

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

Genauigkeit der Flächenmessung im periokulären Bereich mit der Stereofotogrammetrie

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

vorgelegt von
Marat Martin Arakelyan
aus Eriwan (Armenien)

promoviert am 26.08.2022

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

Maxim Formuzal

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 16.10.2021

Unterschrift: 

Die dieser Doktorarbeit zugrundeliegende Messwerte wurden gemeinsam durch Frau Jinhua Liu, Herrn Maxim Formuzal und mich ermittelt und ausgewertet.

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

Die direkten Messungen wurden unter Verwendung eines Messschiebers durchgeführt.

GraphPad Prism Version 8 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA) wurde für Streudiagramme verwendet.

SPSS Version 22 (IBM Corporation, Armonk, NY) wurde für statistische Analysen verwendet.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei Allen bedanken, die mich bei meinem Werdegang unterstützt haben.

Vielen Dank an Univ.-Prof. Dr. med. Ludwig Heindl, dass er mich als Doktorand in der Augenheilkunde aufgenommen und unterstützt hat.

Vielen Dank an Herrn Dr. med. Alexander C. Rokohl, dass er uns bei jeder Frage geholfen und unterstützt hat.

Ohne Hilfe von Herrn Maxim Formuzal und Frau Jinhua Liu wäre es ziemlich schwer gewesen die ganzen Messungen durchzuführen.

Ich möchte mich auch bei meiner Mutter, meinem Bruder und meiner ganzen Familie bedanken, für jahrelange Unterstützung und Hilfe.

Bei all den unzähligen Menschen, die mich in unterschiedlichen Lebensabschnitten unterstützt haben, möchte ich mich auch herzlich bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	4
Abkürzungsverzeichnis	6
1. Einleitung	7
1.1 Geschichte der Anthropometrie.....	7
1.2 Dreidimensionale Stereofotogrammetrie	10
2. Materialien und Methoden	13
2.1 Teilnehmer	13
2.2 Gegenstände	14
2.3 Messungen	16
2.4 Datenanalyse	26
3. Ergebnisse	27
4. Diskussion	39
5. Zusammenfassung	46
6. Literaturverzeichnis	47
7. Vorabveröffentlichung von Ergebnissen	52
8. Lebenslauf	53

Abkürzungsverzeichnis

- 3D - dreidimensional
- 2D - zweidimensional
- MeO - mediales Oberlid
- MiO - mittleres Oberlid
- LaO - laterales Oberlid
- MiU - mittleres Unterlid
- MeU - mediales Unterlid
- LaU - laterales Unterlid
- En - Endokanthion
- DM - direkte Messung
- SD - Standardabweichung
- MAD - mittlere absolute Abweichung

1. Einleitung

1.1 Geschichte der Anthropometrie

Anthropometrie ist eine Wissenschaft, welche sich mit der Messung des menschlichen Körpers beschäftigt [1]. Der Begriff hat seinen Ursprung aus dem Griechischen und setzt sich aus 2 Wörtern zusammen: „Anthropos“ (der Mensch) und „Metros“ (das Maß) [1]. Alte Zivilisationen von Rom, Griechenland und Ägypten nutzten anthropometrische Messungen für kulturelle Zwecke in Form von Kunstwerken, um die Schönheit, die Macht und andere wünschenswerte Attribute der menschlichen Form zu präsentieren [2]. Begehrt war insbesondere die Symmetrie und die Messeinheiten bestanden häufig aus „menschlichen Händen, als Messeinheit für die Breite“ und „menschlichen Füßen, als Messeinheit für die Länge“ [2].

Während der Renaissance benutzten die wissenschaftlichen Gelehrten meistens durch die Obduktion menschlicher Leichen gewonnene anthropometrische Messdaten um die genauen Skizzen des Menschlichen Körpers sowie des Skelettaufbaus und des inneren Aufbaus des Körpers anzufertigen [3].

Zu den bekanntesten Vertretern dieser Epoche gehört Leonardo Da Vinci [3]. Er benutzte aus der Obduktion gewonnenen Daten der menschlichen Maße um seine Arbeitsgeräte zu optimieren [3].

Um dies zu erreichen, fertigte er zahlreiche Skizzen des menschlichen Körpers [4]. Eins der bekanntesten Werken von Leonardo Da Vinci in Zusammenhang mit der Anthropometrie ist „der Vitruvianischer Mensch“ (Abbildung 1) [4].

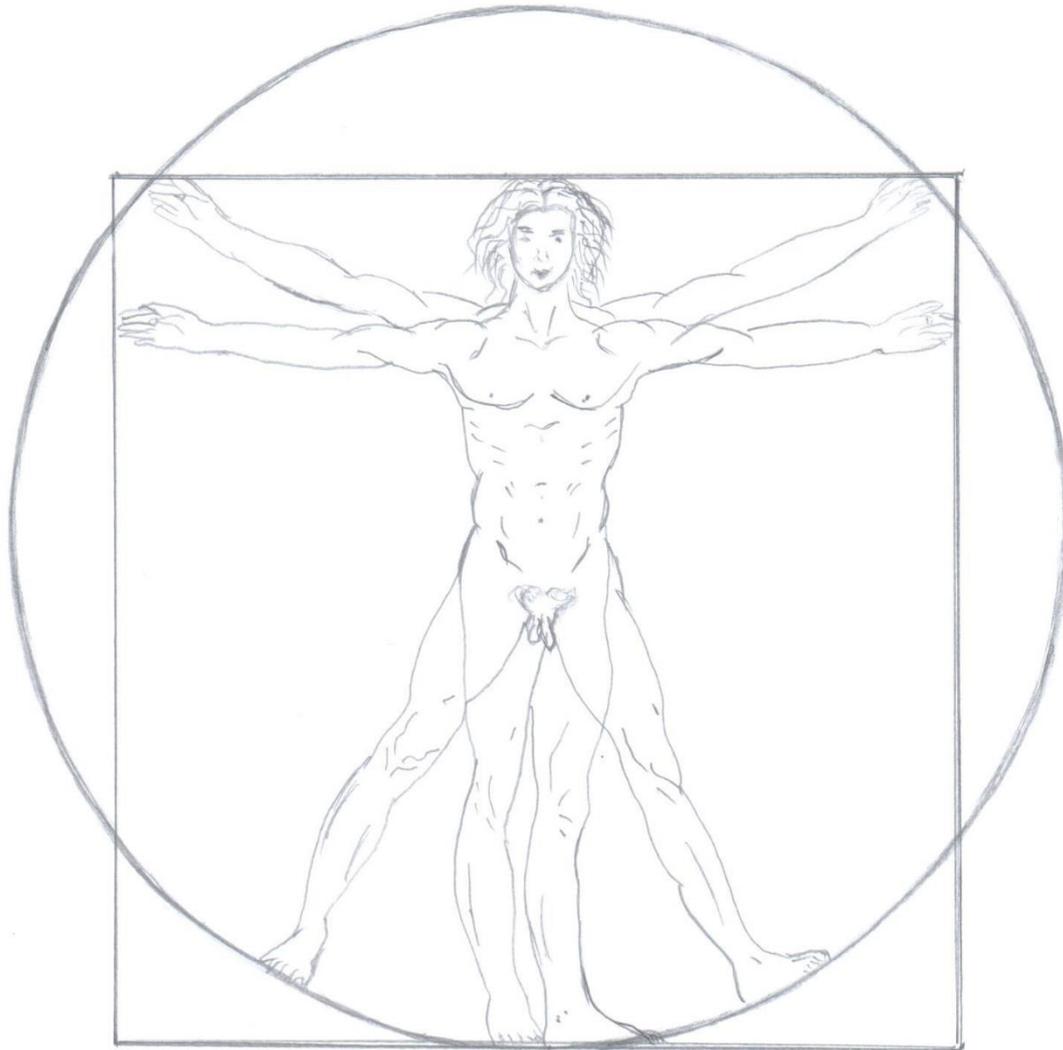


Abbildung 1: Nachzeichnung von Leonardo Da Vincis Werk „Der vitruvianische Mensch“

Mit der Entwicklung der Fotografie entwickelten sich auch die anthropometrischen Messungen [5]. Dabei spielt das 19. Jahrhundert eine besonders wichtige Rolle [5]. Der französische Kriminalist und Anthropologe Alphonse Bertillon entwickelte basierend auf den Erkenntnissen der Anthropometrie eine neue kriminalistische Identifikationsmethode, welche später auch nach ihm benannt wurde – „Bertillonage“ [5]. Dabei handelt es sich um ein Katalogisierungsverfahren, bei welchem die Verdächtigten und Täter unter standardisierten Bedingungen fotografiert und Körpermaße ausgemessen wurden [5]. Er vermaß Länge und Breite folgender Körperregionen: des Kopfs, des Ohrs, des Fußes, des

Vorderarms [5]. (Abbildung 2) Außerdem wurden auch Größe und Farbe der Augen registriert und in eine Karte eingetragen. „Bertillonage“ gilt also als eins der frühen biometrischen Identifikationssystemen [5].

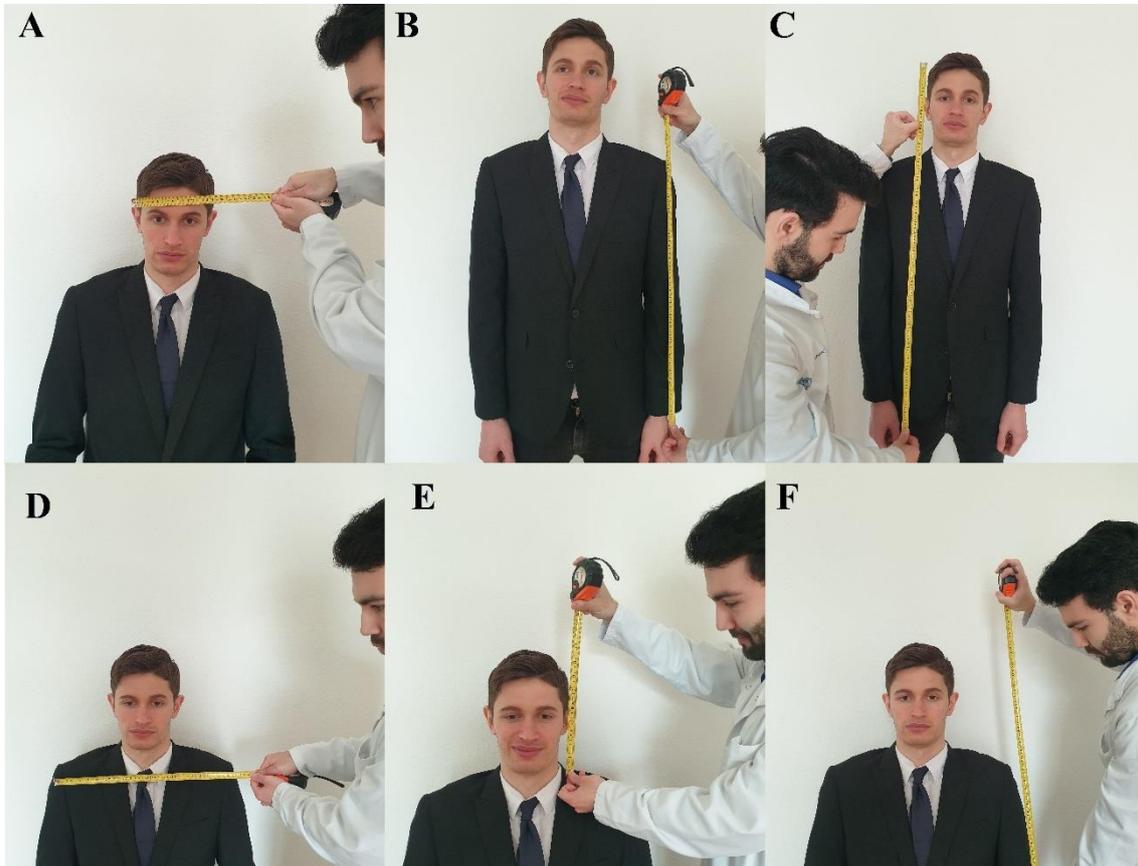


Abbildung 2: Vermessung der Körperregionen

A – Kopfbreite, B – Armlänge, C – Oberkörperlänge, D – Schulterbreite, E – Kopfbreite, E – Ellenbogenlänge.

