der Intrarater-RMF für die Gegenstände 1-4 nahm ab, mit einer Reichweite zwischen 0,1% und 1,0%, während dieser für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) zwischen 0,01% und 0,3% lag, wobei der höchste Wert für die Endokanthionsposition galt. Der Interrater-RMF für die Gegenstände 1-4 betrug zwischen 0,1% und 1,3%, während dieser für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) zwischen 0,1% und 0,8% lag. Die Intramethode-RMF für die Gegenstände 1-4 betrug 0% bis 1,2% und für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) zwischen 0% bis 0,4%.

Der rTMF für alle Gegenstände betrug weniger als 2% und tendierte zu einem ähnlichen Trend wie mit dem RMF. Der Intrarater-rTMF für die Gegenstände 1-4 betrug 0,3% bis 1,5% und 0,5% bis 1,1% für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>). Der Interrater- rTMF für die Gegenstände 1-4 betrug 0,4% bis 1,9%, während dieser für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) 0,8% bis 1,7% betrug. Die Intramethode -rTMF für die Gegenstände 1-4 betrug 0,2% bis 1,2% und für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) zwischen 0,2% bis 0,4%. Die Endokanthionsposition besaß den höchsten Wert für Intrarater-, Interrater- und Intramethode- rTMF beim Gegenstand 5.

Die Zuverlässigkeit von 20 Chinesen wurde auch mit der von 20 Kaukasiern verglichen. Für jedes gleiche Zielgebiet betrug die p-Werte des Wilcoxon-Tests 0,14 (für den Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>)), 0,270 (für den Gegenstand 2 (64 mm<sup>2</sup>)), 0,112 (für den Gegenstand 3 (144 mm<sup>2</sup>)), 0,334 (für den Gegenstand 4 (256 mm<sup>2</sup>)), 0,570 (für den Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) am Endokanthion), 0,233 (für den Gegenstand 5 oben medial), 0,865 (für den Gegenstand 5 oben Mitte und oben lateral), 0,451 (für den Gegenstand 5 unten medial), 0,691 (für den Gegenstand 5 unten Mitte) und 0,191 (für den Gegenstand

---

5 unten lateral). Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied in Bezug auf die Zuverlässigkeit zwischen den beiden verschiedenen Ethnien.

---

## 4. Diskussion

Die vollständige Anwendung der Stereofotografie für Gesichtsmessungen, insbesondere für den periokulären Bereich, der einer ausführlichen Beschreibung bedarf, muss sorgfältig auf ihre technische Zuverlässigkeit überprüft werden. Die Zuverlässigkeit bezieht sich auf den Grad der Übereinstimmung zwischen den wiederholten Messungen, auch bekannt als Präzision, Wiederholbarkeit oder Reproduzierbarkeit [3]. Unzuverlässigkeit oder Ungenauigkeit ist definiert als Variabilität, die durch Inkonsistenzen zwischen wiederholten Messungen desselben Gegenstands und des anthropometrischen Aspekts verursacht wird [22,23]. Die Zuverlässigkeit ist ein entscheidender Bestandteil der Validierung, bevor eine neue Technologie im klinischen Umfeld breit angewendet werden kann [24,25].

Die vorliegende Studie befasst sich hauptsächlich mit der Zuverlässigkeit des Vectra M3-Stereofotografie-Systems zur Messung periokulärer Bereiche mit unterschiedlichen Gegenständen in verschiedenen Positionen, einschließlich der Zuverlässigkeit von Intrarater, Interrater und Intramethode, die anhand von fünf verschiedenen Indikatoren zur Überprüfung der Zuverlässigkeit bewertet wird.

In dieser Studie erwies sich das 3D -Stereofotografie-System in den meisten Fällen als sehr zuverlässig. Die meisten Intrarater- und Interrater-Unterschiede waren statistisch nicht bedeutend, außer für den Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) und Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in zwei Positionen. In dieser Studie wurden 21,2 % aller IKKs als ausgezeichnet und 45,5 % aller IKKs als gut eingestuft, 27,3 % waren mäßig, nur der Interrater-IKK für die Endokanthionposition und der Intramethoden-IKK für den Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) waren schlecht. Die MAD für alle Gegenstände betrug trotz der unterschiedlichen Größen und Positionen weniger als 0,3 mm<sup>2</sup>. Alle TMF für die Gegenstände 1-5 waren weniger als 1 mm<sup>2</sup>. Die RMF- und rTMF-Werte für alle Gegenstände lagen bei weniger als 2% für die Intrarater-, Interrater- und Intramethode-Messungen. Darüber hinaus

---

zeigte das System keinen statistischen Unterschied in Bezug auf die Zuverlässigkeit, wenn Bereiche von zwei verschiedenen Ethnien gemessen wurden.