Später wurde die „Bertillonage“ durch „Daktyloskopie“ ersetzt, da dieses Verfahren wesentlich schneller und genauer ist [6]. Man muss allerdings anmerken, dass bei der Bertillonage angefertigte Art von Bildern: „en face“ und „en profil“ immer noch in der Kriminalistik Gebrauch finden, so werden zum Beispiel die Bilder von Tätern und Verdächtigen von vorne und von der Seite aufgenommen (Abbildung 3) [6].

Heutzutage werden solche Polizeifotos auch Mugshot genannt [6].

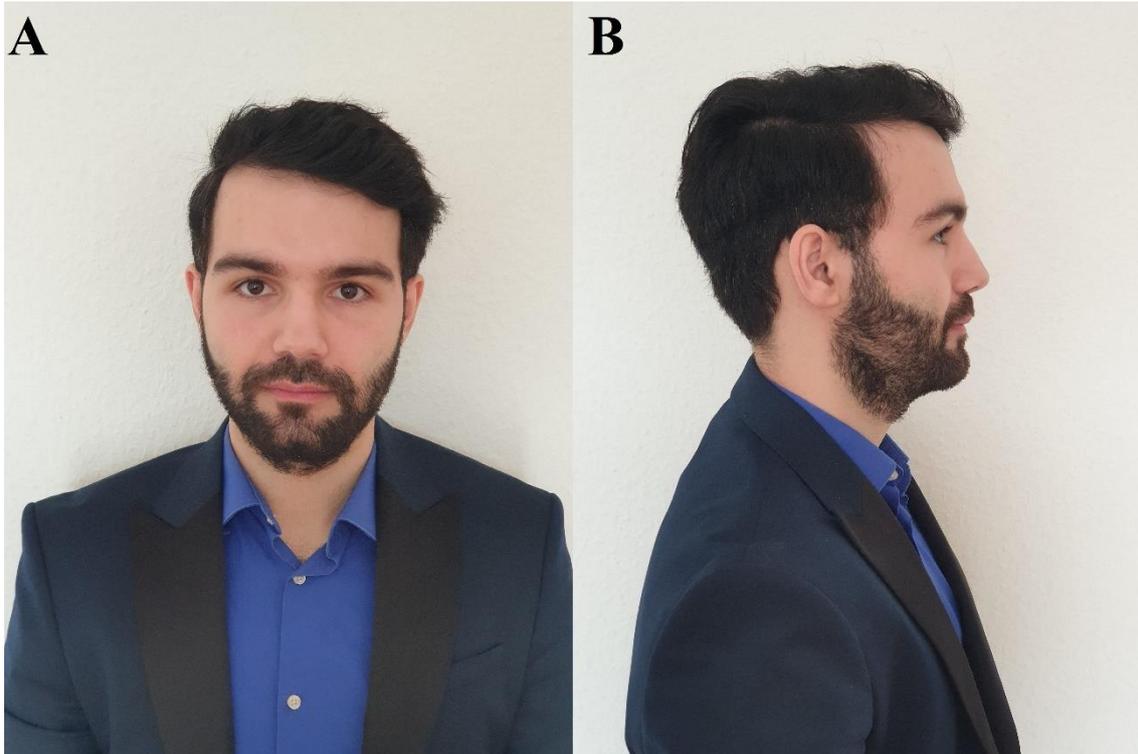


Abbildung 3: Bild von vorne und seitlich, nach der Methodik von Bertillon

A – von vorne, B – von der Seite

1.2 Dreidimensionale Stereofotogrammetrie

Die dreidimensionalen stereofotogrammetrischen Systeme ermöglichen die Aufnahme und die Messung der Oberflächengeometrie und sind in der Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie stark entwickelt worden, bei welchen die Messgenauigkeit von höchster Wichtigkeit ist [7]. In den letzten Jahren haben sich die Anwendungsgebiete der dreidimensionalen Stereofotogrammetrischen Systeme stark erweitert, unter anderem im Bereich der Anthropometrie [7].

Mit der zunehmenden Entwicklung der medizinischen Technologie spielen anthropometrische Gesichtsmessungen eine wichtige Rolle bei der Überwachung von Gesichtsveränderungen [8-10], der Bewertung von Operationsergebnissen, der Planung von Operationen, der Charakterisierung der Gesichtsmorphologie aufgrund genetischer Defekte [11], und der Identifizierung von Individuen [12]. Anthropometrische Gesichtsmethoden beschreiben oder vergleichen Gesichtsm Merkmale durch Messung von Abständen, Winkeln, Flächen oder Volumendiskrepanzen.

Bisher konzentrierte sich die stereofotografische Messforschung hauptsächlich auf den Kiefer- und Gesichtsbereich [13-17]. Einige wenige Studien haben jedoch über ihre Anwendung im periokulären Bereich berichtet [18-22]. Um die Stereofotogrammetrie im periokulären Bereich effektiver zu gestalten, konzentrierten sich unsere früheren Studien auf die Erforschung und Standardisierung praktischerer Messmethoden. Um mehr standardisierte Variablen zu erhalten, wurde ein standardisiertes Landmarken-Lokalisierungsprotokoll zur Beurteilung der linearen Entfernungen, Krümmungen und Winkel erstellt [20]. Zweitens wurde ein Zuverlässigkeitsvergleich der periokulären Anthropometrie zwischen direkten, 2-dimensionalen und 3-dimensionalen Techniken durchgeführt, der die konkurrierende Zuverlässigkeit der periokulären linearen Entfernungs- und Winkelmessungen für die 3D - Stereofotogrammetrie belegt [18]. Darüber hinaus nutzten wir die 3D - Stereofotogrammetrie zur Bestätigung der hohen Präzision dieser Messungen auf der Grundlage der standardisierten Orientierungspunkte, die erfreuliche Ergebnisse hinsichtlich der mittleren absoluten Differenz, des relativen Messfehlers, des technischen Messfehlers, des relativen technischen Messfehlers und des Korrelationskoeffizienten innerhalb der Klasse präsentierten [19].

Zur ausreichenden Beurteilung von Augenlidödemen, Augenlidtumoren, Gesichtssymmetrie und zur Planung der rekonstruktiven Chirurgie sind jedoch nicht nur lineare Abstände, Krümmungen und Winkel, sondern vielmehr Flächen- und Volumenmessungen erforderlich. Die Flächen- und Volumenmessungen könnten umfassendere Informationen liefern als die linearen Abstände und Winkel, wenn die Zielregion breit und unregelmäßig ist. Solche Analysen müssen erst noch durchgeführt werden. Hyer et al. [21] evaluierten die volumetrische Beurteilung mittels 3D stereofotogrammetrischer Bildgebung im periorbitalen Bereich und bestätigten deren Genauigkeit und Wiederholbarkeit. Es wurden jedoch nur Volumenveränderungen im Augenlid untersucht, ohne die Veränderungen im Bereich zu bewerten, und sie untersuchten nicht die Genauigkeit, sondern die Zuverlässigkeit. Die Studie mit Details

zur Untersuchung der Genauigkeit der Flächen- und Volumenmessungen im periokulären Bereich ist unzureichend.

Daher bestand der Zweck dieser Studie darin, die Genauigkeit der Stereofotogrammetrie - Flächenmessungen im periokulären Bereich zu bewerten und die geschlechtsspezifischen und ethnischen (kaukasische und chinesische) Unterschiede bei diesen Messungen zu untersuchen.

2. Materialien und Methoden

2.1 Teilnehmer

Insgesamt wurden in dieser Studie 40 gesunde junge Probanden auf der Basis der Fallzahlberechnung mit einer Power von 80%, einem zweiseitigen Signifikanzniveau von 5% und einer Effektgröße von 0,25 angeworben. Ausschlusskriterien waren Freiwillige mit Gesichtsanomalien, Trauma oder Hautkrankheiten. Von jeder Person wurde eine schriftlich informierende Einwilligung eingeholt. Diese Studie folgte der Deklaration von Helsinki zum medizinischen Protokoll und zur Ethik, und der regionale Ethik-Revisionsausschuss der Universität zu Köln genehmigte die Studie.

2.2 Gegenstände

Insgesamt fünf flache Gegenstände aus Papier wurden mit Adobe Illustrator 2019 erstellt und gedruckt (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA, USA). Um das Anbringen der Gegenstände zu vereinfachen und möglichst hygienisch durchzuführen, wurden diese auf einem Etikettenpapier gedruckt, damit kein zusätzliches Klebematerial verwendet werden musste, welches zu Hautirritationen führen könnte. Die Gegenstände 1 - 4 wurden in rechteckiger Form mit Flächen von $0,16 \text{ cm}^2$, $0,64 \text{ cm}^2$, $1,44 \text{ cm}^2$ und $2,56 \text{ cm}^2$ entsprechend gestaltet. Gegenstand 5 wurde in einer quadratischen Form mit einer Fläche von $0,36 \text{ cm}^2$ entworfen. Für jeden Probanden wurden die Gegenstände 1-4 einfach und das Gegenstand 5 siebenfach angefertigt. (Abbildung 4)

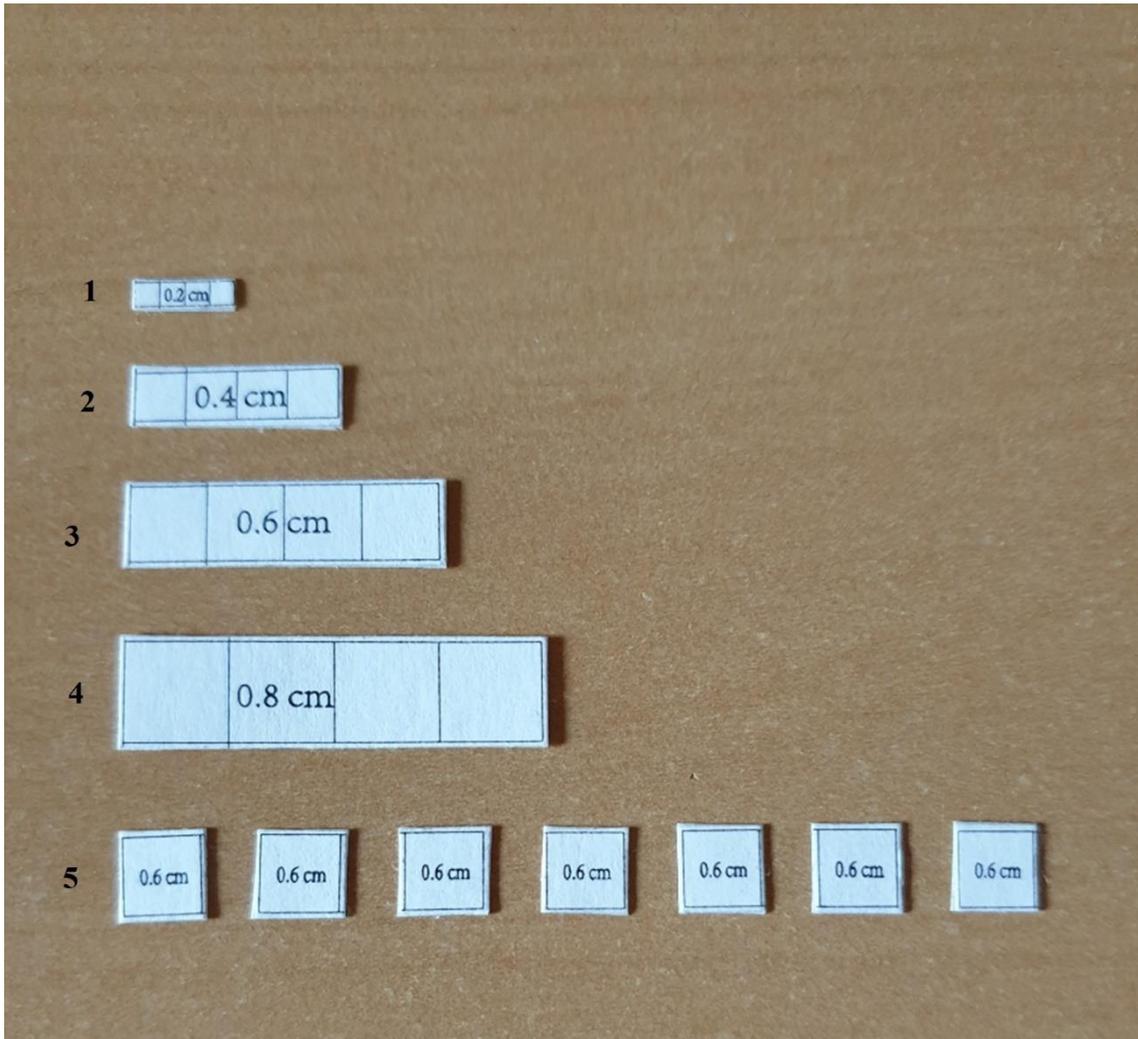


Abbildung 4: (Gegenstände 1-5)

Gegenstand 1 mit der Fläche von $0,16 \text{ cm}^2$

Gegenstand 2 mit der Fläche von $0,64 \text{ cm}^2$

Gegenstand 3 mit der Fläche von $1,44 \text{ cm}^2$

Gegenstand 4 mit der Fläche von $2,56 \text{ cm}^2$

Gegenstand 5 mit der Fläche von $0,36 \text{ cm}^2$

2.3 Messungen

Die direkten Messungen wurden unter Verwendung eines Messschiebers mit einer Flächengenauigkeit von $0,000025 \text{ cm}^2$ durchgeführt. Die Fläche wurde durch Berechnung der Multiplikation der angrenzenden Längen ermittelt. Die Daten aus dem Messschieber wurden als der wahre Wert betrachtet (Abbildung 5).