Frühere Studien haben belegt, dass das Stereofotogrammetrie-Canfield-VECTRA-System ein höchst zuverlässiges neuartiges Gerät sowohl für lineare Messungen als auch für Winkelmessungen ist [10, 18, 20]. Um die Richtigkeit und Reproduzierbarkeit des Canfield VECTRA-Systems zu testen, analysierten de Menezes et al. [26] die systematischen und zufälligen Fehler, die durch Operatoren, Kalibrierung und Erfassungen verursacht werden. Die Methode erwies sich als wiederholbar. Es wurden keine systematischen Fehler gefunden, die Zufallsfehler lagen in ihrer Studie unter  $1 \text{ mm}^2$ . Ein ähnliches Ergebnis erzielten Rosati et al. in 2010 für dasselbe System, und bei wiederholten Reproduktionen wurden keine bedeutenden Unterschiede gefunden [27]. Guo et al. führten 2019 eine Studie durch, die die hohe Zuverlässigkeit der 3D -Stereofotogrammetrie für die periokuläre, lineare oder eckige Anthropometrie belegt [10]. Deren Ergebnisse zeigten, dass bei der direkten (nur Intra-Rater-Zuverlässigkeit), periokulären, linearen oder winkelförmigen 2D - und 3D -Anthropometrie die Intra-Rater- und Inter-Rater-IKK 0,88 für die direkte Anthropometrie, 0,99 und 0,97 für die 2D -Anthropometrie und 0,98 und 0,92 für die 3D -Anthropometrie betrug; die MAD waren 0,84 mm für die direkte Anthropometrie, 0,26 und 0,36 Einheiten für die 2D -Anthropometrie und 0,35 und 0,67 Einheiten für die 3D -Anthropometrie; die TMF-Schätzungen lagen bei 0. 85 mm für die direkte Anthropometrie, 0,25 und 0,36 Einheiten für die 2D -Anthropometrie und 0,32 und 0,65 Einheiten für die 3D -Anthropometrie; die RMF-Werte betragen 6,5% für die direkte Anthropometrie, 1,7% und 2. 7% für die 2D -Anthropometrie und 1,7% und 5,1% für die 3D -Anthropometrie; und die rTMF-Schätzungen betragen 6,3% für die direkte Anthropometrie, 1,6% und 2,8% für die 2D -Anthropometrie und 2,1% und 5,1% für die 3D -Anthropometrie. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass die Zuverlässigkeit der 3D -Messung bei der periokulären, linearen oder eckigen Anthropometrie besser als bei der direkten Messung sei und mit den Ergebnissen der 2D -Messung vergleichbar ist. Andrade et al. [28] fand heraus, dass die mittleren MAD-, RMF-, TMF- und IKK-Werte für neun winkelförmige und zwei lineare Bewertungen in Bezug auf die

---

Gesichtsmorphologie entsprechend 1,51 Einheiten, 3,6%, 1,35 Einheiten bzw. 0,88 Einheiten betragen, was eine ausgezeichnete Übereinstimmung im IKK und ein sehr gutes Ergebnis für den RMF darstellt. Die MAD-Ergebnisse lagen auch innerhalb der akzeptablen Fehlerschwelle. Diana S et al. [29] testete die Sagittalprojektion von sechs Landmarken mit dem Vectra M5-System an fünf Probanden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Standardabweichungen für die meisten Landmarken  $<1 \text{ mm}^2$  betragen, und dass vor allem der IKK für die Intrarater- und Interrater-Zuverlässigkeit ausgezeichnet war. Sechzehn lineare Gesichtsmessungen wurden von de Menezes et al. an 10 Probanden berechnet [26], und die Ergebnisse zeigten, dass in keinem der durchgeführten Tests systematische Fehler gefunden wurden ( $p > 0,05$ ). Darüber hinaus ergab eine von Rosati [27] durchgeführte Studie, dass der höchste Mittelwert des RMFs bei einer technischen Bewertung des Canfield-Systems in sieben linearen Gesichtsmessungen weniger als 1,2% betrug. In unserer Studie ergaben sich ähnliche Ergebnisse. Der RMF betrug bei allen Gegenständen weniger als 1,4% und bei den Gegenständen 2-5 0,8%.