Die Stereofotografie wurde mit dem 3D -Bildgebungssystem VECTRA M3 (Abbildung 6) durchgeführt (Canfield Scientific, Inc., Fairfield, NJ, USA). Das System nimmt gleichzeitig drei zweidimensionale Bilder aus drei Kameras auf, welche durch die Software zu einem dreidimensionalen Bild konvertiert werden. Damit die Bilder einheitlich gemacht werden und um die Fehlerquote zu reduzieren, muss man die Kamera regelmäßig mit einer Kalibrierungsschablone (Abbildung 7) in 2 Schritten kalibrieren (Abbildung 8 und 9). Abgesehen davon ist es wichtig, dass die Augenpartien von den Probanden den gleichen Bezugspunkt zu der Kamera haben, und die 3D Bilder somit akkurat dargestellt werden können. Um dies zu gewährleisten, gibt es 3 Linienpaare: 2 vertikale und ein horizontales. Die vertikale Linienpaare sind jeweils für das rechte und linke Auge und werden von der rechten bzw. linken Kamera erfasst (Abbildung 10). Das horizontale Linienpaar wird von der mittleren Kamera erfasst und umfasst beide Augen. Genau die gleichen Linienpaare werden als Orientierungspunkte für die Kalibrierung verwendet (Abbildung 10). Die Probanden wurden gebeten, mit neutralem Gesichtsausdruck vor der Kamera zu sitzen. Die Haare wurden nach hinten geschoben, um eine Verschleierung des Gesichts zu vermeiden, und Schmuckstücke wurden abgenommen, um abnormale Reflexionen zu verhindern. Die Gegenstände 1 - 4 wurden separat in der Mitte des Unterlids platziert, mit einem Abstand von $0,5 \text{ cm}$ vom Unterlidrand (Abbildung 11). Dadurch sollte der Einfluss von Wimpern auf die Analyse reduziert werden. Der Gegenstand 5 ($0,36 \text{ cm}^2$) wurde am Endokanthion, dem oberen medialen Augenlid, dem oberen mittleren Augenlid, dem oberen lateralen Augenlid, dem unteren medialen Augenlid, dem unteren mittleren Augenlid und dem unteren lateralen Augenlid aufgeklebt (Abbildung 12). Die Bilder wurden mit der Mirror-Software (Canfield Imaging Systems, Version: 7.5.3) analysiert, und die

Orientierungspunkte wurden nahe am äußeren Rand der Objektprofilinien platziert. Dies war zeitlich aufwendig, weil man pro Gegenstand mindestens 15 Orientierungspunkte setzen musste, damit die Ergebnisse möglichst objektiv und genau dargestellt werden. (Abbildung 13). Der Bereich innerhalb der Orientierungspunkten wurde für die Messung ausgewählt und automatisch berechnet. (Abbildung 14)



Abbildung 5: Messschieber mit einer Flächengenauigkeit von 0.000025 cm^2



Abbildung 6: Vectra M3 mit 3 Kameras für 3D Bilder

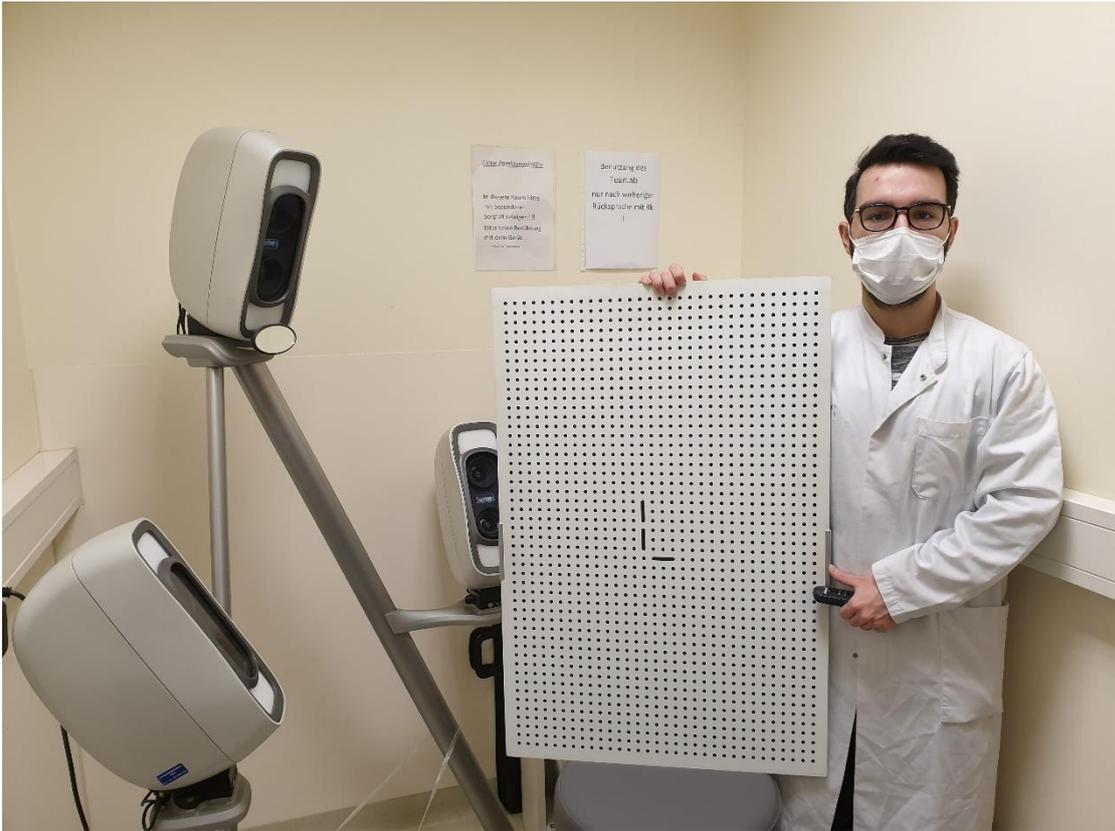


Abbildung 7: Kalibrierungsschablone mit vielen kleinen Punkten und 3 dicken Strichen in der Mitte

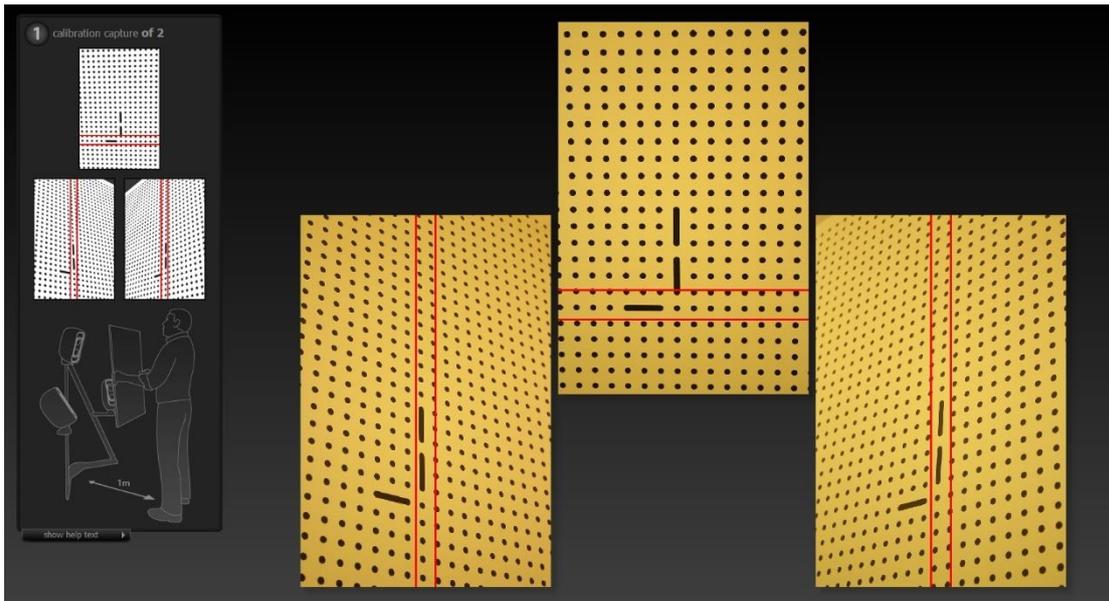


Abbildung 8: Der erste Schritt der Kalibrierung. Dabei muss man die Kalibrierungsschablone in vertikaler Position so halten, dass die dicken Striche innerhalb der Linienpaare erfasst sind, sobald dies gelingt, wird mit der Kamera ein Bild angefertigt

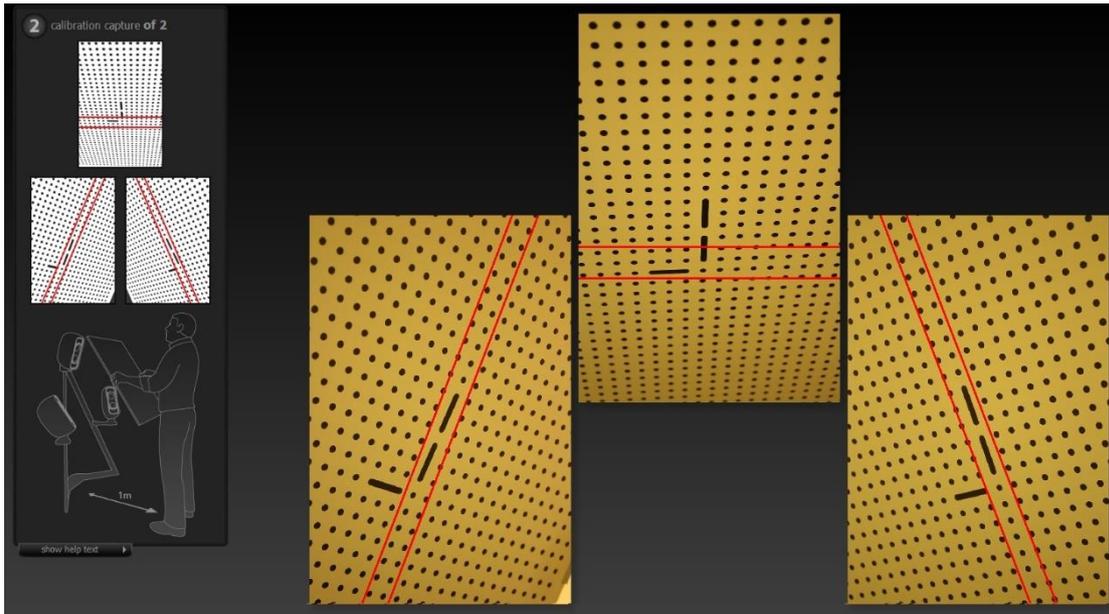


Abbildung 9: Der zweite Schritt der Kalibrierung. Dabei muss man die Kalibrierungsschablone um ca. 45 Grad nach vorne neigen damit die Striche erneut innerhalb der Linien sich befinden

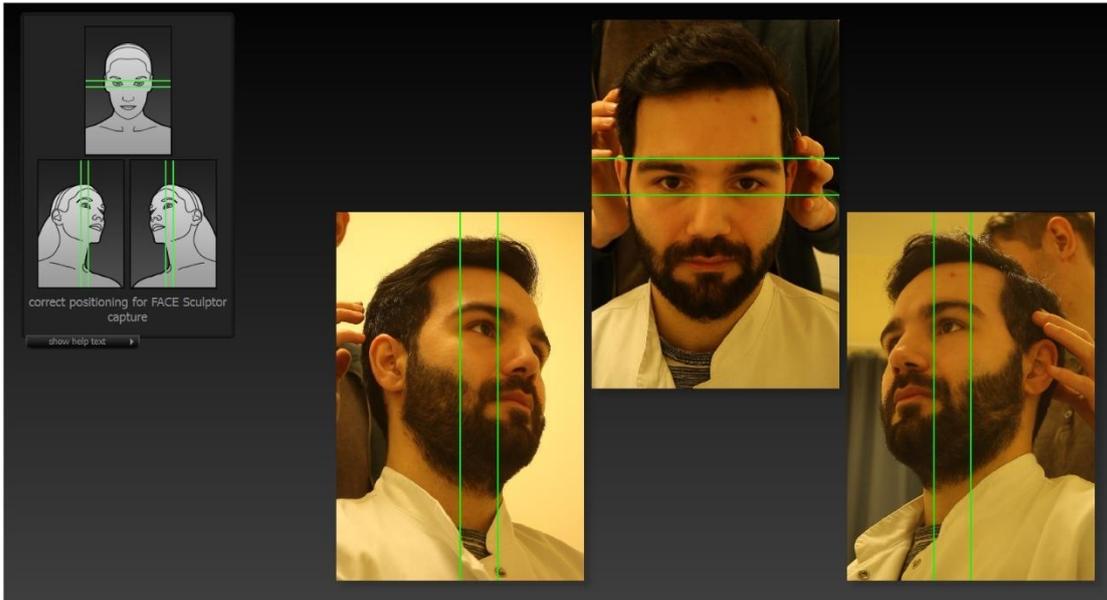


Abbildung 10: Die 3 Linienpaare.

Die Augen müssen sich innerhalb der Linienpaare befinden, um ein adäquates Bild zu erhalten.



Abbildung 11: Die Abbildung der Gegenstände 1 - 4 in der Mitte des Unterlids. Gegenstand 1 mit einer $0,16 \text{ cm}^2$ großen gestalteten Fläche befindet sich links oben. Gegenstand 2 mit einer Fläche von $0,64 \text{ cm}^2$ befindet sich rechts oben. Gegenstand 3 mit einer gestalteten Fläche von $1,44 \text{ cm}^2$ befindet sich links unten. Gegenstand 4 mit einer gestalteten Fläche von $2,56 \text{ cm}^2$ befindet sich rechts unten

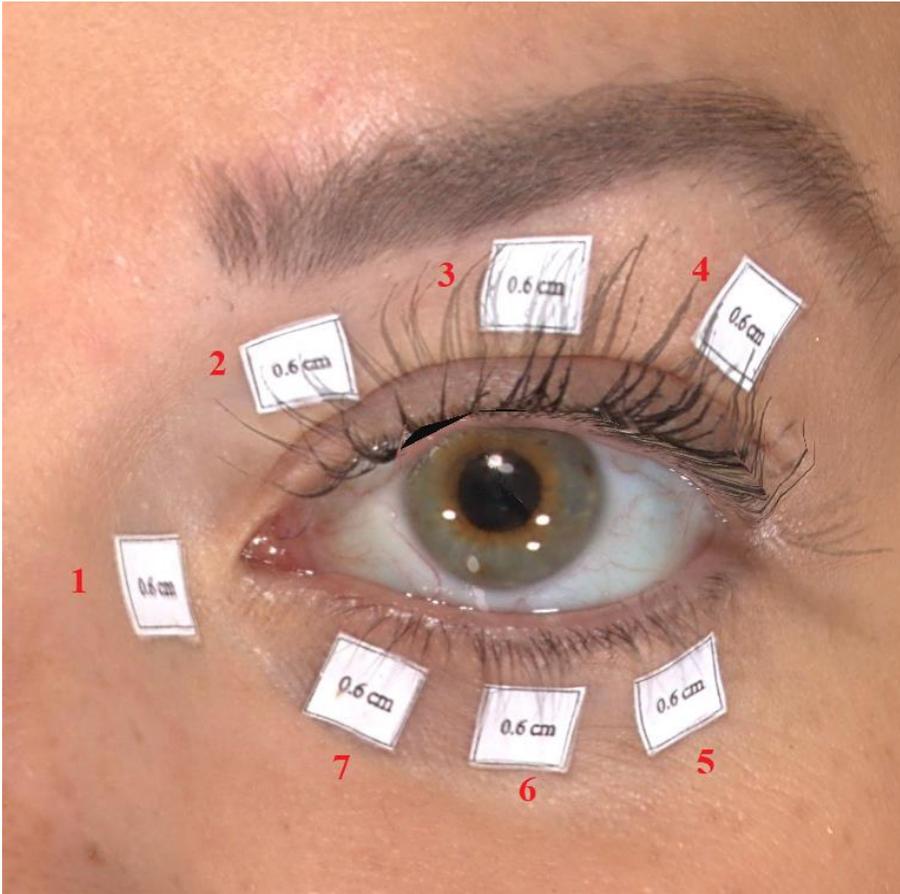


Abbildung 12: Gegenstand 5 ($0,36 \text{ cm}^2$) an sieben Positionen

- 1 - Positionierung am Endokanthion
- 2 – Positionierung am oberen medialen Augenlid
- 3 - Positionierung am oberen mittleren Augenlid
- 4 - Positionierung am oberen lateralen Augenlid
- 5 - Positionierung am unteren lateralen Augenlid
- 6 - Positionierung am unteren mittleren Augenlid
- 7 - Positionierung am unteren medialen Augenlid

Bemerkenswert ist, dass die 3D -Kameras aufgrund der Transparenz der Hornhaut die Hornhaut nicht erfolgreich darstellen können und somit ein unnatürliches Aussehen im Bereich der Hornhaut verursachen.

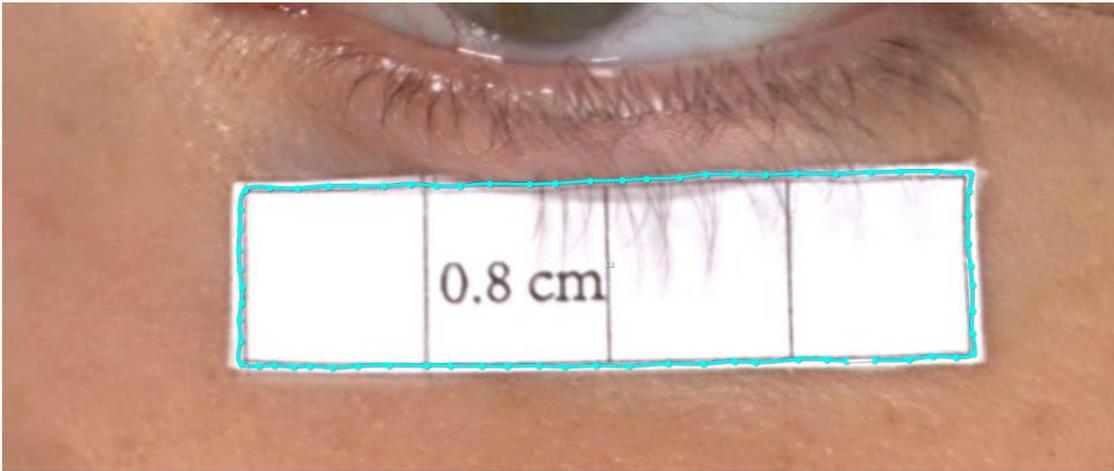


Abbildung 13: Orientierungspunkte am Gegenstand 4 ($2,56 \text{ cm}^2$)

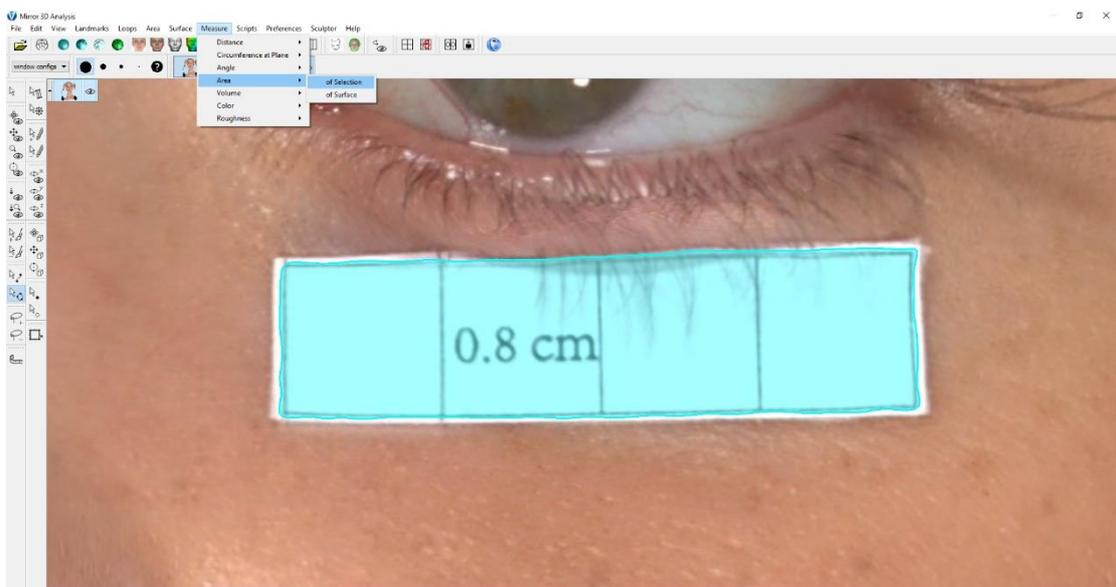


Abbildung 14: Der Bereich innerhalb der Orientierungspunkten wird ausgewählt und mithilfe des Programms gemessen

2.4 Datenanalysen

GraphPad Prism Version 8 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA) wurde für Streudiagramme verwendet. SPSS Version 22 (IBM Corporation, Armonk, NY) wurde für statistische Analysen verwendet. Um die Unterschiede zwischen direkten und 3D - Werten zu analysieren, wurde für normalverteilte Daten ein gepaarter t-Test durchgeführt, während für nicht-normalverteilte Daten nichtparametrische Wilcoxon-Tests mit Vorzeichen durchgeführt wurden, nachdem die Verteilungsnormalität durch den Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft worden war.

Das statistische Signifikanzniveau wurde auf einen Wert $p < 0,05$ festgelegt.

3. Ergebnisse

Unter den 40 Probanden waren 10 kaukasische Männer im Alter von $27,4 \pm 4,01$ Jahren, 10 kaukasische Frauen im Alter von $26,6 \pm 5,12$ Jahren, 10 chinesische Männer im Alter von $30,1 \pm 3,62$ Jahren und 10 chinesische Frauen im Alter von $28,3 \pm 3,82$ Jahren. Das Durchschnittsalter aller Individuen betrug $28,1 \pm 4,38$ Jahre (zwischen 22 - 38 Jahre), zwischen den vier Gruppen wurde keine statistische Signifikanz gefunden (unabhängiger Stichproben t-test, $p > 0,05$).