Obwohl die hohen Niveaus der geometrischen Zuverlässigkeit der linearen und winkelförmigen Anthropometrie des Gesichts validiert wurden, sind Studien, die die Zuverlässigkeit von Flächenmessungen in dem periokulären Bereich untersuchen, selten. Verglichen mit der früheren allgemeinen Untersuchungen im maxillofazialen Bereich ist die periokuläre Struktur komplexer und empfindlicher. Daher sind die traditionellen direkten Mess- und Fotomethoden im Vergleich zur hochgradig wiederholbaren und präzisen Methode der Stereofotogrammetrie nicht die optimale Wahl für die Durchführung von Messungen im periokulären Bereich.

Codari et al. [15] testeten die Bereiche der Nasenflächen, die unabhängig voneinander von zwei Operatoren mit dem Vectra 3D -System gemessen wurden, und in dieser Studie wurden keine signifikanten Unterschiede unter den Operatoren gefunden. Daniele et al. [13] validierten die Wiederholbarkeit der Gesichtsflächen- und Volumenmessungen mit dem VECTRA M3-Gerät an 50 Probanden. Die meisten der Oberflächenmessungen zeigten eine hohe Wiederholbarkeit mit einem TMF von 2,70

---

cm<sup>2</sup> und einem rTMF von 0,8%. In unserer Studie wurde ein ähnliches Ergebnis mit einem mittleren TMF von 3,04 cm<sup>2</sup> und einem rTMF von 0,7% für alle Gegenstände erzielt, obwohl die von Daniele et al. verwendete Methode von unserer Studie abwich. Der interessierende Gesichtsbereich wurde markiert und übereinander gelegt, um den Unterschied in der Studie von Daniele et al. zu beurteilen. Im Gegensatz dazu wurde der Bereich ausgewählt und direkt mit unserer Studie verglichen. Ob der Vergleich der aus verschiedenen Methoden generierten IKK die Ergebnisse beeinflusst, ist eine weitere Überlegung wert.

In unserer Studie wurden 21,2 % aller IKK als ausgezeichnet und 45,5 % aller IKK als gut eingestuft, 27,3 % waren mäßig, nur der Interrater-IKK für die Endokanthionposition und der Intramethoden-IKK für den Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) waren schlecht. Die Diskrepanz zwischen den Interrater- und Intramethoden-IKK kann mit den durch die Kalibrierung verursachten Unterschieden zusammenhängen; außerdem kann sie damit zusammenhängen, dass verschiedene Bewerter unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen, wenn sie mit schwammigen Grenzen konfrontiert werden. Dies beeinträchtigt jedoch nicht die hohe Zuverlässigkeit des IKKs für die gesamte Studie, die mit der von Guo et al. [18] durchgeführten Studie übereinstimmte, und es konnte demonstriert werden, dass für die 49 entsprechenden linearen, krummlinigen und eckigen Messungen, die auf einer Fläche innerhalb der Landmarken basierten, der Intrarater IKK besser war als der IKK bei Interrater und Intramethode .

Interessanterweise neigten die Gegenstände mit einer größeren Fläche in dieser Studie dazu, höhere MAD- und TMF-Werte zu erzeugen, während die RMF- und rTMF-Werte für alle Gegenstände mit zunehmender Größe der Fläche abnahmen. Dieses Phänomen wurde bei einigen Studien mit linearen oder winkelförmigen Messungen beobachtet. Im Allgemeinen tendiert ein kleinerer statistischer Wert dazu, niedrigere MAD- und TMF-Schätzungen, aber höhere RMF-Schätzungen zu besitzen [28, 30]. Dieses Phänomen kann durch den abnehmenden Effekt von Fehlern erklärt werden, wenn die

---

relevante Größenordnung größer ist. Wir könnten vermuten, dass dieses Phänomen zeigt, dass die Zuverlässigkeit kleinerer Variablen eher durch technische Methoden und zufällige Faktoren beeinflusst wird.