Die mittleren Flächen von fünf Gegenständen für alle Teilnehmer wurden in der Tabelle 1 dargestellt. Bei der direkten Methode betragen die mittleren (\pm SD) Flächen der Gegenstände 1-4 entsprechend $0,1520 \pm 0,0036 \text{ cm}^2$, $0,6032 \pm 0,0108 \text{ cm}^2$, $1,3558 \pm 0,0700 \text{ cm}^2$ und $2,3928 \pm 0,0223 \text{ cm}^2$ (Abbildung 12-15); und der Gegenstand 5 ($0,36 \text{ cm}^2$) wurde am Endokanthion, dem oberen medialen Augenlid, dem oberen mittleren Augenlid, dem oberen lateralen Augenlid, dem unteren medialen Augenlid, dem unteren mittleren Augenlid und dem unteren lateralen Augenlid mit einer mittleren (\pm SD) Fläche von entsprechend $0,3462 \pm 0,0042 \text{ cm}^2$, $0,3463 \pm 0,0050 \text{ cm}^2$, $0,3463 \pm 0,0044 \text{ cm}^2$, $0,3451 \pm 0,0042 \text{ cm}^2$, $0,3447 \pm 0,0051 \text{ cm}^2$, $0,3447 \pm 0,0057 \text{ cm}^2$ bzw. $0,3462 \pm 0,0036 \text{ cm}^2$ eingefügt (Abbildung 16-22). Für die 3D -Methode betragen die mittleren (\pm SD) Flächen von Objekt 1-4 $0,1557 \pm 0,0042 \text{ cm}^2$, $0,6067 \pm 0,0116 \text{ cm}^2$, $1,3598 \pm 0,0028 \text{ cm}^2$ bzw. $2,3930 \pm 0,0207 \text{ cm}^2$; die Flächen von Gegenstand 5 ($0,36 \text{ cm}^2$) betragen $0,3353 \pm 0,0074 \text{ cm}^2$, $0,3477 \pm 0,0031 \text{ cm}^2$, $0,3461 \pm 0,0052 \text{ cm}^2$, $0,3465 \pm 0,0053 \text{ cm}^2$, $0,3457 \pm 0,0047 \text{ cm}^2$, $0,3466 \pm 0,0057 \text{ cm}^2$ bzw. $0,3474 \pm 0,0046 \text{ cm}^2$ am Endokanthion, dem oberen medialen Augenlid, dem oberen mittleren Augenlid, dem oberen lateralen Augenlid, dem unteren medialen Augenlid, dem unteren mittleren Augenlid und dem unteren lateralen Augenlid.

Die aus den 3D -Messungen gewonnenen Flächenwerte waren höher als die direkt gemessenen. Die Differenz zwischen direkten und 3D -Messungen lag zwischen $-0,0002$ und $-0,0037$ bei den Gegenständen 1-5 mit Ausnahme des Endokanthions ($0,0108$). Die

mittlere absolute Abweichung (MAD) der Differenz zwischen zwei Messungen und den 3D -Messungen bei den Gegenständen 1-4 betrug entsprechend 0,0034 cm², 0,0075 cm², 0,0105 cm² bzw. 0,0122 cm². Die MAD wuchs mit zunehmender Fläche. Bei dem Gegenstand 5 (0.36 cm²) betrug die MAD an jedem Standort 0,0055 cm², 0,0037 cm², 0,0034 cm², 0,0040 cm², 0,0037 cm², 0,0048 cm² und 0,0031 cm², wobei die höchsten Werte beim Endokanthion auftraten. Die MAD aller Gegenstände betrug jedoch weniger als 0,02 cm². Der nichtparametrische Wilcoxon-Test mit Vorzeichen oder der gepaarte t-Test zeigten keine statistisch bedeutenden Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden, mit Ausnahme vom Gegenstand 1 (0,16 cm²) und 5 (0.36 cm² am Endokanthion), wie die Tabelle 1 zeigt. Die Unterschiede bei Gegenstand 1 (0,16 cm²) und Gegenstand 5 (0,36 cm² am Endokanthion) bestanden sowohl beim Geschlecht als auch bei zwei ethnischen Gruppen. Die Genauigkeit wurde nicht durch die Probanden beeinflusst, sondern durch die Technik oder die Gegenstände.

Tabelle 1: Unterschiede zwischen direkten und 3D -Messungen (gepaarter t-Test oder Wilcoxon-Test mit Vorzeichen).

Ge	Po	DM (cm ²)	3D (cm ²)	DM-3D (cm ²)		<i>p</i> -Wert
		Durchn.±SD	Durchn.±SD	Durchn.	MAD	
1	MiU	0.1520 ± 0.0036	0.1557 ± 0.0042	-0.0037	0.0034	< 0.001*
2	MiU	0.6032 ± 0.0108	0.6067 ± 0.0116	-0.0035	0.0075	0.156
3	MiU	1.3558 ± 0.0700	1.3598 ± 0.0028	-0.0021	0.0105	0.053
4	MiU	2.3928 ± 0.0223	2.3930 ± 0.0207	-0.0002	0.0122	0.966
5	En	0.3462 ± 0.0042	0.3353 ± 0.0074	0.0108	0.0055	< 0.001*§
5	MeO	0.3463 ± 0.0050	0.3477 ± 0.0031	-0.0013	0.0037	0.129
5	MiO	0.3463 ± 0.0044	0.3461 ± 0.0052	-0.0002	0.0034	0.839
5	LaO	0.3451 ± 0.0042	0.3465 ± 0.0053	-0.0014	0.0040	0.260
5	MeU	0.3447 ± 0.0051	0.3457 ± 0.0047	-0.0011	0.0037	0.343
5	MiU	0.3447 ± 0.0057	0.3466 ± 0.0057	-0.0019	0.0048	0.174
5	LaU	0.3462 ± 0.0036	0.3474 ± 0.0046	-0.0013	0.0031	0.214

Ge: Gegenstand, Po: Position. MiU: mittleres Unterlid. En : Endokanthion. MeO: mediales Oberlid. MiO: mittleres Oberlid. LaO: laterales Oberlid. MeU: mediales Unterlid. LaU: laterales Unterlid. DM: Direktmessung. 3D: 3D -Messung. Die Verzerrung wurde durch direkte Messungen - 3D -Messungen - berechnet. Der p-Wert steht für die Differenz, die mit dem Wilcoxon-Test mit Vorzeichen oder dem gepaarten t-Test analysiert wurde. *steht für $p < 0,05$. § steht für Wilcoxon-Test mit Vorzeichen.

Gegenstand 1

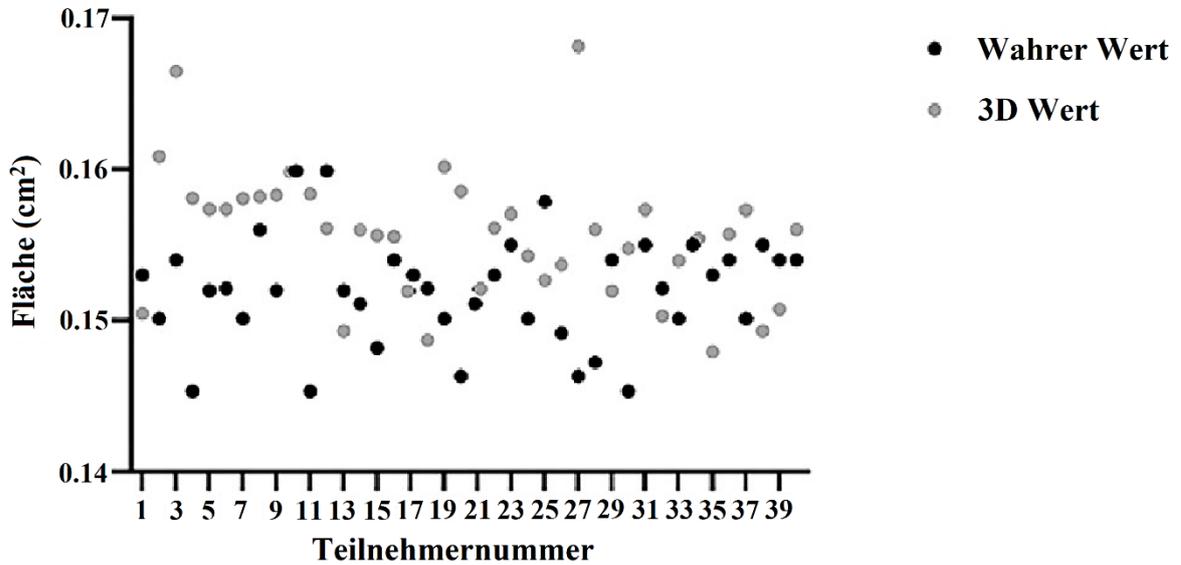


Abbildung 12: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (Wahrer Wert: direkte Messung mit Schieblehre, 3D Wert: Messung mit 3D Kamera) für den Gegenstand 1 (0,16 cm²) von 40 Probanden erhalten wurden.

Gegenstand 2

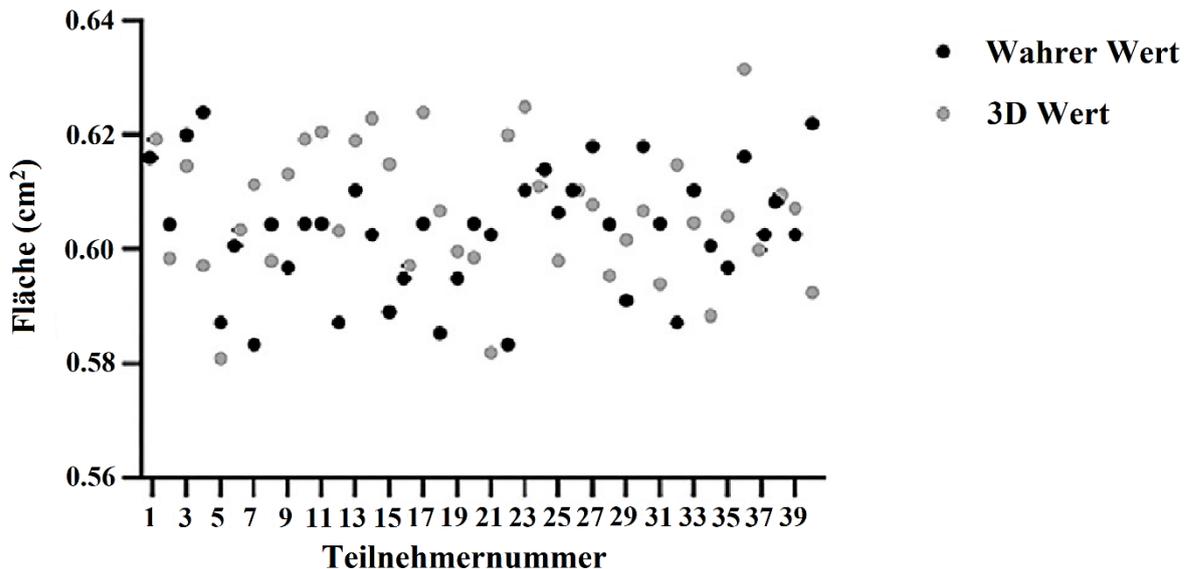


Abbildung 13: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (Wahrer Wert: direkte Messung mit Schieblehre, 3D Wert: Messung mit 3D Kamera) für den Gegenstand 2 (0,64 cm²) von 40 Probanden erhalten wurden.