Der Gegenstand 5 (36 mm<sup>2</sup>) in der Endokanthionposition zeigte eine geringe Zuverlässigkeit unter den statistischen Indikatoren, ähnlich wie der Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>). Die schlechte Manifestation in der Endokanthionsposition hing wahrscheinlich mit den auf den Bildern gezeigten Artefakten zusammen. Auf diesen Bildern waren einige der Grenzen nicht deutlich zu erkennen und erschienen oft als zwei Artefakte. Unserer Analyse zufolge kann das Auftreten von Artefakten mit der unvollständigen Entwicklung der Bilder aufgrund der Lichtverdeckung der Nasen- oder Augenbrauenknochen durch das Endokanthion zusammenhängen. Der Grund für die geringe Zuverlässigkeit von Gegenstand 1 (16 mm<sup>2</sup>) könnte mit seinem relativ kleinen Zielbereich zusammenhängen, weil die derzeitige Auflösung des Systems keine klareren Grenzen oder genauere Messungen unterstützen kann, wie in Abbildung 6 dargestellt wird. Dennoch wurde die fotorealistische Wiedergabe der ausgesuchten Details durch die Verwendung eines hochauflösenden 36 MB-Bildes verbessert [31].

Obwohl die 3D Linear- und Winkelmessungen durch frühere Studien als richtig und zuverlässig bestätigt wurden, haben wir interessanterweise immer noch festgestellt, dass die Zuverlässigkeit des Endokanthions im Vergleich zu anderen Positionen in unserem Manuskript unterlegen ist, was dazu führt, dass die Überprüfung der Flächenmessung immer noch notwendig ist.

Darüber hinaus wird die Genauigkeit als das Ausmaß der Abweichung einer bestimmten Messung von ihrem "wahren" Wert definiert. Im Vergleich zur unmittelbaren Messung und zur zweidimensionalen Fotografie wird bei der 3D -Stereofotogrammetriemessung ein eigenes dreidimensionales Koordinatensystem (horizontal, vertikal und koronal) erstellt, das einen realistischeren Zielort widerspiegelt und eine genauere geometrische Genauigkeit aufweist. Während bei der 2D -Fotogrammetrie in der Regel ein

---

Referenzobjekt (wie z.B. die Stirn) an der Position mit geringer Abweichung eingefügt werden muss, schätzt sie den Messwert durch Vergleich mit dem Referenzobjekt. Die 2D -Fotogrammetrie kann auch den Einfluss der Tiefe auf die Zielgröße aufgrund mangelnder Tiefe nicht ausschließen.

In der Literatur lag ein klinisch akzeptabler Unterschied zwischen den 3D und direkten linearen Messungen bei 2 mm oder weniger. Hochgenau wurde auf weniger als 0,5 mm bezogen, weniger genau, aber klinisch irrelevant, zwischen 0,5 und 1 mm und klinisch relevant zwischen 1 und 2 mm. Dindaroglu et al. führten eine Vergleichsstudie zur Bewertung der Richtigkeit der 3D -Stereofotogrammetrie durch, die sich darauf konzentriert, die Richtigkeit der dreidimensionalen (3D) Stereofotogrammetrie (3dMDflex-System von 3dMD, Atlanta, Ga) durch Vergleich mit den Methoden der direkten Anthropometrie (Schieblehre) und der digitalen Fotogrammetrie zu bewerten [9]. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass der höchste mittlere Unterschied 0,30 mm betrug, wenn die direkte Messung mit der Fotogrammetrie verglichen wurde, und 0,21 mm, wenn die direkte Messung mit der 3D -Stereofotogrammetrie verglichen wurde. Sie legt nahe, dass die 3D -Stereofotogrammetrie bei der Messung von Gesichtsvariablen genauer als die 2D -Fotogrammetrie ist.