Gegenstand 3

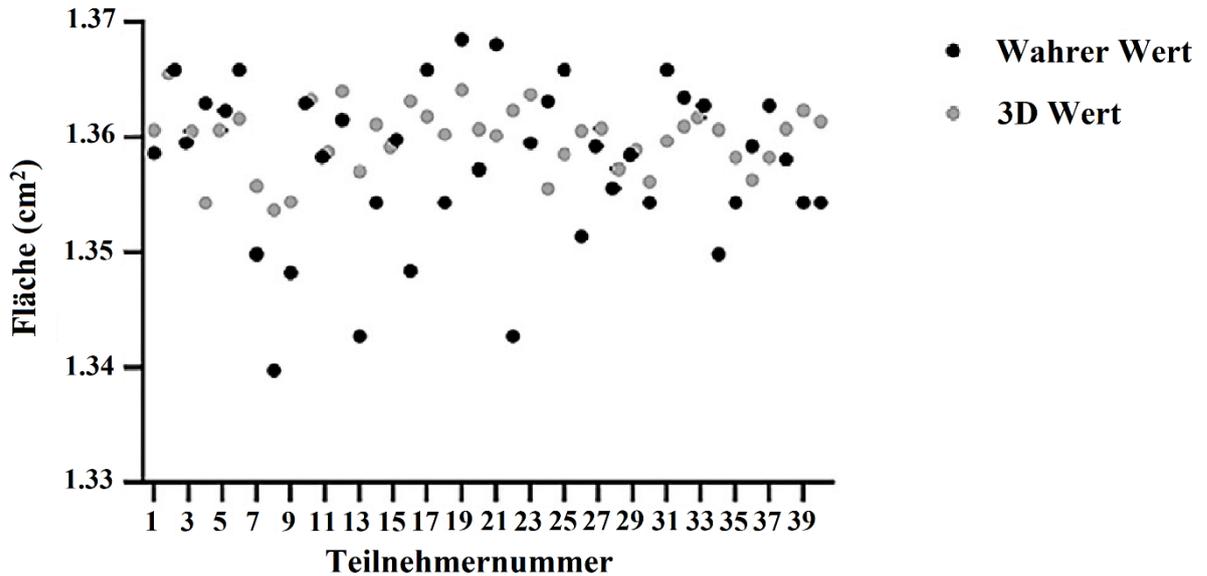


Abbildung 14: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (Wahrer Wert: direkte Messung mit Schieblehre, 3D Wert: Messung mit 3D Kamera) für den Gegenstand 3 (1,44 cm²) von 40 Probanden erhalten wurden.

Gegenstand 4

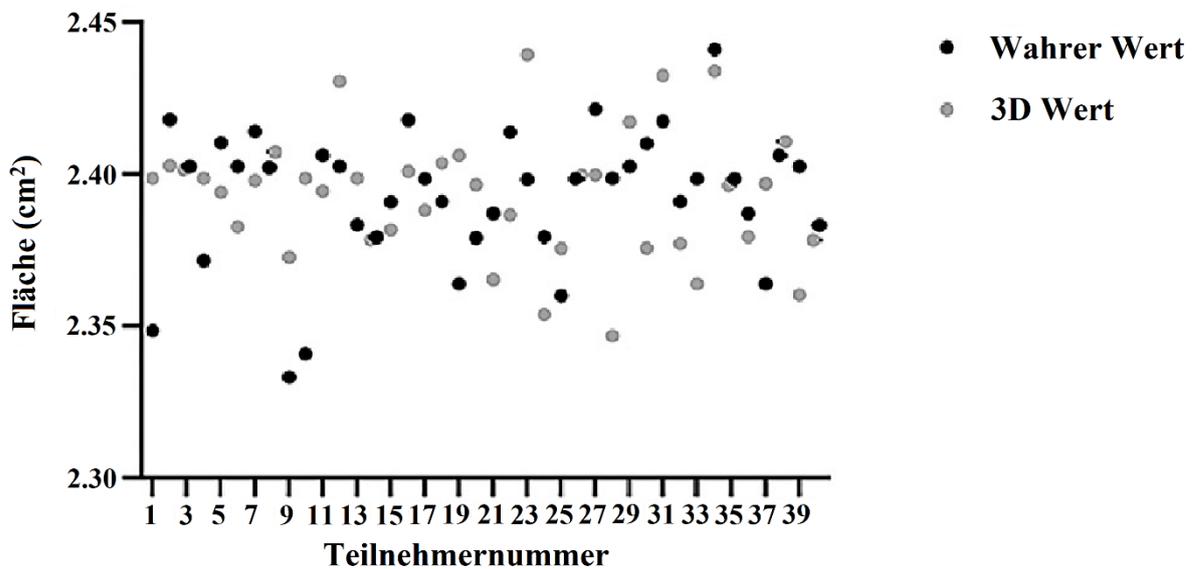


Abbildung 15: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (Wahrer Wert: direkte Messung mit Schieblehre, 3D Wert: Messung mit 3D Kamera) für den Gegenstand 4 (2,56 cm²) von 40 Probanden erhalten wurden.

Die Genauigkeit zwischen den kaukasischen und chinesischen Freiwilligen war unterschiedlich, wobei die kaukasischen Freiwilligen eine geringere Genauigkeit als die chinesischen Freiwilligen hatten, wie aus Tabelle 2 hervorgeht. Die Ergebnisse von 20 kaukasischen Probanden waren sowohl beim Gegenstand 1 (0,16 cm²) als auch beim Gegenstand 5 (0,36 cm² am Endokanthion) statistisch unterschiedlich. Im Vergleich dazu zeigten die Ergebnisse von 20 chinesischen Freiwilligen einen statistischen Unterschied beim Gegenstand 5 (0,36 cm² am Endokanthion).

Tabelle 2: Unterschied zwischen direkter und 3D -Messung zwischen kaukasischen und chinesischen Probanden (gepaarter t-Test).

Ge	Po	DM (cm ²)		3D Messung(cm ²)		<i>p</i> -Wert (gepaarter t test)		
		Ka	Ch	Ka	Ch	D vs Ka	D vs Ch	Ka vs Ch
		Durchn. ±SD	Durchn. ±SD	Durchn. ±SD	Durchn. ±SD			
1	Mi	0.1518 ±	0.1521 ±	0.1568 ±	0.1545 ±	0.001*	0.098	0.101
	U	0.0038	0.0031	0.0040	0.0040			
2	Mi	0.6009 ±	0.6055 ±	0.6081 ±	0.6053 ±	0.163	0.514	0.454
	U	0.0108	0.0098	0.0109	0.0115			
3	Mi	1.3573 ±	1.3581 ±	1.3560 ±	1.3597 ±	0.482	0.573	0.774
	U	0.0078	0.0061	0.0034	0.0022			
4	Mi	2.3877 ±	2.3979 ±	2.3966 ±	2.3894 ±	0.126	0.139	0.287
	O	0.0245	0.0184	0.0121	0.0262			
5	En	0.3451 ±	0.3472 ±	0.3320 ±	0.3386 ±	<0.001*	<0.001*	0.004*
		0.0042	0.0040	0.0073	0.0059			
5	M	0.3466 ±	0.3461 ±	0.3468 ±	0.3485 ±	0.701	0.351	0.173
	eO	0.0038	0.0060	0.0035	0.0022			
5	Mi	0.3458 ±	0.3468 ±	0.3454 ±	0.3468 ±	0.789	0.985	0.403
	O	0.0049	0.0037	0.0055	0.0047			
5	La	0.3437 ±	.3466 ±	0.3454 ±	0.3476 ±	0.318	0.572	0.203
	O	0.0045	0.0033	0.0042	0.0060			
5	M	0.3440 ±	0.3453 ±	0.3449 ±	0.3465 ±	0.590	0.423	0.285
	eU	0.0050	0.0050	0.0049	0.0043			
5	Mi	0.3449 ±	0.3443 ±	0.3459 ±	0.3472 ±	0.625	0.131	0.513
	U	0.0062	0.0051	0.0069	0.0041			
5	La	0.3459 ±	0.3465 ±	0.3467 ±	0.3482 ±	0.572	0.274	0.328
	U	0.0033	0.0039	0.0046	0.0044			

Ge: Gegenstand, Po: Position. MiU: mittleres Unterlid. En : Endokanthion. MeO: mediales Oberlid. MiO: mittleres Oberlid. LaO: laterales Oberlid. MeU: mediales Unterlid. LaU: laterales Unterlid. DM, D: Direktmessung. 3D: 3D -Messung Ka: kaukasische Freiwillige, Ch: chinesische Freiwillige, * steht für $p < 0.05$

Endokanthion

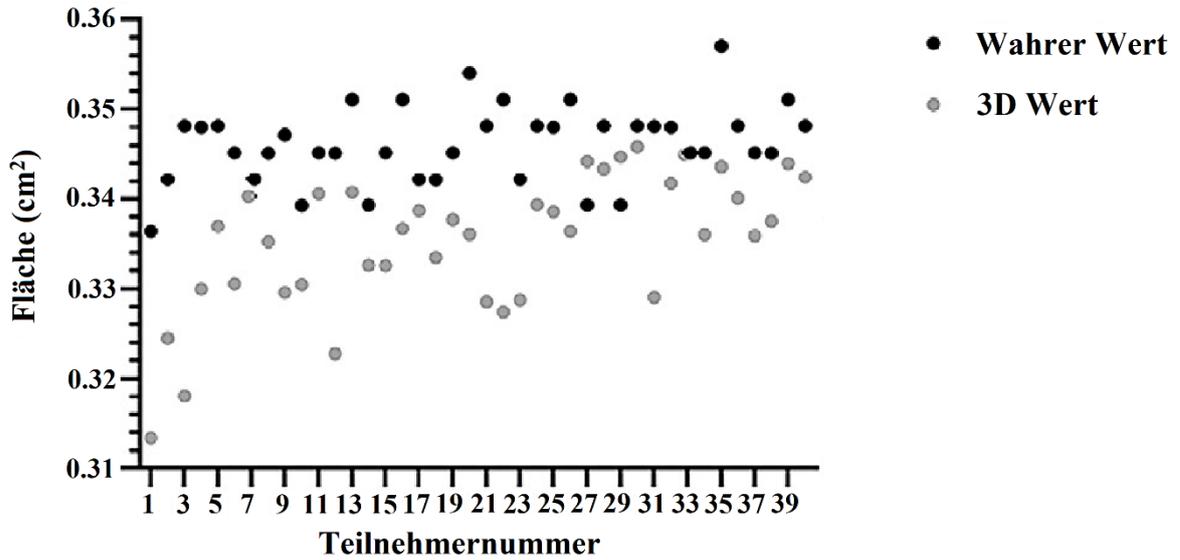


Abbildung 16: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (Wahrer Wert: direkte Messung mit Schieblehre, 3D Wert: Messung mit 3D Kamera) für 40 Freiwillige am Endokanthion für den Gegenstand 5 erhalten wurden.

Das obere mediale Augenlid

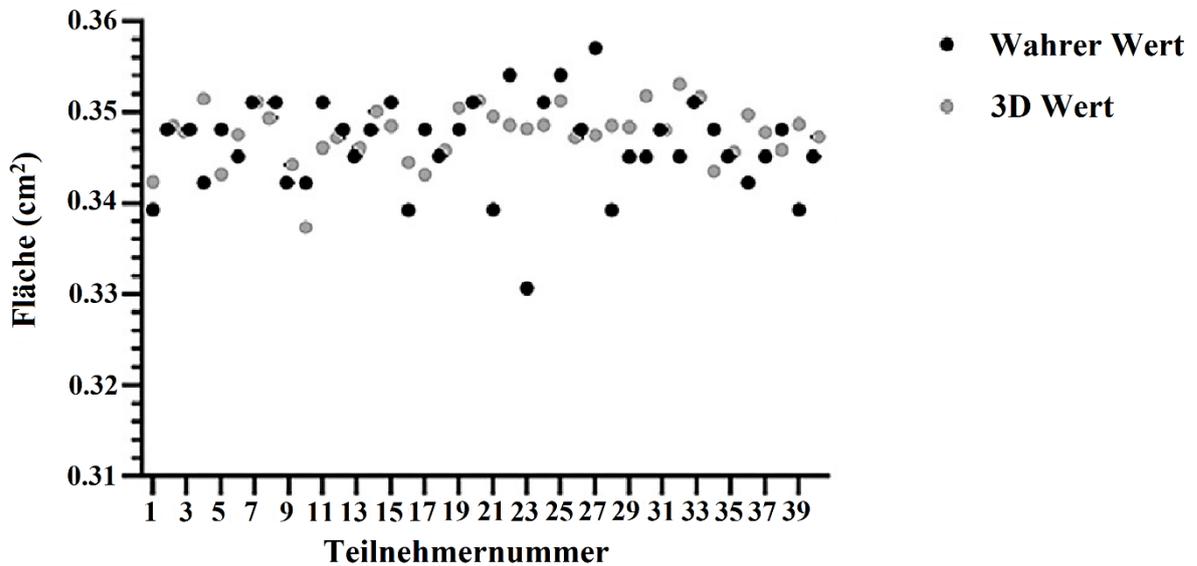


Abbildung 17: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (direkte Messung mit Schieblehre, Messung mit 3D Kamera) für 40 Freiwillige am oberen medialen Augenlid für den Gegenstand 5 (0,36 cm²) erhalten wurden.