Unserer Ansicht nach kann bei Patienten, deren Gesichtswerte im Normalbereich liegen, die 2D -Fotogrammetrie mit der 3D -Stereofotogrammetrie konkurrieren. Bei Patienten, deren Gesichtswerte nicht im Normbereich liegen (wie z.B. Patienten mit Enophthalmus oder Exophthalmus), ist es jedoch wahrscheinlicher, dass die 2D -Fotogrammetrie weniger genaue Ergebnisse erzielt als die 3D -Stereofotogrammetrie. Außerdem ist die 3D -Stereofotogrammetrie für verschiedene Gesichtsstrukturen (z.B. verschiedene Ethnien) besser geeignet, was bewiesen hat, dass diese Technik stabil und zuverlässig ist, wenn in dieser Studie zwei verschiedene Ethnien gemessen werden. Außerdem ist die 3D -Stereofotogrammetrie für Kopfpositionen bei der Aufnahme der Bilder umfassender, was zu einer bequemeren Bedienung beiträgt.

---

Allerdings hat das 3D -Stereofotogrammetrie-System auch seine Nachteile. Beispielsweise ist vor der Verwendung eine Kalibrierung erforderlich, und es ist nicht in der Lage, transparente Objekte, wie z.B. die Hornhaut, zu erfassen. Bei einigen tieferen Positionen, wie z.B. beim Endokanthion, kann es aufgrund der Lichtblockierung eine geringere Genauigkeit als andere Positionen aufweisen; dies muss von den Herstellern weiter verbessert werden. Es ist jedoch unbestreitbar, dass die 3D -Stereofotogrammetrie im Vergleich zu den anderen Messmethoden ihre einzigartigen Vorteile hat. Bei der Messung von Gesichtsvariablen ist sie es wert, in der klinischen Praxis als genaues und zuverlässiges Verfahren weiter gefördert zu werden.

Im Allgemeinen entwickelt sich die innovative Stereofotogrammetrie zu einer weit verbreiteten, effektiven Evaluierungstechnologie für Gesichtsunterschiede in einem klinischen Umfeld [32]. Wir haben die Zuverlässigkeit der Flächenmessungen im periokulären Bereich anhand von fünf häufig verwendeten statistischen Indikatoren überprüft. Unsere Studie zeigte eine hohe Zuverlässigkeit der Flächenmessungen trotz unterschiedlicher Positionen, Größen und Ethnien. Nach unserem besten Wissen ist dies die erste Arbeit, die die Zuverlässigkeit von periokulären Flächenmessungen mit Stereofotogrammetrie-Systemen analysiert. Diese Studie stellt die Angaben zur Zuverlässigkeit von Flächenmessungen in der periokulären Region zusammen und kann eine theoretische Grundlage für die relevanten Variablen bereitstellen, die bewertet werden müssen, wie z.B. die chirurgische Auswahl, die geschätzte Menge der präoperativen Hautexzision und die Bewertung beim Lidödem. Darüber hinaus kann diese Studie sowohl für Augenärzte als auch plastische Chirurgen eine praktischere und nützlichere Aufklärung bieten.

Auch diese Studie hat einige Einschränkungen. Obwohl die Stichprobengröße beträchtlich ist, ist sie im Vergleich zu ähnlichen Artikeln nicht die größte. Da Kinder und ältere Menschen zudem nicht lange stillstehen können, unterscheidet sich Gesichtsstruktur von der bei den jungen Menschen. Um nicht noch mehr Variablen einzuführen, wurden in unserer Studie Kinder und ältere Menschen nicht als Forschungsobjekte einbezogen.

---

## 5. Zusammenfassung

Die dreidimensionalen (3D) Stereofotografie-Flächenmessungen sind für die Beschreibung der Morphologie im periokulären Bereich unerlässlich. Ihre Zuverlässigkeit ist jedoch noch nicht ausreichend überprüft worden. Das Ziel dieser Studie war es, die Zuverlässigkeit von dreidimensionalen stereofotogrammetrischen 3D-Flächenmessungen im periokulären Bereich zu bewerten. Vierzig gesunde Probanden wurden mit fünf flachen Gegenständen aus Papier an jeder der sieben periokulären Positionen, darunter Endokanthion und oberes mediales, oberes mittleres, oberes laterales, unteres mediales, unteres mittleres und unteres laterales Augenlid, ausgestattet. Zwei Serien von fotografischen Bildern wurden zweimal vom gleichen Untersucher aufgenommen. Jedes Bild der ersten Serie wurde zweimal von demselben Untersucher gemessen, während die Bilder beider Serien einmal von einem zweiten Bewerber gemessen wurden. Die Unterschiede zwischen diesen Messungen wurden berechnet, und die Zuverlässigkeit der Intrarater-, Interrater- und Intramethode wurde für die Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (IKK), mittlere absolute Differenz (MAD), technische Messfehler (TMF), relative Messfehler (RMF) und relative TMF (rTMF) bewertet. Unsere Ergebnisse zeigten, dass 66,67% aller IKKs einschließlich der Intrarater-, Interrater- und Intramethode ausgezeichnet waren, während 30,30% aller IKKs zufriedenstellend waren. Der Interrater-IKK für die Endokanthion-Lage betrug 0,376% auf niedrigem Niveau. Die MAD für alle Gegenstände betrug weniger als 0,3 mm<sup>2</sup>, alle TMF weniger als 1 mm<sup>2</sup>, das RMF und rTMF weniger als 2% für alle Gegenstände und zeigte damit eine hohe Zuverlässigkeit. Die 3D-Stereofotogrammetrie ist ein äußerst zuverlässiges System für periokuläre Flächenmessungen und kann sowohl in der klinischen Routine zur Planung okuloplastischer Operationen als auch zur Bewertung von Veränderungen der periokulären Morphologie eingesetzt werden.

---

## 6. Literaturverzeichnis

1. Lieberman, L.S. (1996), *Anthropometry: The individual and the population*. Edited by S. J. Ulijaszek and C. G. N. Mascie - Taylor. xiii + 213 pp. New York: Cambridge University Press 1994. \$54.95 (cloth). *Am. J. Hum. Biol.*, 8: 91-92. doi: 10.1002/ajhb.1310080103
2. Hunt, Edward E. "Anthropometry, genetics and racial history." *American Anthropologist* 61.1 (1959): 64-87.
3. Laurenza, Domenico. *Leonardo's Machines: Secrets and Inventions in the Da Vinci Codices*. Taylor & Francis, 2005.
4. Murtinho, Vitor. "Leonardo's Vitruvian Man drawing: A new interpretation looking at Leonardo's geometric constructions." *Nexus Network Journal* 17.2 (2015): 507-524.
5. Kaluszynski, Martine. "7. Republican Identity: Bertillonage as Government Technique." *Documenting individual identity*. Princeton University Press, 2018. 123-138.
6. Zhang, Xiaozheng, Yongsheng Gao, and Maylor KH Leung. "Recognizing rotated faces from frontal and side views: An approach toward effective use of mugshot databases." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* 3.4 (2008): 684-697.
7. Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, DeLeon VB, Richtsmeier JT. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *Am J Med Genet A*. 2005;138A(3):247–253. doi:10.1002/ajmg. a.30959.
8. Celebi AA, Kau CH, Ozaydin B. Three-Dimensional Anthropometric Evaluation of Facial Morphology. *J Craniofac Surg*. 2017 Jul;28(5):e470-e474. doi: 10.1097/SCS.0000000000003773. PMID: 28665846.
9. Kau CH, Richmond S, Zhurov A, Ovsenik M, Tawfik W, Borbely P, English JD. Use of 3-dimensional surface acquisition to study facial morphology in 5 populations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 Apr;137(4 Suppl):S56.e1-9; discussion S56-7. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.04.022. PMID: 20381762.