Das obere mittlere Augenlid

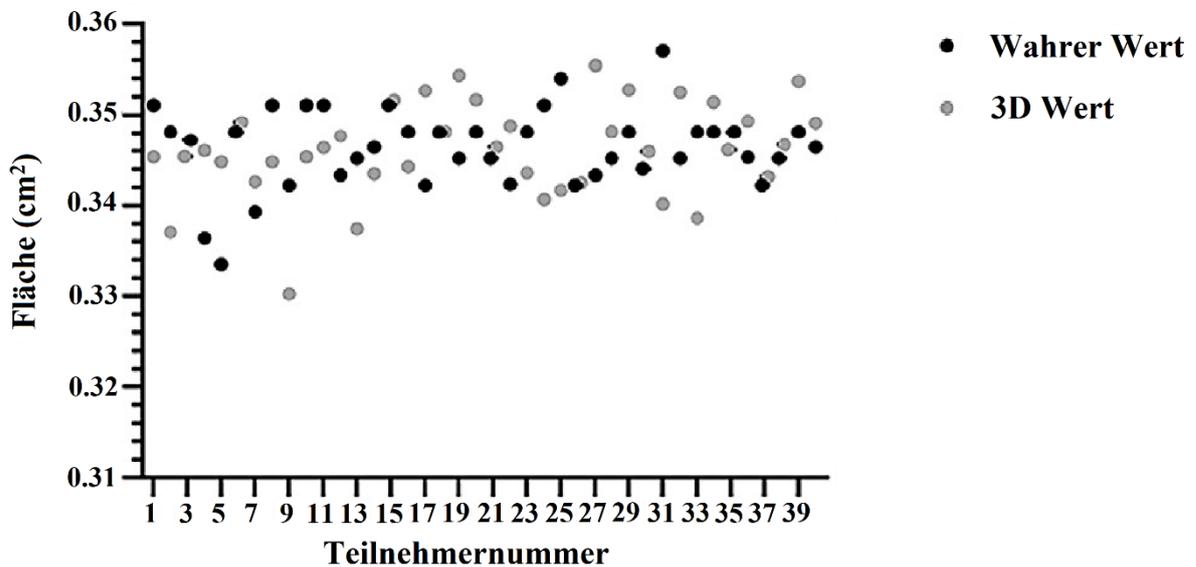


Abbildung 18: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (direkte Messung mit Schieblehre, Messung mit 3D Kamera) für 40 Freiwillige am oberen mittleren Augenlid für den Gegenstand 5 (0,36 cm²) erhalten wurden.

Das obere laterale Augenlid

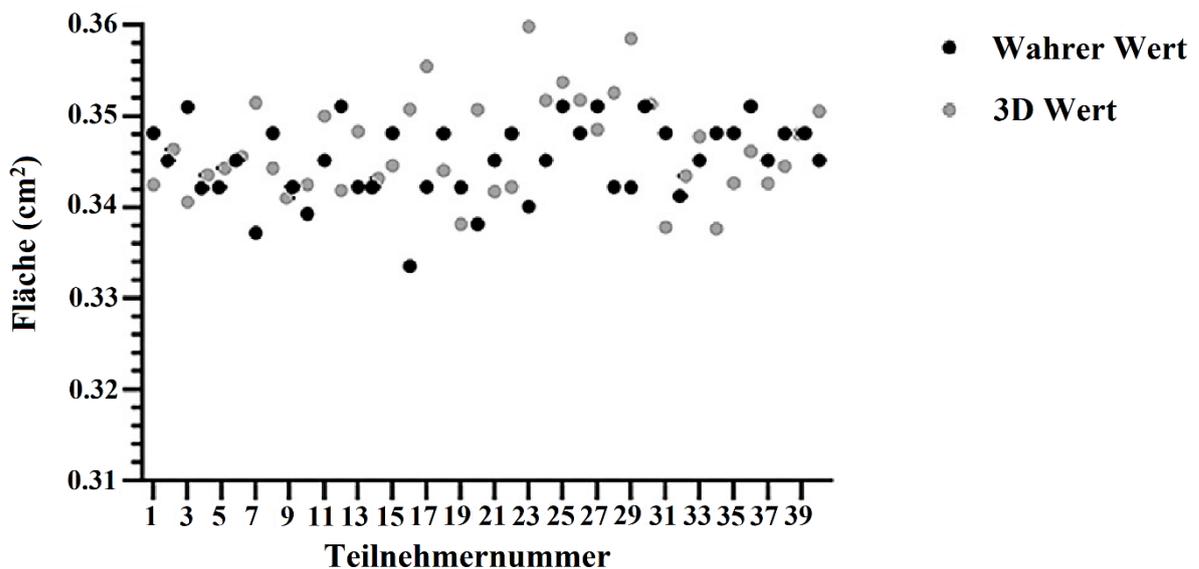


Abbildung 19: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (direkte Messung mit Schieblehre, Messung mit 3D Kamera) für 40 Freiwillige am oberen lateralen Augenlid für den Gegenstand 5 erhalten wurden.

Das untere mediale Augenlid

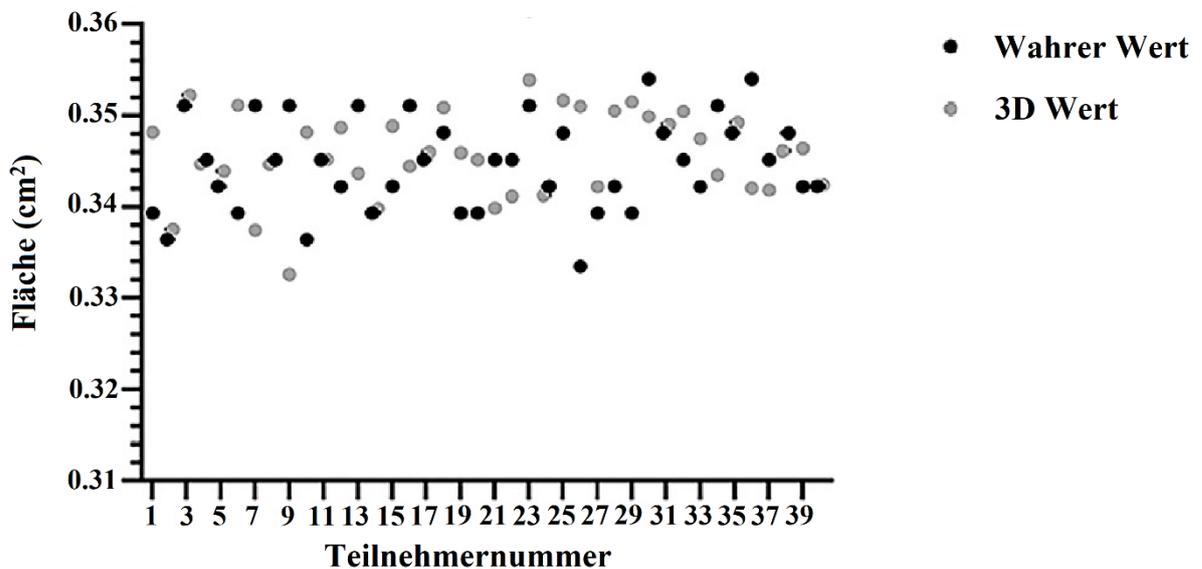


Abbildung 20: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (direkte Messung mit Schieblehre, Messung mit 3D Kamera) für 40 Freiwillige am unteren medialen Augenlid für den Gegenstand 5 erhalten wurden.

Das untere mittlere Augenlid

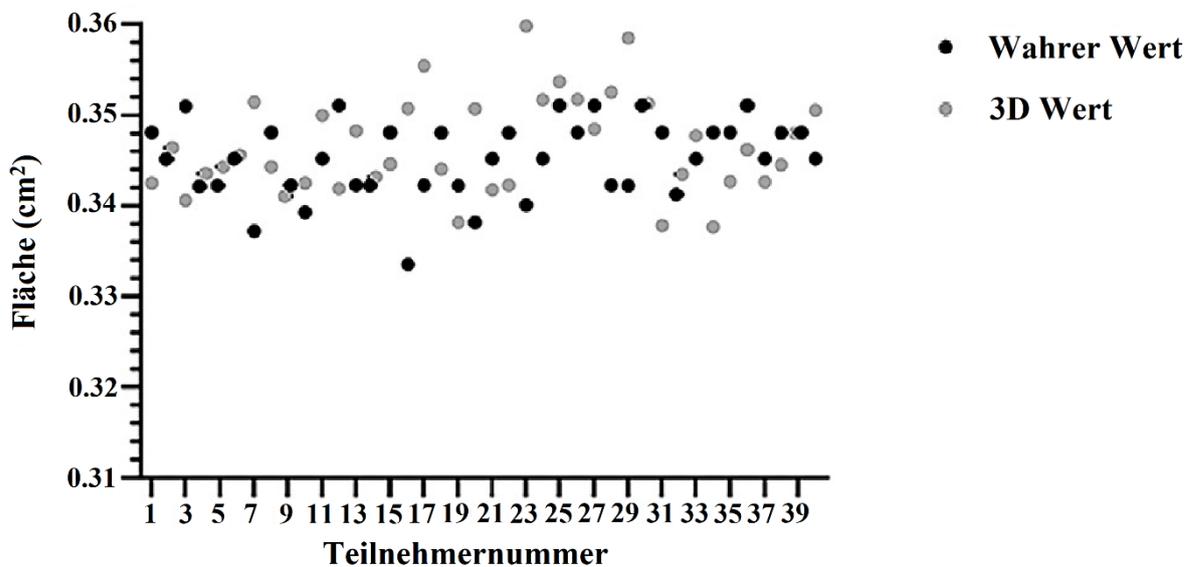


Abbildung 21: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (direkte Messung mit Schieblehre, Messung mit 3D Kamera) für 40 Freiwillige am unteren mittleren Augenlid für den Gegenstand 5 erhalten wurden.

Das untere laterale Augenlid

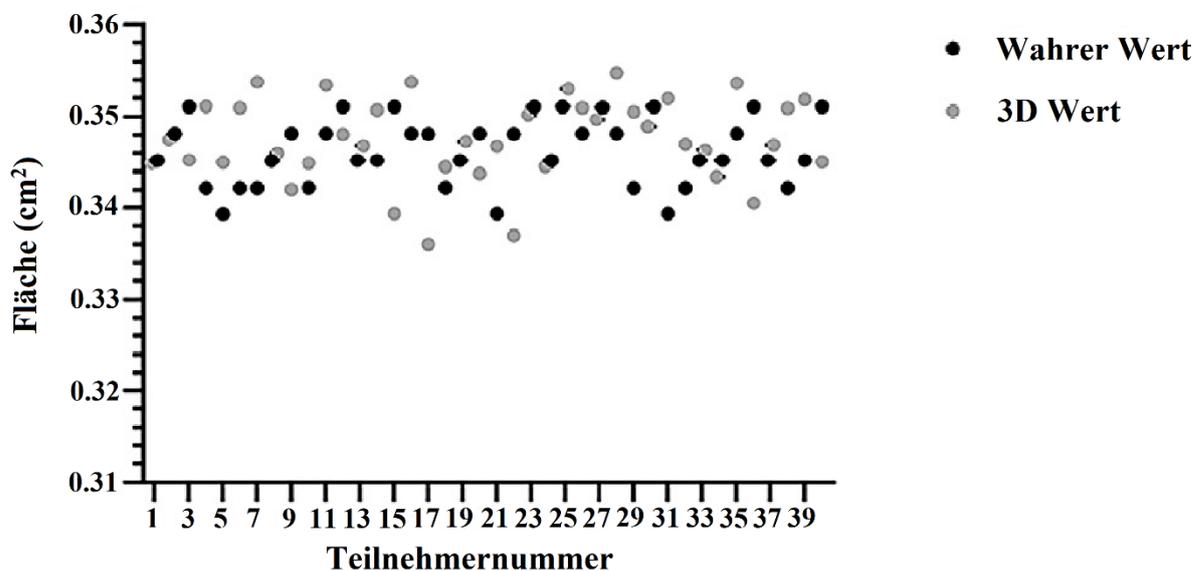


Abbildung 22: Das Streudiagramm zeigt unterschiedliche Flächen, die mit zwei Methoden (direkte Messung mit Schieblehre, Messung mit 3D Kamera) für 40 Freiwillige am unteren lateralen Augenlid für den Gegenstand 5 (0,36 cm²) erhalten wurden.