- 
10. Guo Y, Hou X, Rokohl AC, Jia R, Heindl LM. Reliability of Periocular Anthropometry: A Comparison of Direct, 2-Dimensional, and 3-Dimensional Techniques. *Dermatol Surg.* 2020 Sep;46(9):e23-e31. doi: 10.1097/DSS.0000000000002243. PMID: 31809350.
  11. Hammond P, Hutton TJ, Allanson JE, Buxton B, Campbell LE, Clayton-Smith J, Donnai D, Karmiloff-Smith A, Metcalfe K, Murphy KC, Patton M, Pober B, Prescott K, Scambler P, Shaw A, Smith AC, Stevens AF, Temple IK, Hennekam R, Tassabehji M. Discriminating power of localized three-dimensional facial morphology. *Am J Hum Genet.* 2005 Dec;77(6):999-1010. doi: 10.1086/498396. Epub 2005 Oct 26. PMID: 16380911; PMCID: PMC1285182.
  12. Hyer JN, Murta F, Juniat VAR, Ezra DG. Validating three-dimensional imaging for volumetric assessment of periorbital soft tissue. *Orbit.* 2021 Feb;40(1):9-17. doi: 10.1080/01676830.2020.1711780. Epub 2020 Jan 14. PMID: 31931650.
  13. Gibelli D, Pucciarelli V, Cappella A, Dolci C, Sforza C. Are Portable Stereophotogrammetric Devices Reliable in Facial Imaging? A Validation Study of VECTRA H1 Device. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018 Aug;76(8):1772-1784. doi: 10.1016/j.joms.2018.01.021. Epub 2018 Jan 31. PMID: 29458028.
  14. Tzou CH, Artner NM, Pona I, Hold A, Placheta E, Kropatsch WG, Frey M. Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2014 Apr;67(4):489-97. doi: 10.1016/j.bjps.2014.01.003. Epub 2014 Jan 15. PMID: 24529695.
  15. Codari M, Pucciarelli V, Pisoni L, Sforza C. Laser scanner compared with stereophotogrammetry for measurements of area on nasal plaster casts. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2015 Oct;53(8):769-70. doi: 10.1016/j.bjoms.2015.05.007. Epub 2015 Jun 3. PMID: 26048099.
  16. Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, Aslan E. Accuracy and reliability of 3D stereophotogrammetry: A comparison to direct anthropometry and 2D photogrammetry. *Angle Orthod.* 2016 May;86(3):487-94. doi: 10.2319/041415-244.1. Epub 2015 Aug 12. PMID: 26267357.
  17. Düppe K, Becker M, Schönmeyr B. Evaluation of Facial Anthropometry Using

---

Three-Dimensional Photogrammetry and Direct Measuring Techniques. *J Craniofac Surg.* 2018 Jul;29(5):1245-1251. doi: 10.1097/SCS.0000000000004580. PMID: 29608484.

18. Guo Y, Rokohl AC, Schaub F, Hou X, Liu J, Ruan Y, Jia R, Koch KR, Heindl LM. Reliability of periocular anthropometry using three-dimensional digital stereophotogrammetry. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2019 Nov;257(11):2517-2531. doi: 10.1007/s00417-019-04428-6. Epub 2019 Aug 12. PMID: 31407036.

19. Plooij JM, Swennen GR, Rangel FA, Maal TJ, Schutyser FA, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Bergé SJ. Evaluation of reproducibility and reliability of 3D soft tissue analysis using 3D stereophotogrammetry. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Mar;38(3):267-73. doi: 10.1016/j.ijom.2008.12.009. Epub 2009 Jan 22. PMID: 19167191.

20. Guo Y, Schaub F, Mor JM, Jia R, Koch KR, Heindl LM. A Simple Standardized Three-Dimensional Anthropometry for the Periocular Region in a European Population. *Plast Reconstr Surg.* 2020 Mar;145(3):514e-523e. doi: 10.1097/PRS.0000000000006555. PMID: 32097302.

21. Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>

22. Weinberg SM. 3D stereophotogrammetry versus traditional craniofacial anthropometry: Comparing measurements from the 3D facial norms database to Farkas's North American norms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019 May;155(5):693-701. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.06.018. PMID: 31053285; PMCID: PMC6571015.

23. Ulijaszek SJ, Kerr DA. Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *Br J Nutr.* 1999 Sep;82(3):165-77. doi: 10.1017/s0007114599001348. Erratum in: *Br J Nutr* 2000 Jan;83(1):95. PMID: 10655963.

24. Lübbers HT, Medinger L, Kruse AL, Grätz KW, Obwegeser JA, Matthews F. The influence of involuntary facial movements on craniofacial anthropometry: a survey

- 
- using a three-dimensional photographic system. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2012 Mar;50(2):171-5. doi: 10.1016/j.bjoms.2010.12.002. Epub 2011 Jan 14. PMID: 21236527.
25. Luebbers HT, Messmer P, Obwegeser JA, Zwahlen RA, Kikinis R, Graetz KW, Matthews F. Comparison of different registration methods for surgical navigation in cranio-maxillofacial surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2008 Mar;36(2):109-16. doi: 10.1016/j.jcms.2007.09.002. Epub 2008 Feb 14. PMID: 18280173.
26. de Menezes M, Rosati R, Ferrario VF, Sforza C. Accuracy and reproducibility of a 3-dimensional stereophotogrammetric imaging system. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010 Sep;68(9):2129-35. doi: 10.1016/j.joms.2009.09.036. Epub 2010 Jun 19. PMID: 20646812.
27. Rosati R, De Menezes M, Rossetti A, Sforza C, Ferrario VF. Digital dental cast placement in 3-dimensional, full-face reconstruction: a technical evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 Jul;138(1):84-8. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.10.035. PMID: 20620838.
28. Andrade LM, Rodrigues da Silva AMB, Magri LV, Rodrigues da Silva MAM. Repeatability Study of Angular and Linear Measurements on Facial Morphology Analysis by Means of Stereophotogrammetry. *J Craniofac Surg.* 2017 Jun;28(4):1107-1111. doi: 10.1097/SCS.00000000000003554. PMID: 28212123.
29. Jodeh DS, Curtis H, Cray JJ, Ford J, Decker S, Rottgers SA. Anthropometric Evaluation of Periorbital Region and Facial Projection Using Three-Dimensional Photogrammetry. *J Craniofac Surg.* 2018 Nov;29(8):2017-2020. doi: 10.1097/SCS.00000000000004761. PMID: 30277938.
30. Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Brandon CA, Marazita ML. Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate Craniofac J.* 2004Sep;41(5):507-18. doi: 10.1597/03-066.1. PMID: 15352857.
31. Tzou CH, Frey M. Evolution of 3D surface imaging systems in facial plastic surgery. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2011 Nov;19(4):591-602, vii. doi: 10.1016/j.fsc.2011.07.003. PMID: 22004854.

---

32. Taylor HO, Morrison CS, Linden O, Phillips B, Chang J, Byrne ME, Sullivan SR, Forrest CR. Quantitative facial asymmetry: using three-dimensional photogrammetry to measure baseline facial surface symmetry. *J Craniofac Surg.* 2014 Jan;25(1):124-8. doi: 10.1097/SCS.0b013e3182a2e99d. PMID: 24406564.

---

## 7. Vorabveröffentlichung von Ergebnissen

### **Publikation:**

Liu J, Rokohl AC, Guo Y, Li S, Hou X, Fan W, **Formuzal M**, Lin M, Heindl LM. Reliability of Stereophotogrammetry for Area Measurement in the Periocular Region. *Aesthetic Plast Surg.* 2021 Jan 15. doi: 10.1007/s00266-020-02091-5. Epub ahead of print. PMID: 33452540.

---

## 8. Lebenslauf

**Maxim Formuzal**

**Geboren am 26.07.1992 in Moldawien**



### **Beruflicher Werdegang**

- **2011** Abitur im -Gymnasium „Orizont“
- **2011-2013** Ausbildung zum Zahntechniker in Moldawien
- **2013** Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Universität zu Köln
- seit **2015** Mitglied der Fachschaft der Zahnmedizin Köln
- **14.05.2015** Seminar für zahnmedizinische Ästhetik im Frontzahnbereich
- **16.05.2018** Seminar für Innovatives Kariesmanagement durch Kariesinfiltration
- **11.10.2018** Seminar für Implantologie an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie und Poliklinik für Orale Chirurgie der Universität zu Köln (Das Thema: spezielle Nahttechniken)
- **22.11.2018** Seminar für Implantologie an der Poliklinik für Orale Chirurgie (Das Thema: Implantationstechniken unterschiedlicher Systeme)
- **17.01.2019** Seminar für Implantologie an der Poliklinik für Orale Chirurgie (Das Thema: Piezosurgery in Oralchirurgie und Implantologie)
- **21.06.2019** Erfolgreicher Abschluss des Studiums mit der Gesamtnote „gut“.
- **18.07.2019** Approbation als Zahnarzt
- **Ab 15.08.2019** Angestellter Zahnarzt

### **Sprachkenntnisse:**

- Deutsch
- Englisch
- Russisch
- Moldawisch