Männliche Probanden hatten eine geringere Genauigkeit als die weiblichen Probanden (Tabelle 3) mit einem statistisch bedeutenden Unterschied zwischen zwei Messungen, die im Gegenstand 1 (0,16 cm²) und 5 (0,36 cm² am Endokanthion) gezeigt wurden, während bei den weiblichen Freiwilligen statistisch signifikante Unterschiede nur beim Gegenstand 5 (0,36 cm² am Endokanthion) auftraten.

Tabelle 3: Unterschied zwischen direkter und 3D -Messung bei verschiedenen Geschlechtern. (gepaarter t-Test oder Wilcoxon-Test mit Vorzeichen).

Ge	Po	DM(cm ²)		3D Messung (cm ²)		p-Wert		
		männlich	weiblich	männlich	weiblich	D vs M	D vs W	M vs W
		Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD			
1	MiU	0.1517 ± 0.0038	0.1522 ± 0.0032	0.1571 ± 0.0044	0.1542 ± 0.0036	0.001*	0.132	0.033*
2	MiU	0.6050 ± 0.0117	0.6014 ± 0.0096	0.6056 ± 0.0117	0.6077 ± 0.0114	0.581	0.069	0.581
3	MiU	1.3577 ± 0.0077	1.3578 ± 0.0063	1.3592 ± 0.0033	1.3605 ± 0.0021	0.482	0.101	0.232
4	MiU	2.3906 ± 0.0258	2.3950 ± 0.0179	2.3907 ± 0.0210	2.3953 ± 0.0202	0.997	0.946	0.488
5	En	0.3452 ± 0.0042	0.3471 ± 0.0041	0.3333 ± 0.0086	0.3373 ± 0.0053	0.000*	0.000*§	0.09§
5	MeO	0.3461 ± 0.0062	0.3466 ± 0.0034	0.3476 ± 0.0034	0.3477 ± 0.0027	0.701	0.837	0.618
5	MiO	0.3456 ± 0.0051	0.3471 ± 0.0033	0.3448 ± 0.0052	0.3474 ± 0.0049	0.663	0.842	0.121
5	LaO	0.3452 ± 0.0041	0.3451 ± 0.0043	0.3477 ± 0.0057	0.3454 ± 0.0047	0.173	0.0847	0.184
5	MeU	0.3439 ± 0.0057	0.3455 ± 0.0043	0.3457 ± 0.0059	0.3458 ± 0.0030	0.366	0.757	0.906
5	MiU	0.3452 ± 0.0059	0.3441 ± 0.0054	0.3472 ± 0.0058	0.3459 ± 0.0056	0.305	0.389	0.478
5	LaU	0.3460 ± 0.0040	0.3463 ± 0.0033	0.3479 ± 0.0042	0.3470 ± 0.0048	0.177	0.655	0.576

Ge: Gegenstand, Po: Position. MiU: mittleres Unterlid. En : Endokanthion. MeO: mediales Oberlid. MiO: mittleres Oberlid. LaO: laterales Oberlid. MeU: mediales Unterlid. LaU: laterales Unterlid. DM: Direktmessung. 3D: 3D. § : Wilcoxon-Test mit Vorzeichen. M: männlich, W: weiblich. * steht für $p < 0.05$.

4. Diskussion

Bevor man die Stereofotografie für Gesichtsmessungen im klinischen Alltag als Standardverfahren verwenden und als angemessen bezeichnen darf, ist eine umfangreiche Überprüfung bestimmter Kriterien notwendig, insbesondere bei der Anwendung dieses Verfahrens im periokulären Bereich, welcher sehr Detailgenau dargestellt werden sollte. Zu den zu überprüfenden Kriterien gehören unter anderem die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit.

Die Genauigkeit wird als das Ausmaß der Abweichung einer bestimmten Messung von ihrem "wahren" Wert definiert [17]. Je kleiner diese Abweichung desto genauer ist die Messung. Man strebt eine möglichst geringe Abweichung an. Idealerweise beträgt diese Abweichung 0. Das ist allerdings nur theoretisch möglich, da eine ganze Reihe von Faktoren die Ergebnisse, und damit auch verbundene Abweichungen beeinflussen, und de facto praktisch nicht umsetzbar ist. Man versucht diese Faktoren maximal zu eliminieren, ganz ohne bleibt es allerdings am Ende nicht. Somit versucht man die unterschiedlichen Maße der Abweichungen strukturell einzuordnen und definiert diese, um die Relevanz dieser Abweichungen richtig einzustufen. In der Literatur wird ein klinisch akzeptabler Unterschied zwischen den dreidimensionalen - und direkten linearen Messungen mit 2 mm oder weniger angegeben [15, 23]. Hochgenau wurde auf weniger als 0,5 mm bezogen, der Unterschied zwischen 0.5 und 1 mm wurde als weniger genau, aber klinisch irrelevant, definiert und die Werte zwischen 1 bis 2 mm wurden als klinisch relevant bestimmt [24, 25]. Da die Genauigkeit für Flächen in der Literatur nicht erfasst worden ist, wurde der in dieser Studie verwendete Standard entsprechend den linearen Messungen formuliert, das heißt eine klinisch akzeptable Flächendifferenz zwischen zwei Messungen betrug $0,04 \text{ cm}^2$ oder weniger; hochgenau war weniger als $0,0025 \text{ cm}^2$, weniger genau, aber klinisch irrelevant zwischen $0,0025$ und $0,01 \text{ cm}^2$, und klinisch relevant bezogen auf $0,01$ und $0,04 \text{ cm}^2$. Diese Werte ergeben sich aus der Multiplikation der jeweiligen linearen Messungen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Einstufung der Abweichungen

	Lineare Messungen	Multiplikation	Flächenmessungen
AU	0,2 cm	0,2x0,2	0,04 cm ²
HG	< 0,05 cm	0,05x0,05	<0,0025 cm ²
WG, KI	0,05-0,1 cm	0,05x0,05-0,1x0,1	0,0025-0.01 cm ²
WG, KR	0,1-0,2 cm	0,1x0,1-0,2x0,2	0.01-0.04 cm ²

AU: Akzeptabler Unterschied, HG: Hochgenau, WG, KI: Weniger genau, klinisch irrelevant, WG, KR: Weniger genau, klinisch relevant

In der vorliegenden Studie validierten wir die Genauigkeit der flächenhaften Beurteilung der periokulären Weichteile mittels Stereofotogrammetrie. Die Genauigkeit für verschiedene Flächenspezifikationen und Orte wurde systematisch an zwei verschiedenen Ethnien (kaukasische und chinesische Bevölkerung) und zwei Geschlechtergruppen getestet. Den Testpersonen wurden am periokulären Bereich Gegenstände befestigt, welche dann mittels des VECTRA M3-Systems erfasst und später ausgewertet wurden. Insgesamt wurden 5 Gegenstände mit unterschiedlicher Fläche verwendet. Gegenstand 1 mit 0,16 cm², Gegenstand 2 mit 0,64 cm², Gegenstand 3 mit 1,44 cm², Gegenstand 4 mit 2,56 cm² und Gegenstand 5 mit 0,36 cm². Die Gegenstände 1-4 wurden in der Mitte des Unterlieds platziert. Der Gegenstand 5 wurde an 7 Stellen periokulär platziert: am Endokanthion, oberem medialen Augenlid, oberem mittlerem Augenlid, oberem lateralem Augenlid, unterem lateralem Augenlid, unterem mittlerem Augenlid und unterem medialen Augenlid. Die 3D-Messwerte waren etwas größer als die direkten Messwerte. Die Ergebnisse zeigten, dass die Flächenmessungen mittels 3D-Stereofotogrammetrie im periokulären Bereich genau und klinisch akzeptabel waren, mit Ausnahme von Gegenständen mit kleiner Fläche (Gegenstand 1 mit 0,16 cm²) oder Gegenständen in tiefer Lage (Endokanthion). Außerdem passte das System in eine relativ flache Gesichtsmorphologie, da die kaukasischen Probanden eine geringere Genauigkeit als die chinesischen Probanden und die männlichen Probanden eine geringere Genauigkeit als die weiblichen Probanden aufwiesen.

Die Fläche und das Volumen sind die neuartigen Aspekte für die Stereofotogrammetrie im Vergleich zu den auf linearen Entfernungen oder Winkeln basierenden traditionellen Methoden, was zu ihrer breiten Anwendung und zunehmenden Bedeutung beiträgt [26]. Der Großteil der vorhandenen Literatur hat sich jedoch auf die Überprüfung von linearen Gesichtsabstands- und Winkelmessungen konzentriert [13-17]. Die Flächenmessung mit verschiedenen Stereofotografiesystemen hat eine Genauigkeit bei der Beschreibung des Gesichts gezeigt [26-28]. Die Studienobjekte wurden jedoch immer mit verschiedenen Stereofotografiesystemen gestaltet, anstatt die direkten und 3D -Messungen zu vergleichen.[27] Die ausgezeichnete Zuverlässigkeit des 3D-Stereofotografiesystems wurde überprüft. Daniele et al. [26] beurteilten die Wiederholbarkeit innerhalb des Gerätes und wiesen bei den meisten Oberflächenmessungen hohe Werte auf. Menezes et al. [10] testeten die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Canfield Vectra 3D für die Messung der Gesichtsweichteile unter Verwendung einer 6-cm Würfelbox. Das System wurde durch die aktive Stereofotogrammetrie als genau angesehen, da keine systematischen Fehler gefunden wurden [29]. Codari et al. [27] fanden keine bedeutenden Unterschiede beim Vergleich von Flächenmessungen mit einem Laserscanner und einem stereofotogrammetrischen System auf nasalen Gipsabdrücken. Es fehlen jedoch die umfassenden Vergleiche auf Genauigkeit zwischen den direkten und 3D - Flächenmessungen im periokulären Bereich.

Auch die Analyse der Auswirkungen von Ethnien- und Geschlechtsunterschieden auf die Genauigkeit der Messung ist selten. Menezes et al. [10] beschrieben 10 verschiedene Gesichtsformen, ohne die ethnische Zugehörigkeit der Probanden spezifiziert zu haben.

Obwohl die allgemeine Gesichtsgenauigkeit stereoskopischer Messungen validiert wird, handelt es sich unserem Wissens nach um die erste Studie im periokulären Bereich, die sich auf die Genauigkeit von Flächenmessungen fokussiert. Wir hoffen, dass diese Studie umfassendere Referenzen für eine breite klinische Praxis und vielfältige Erkenntnisse für die weitere Forschung liefern kann.

Obwohl die Stereofotogrammetrie im periokulären Bereich als eine der schwierigsten Gesichtsbereiche für hohe Genauigkeit [13] gilt, haben unsere Ergebnisse gezeigt, dass sie für die Flächenmessung im periokulären Bereich genau ist. Es gab keinen statistisch bedeutenden Unterschied zwischen der direkten und der 3D -Messung mit Ausnahme von Gegenstand 1 (0,16 cm²) und 5 (0,36 cm² am Endokanthion), und alle Unterschiede zwischen ihnen waren klinisch akzeptabel. Um genau zu sein, sollte der Unterschied vom Gegenstand 1 (0,16 cm²) als weniger genau, aber klinisch irrelevant betrachtet werden; die Unterschiede zwischen den Gegenständen 2 - 4 und 5 (0,36 cm² am Endokanthion) sollten als klinisch relevant betrachtet werden; und die Unterschiede vom Gegenstand 5 (0,36 cm²) an anderen Positionen sollten als weniger genau, aber klinisch irrelevant betrachtet werden.

Die geringere Genauigkeit vom Gegenstand 1 (0.16 cm²) in allen Gruppen deutet auf die Begrenzung der Flächengenauigkeit durch den Zielbereich hin, verursacht durch die nicht unendliche Auflösung der 3D -Kamera und die größenfixierten Landmarken bei der Definition von Objektgrenzen. Man bedenke nämlich an dieser Stelle, dass generell die Grenzen der zu untersuchenden Flächen, bei stärkerer Vergrößerung nicht mehr scharf abzugrenzen sind und verpixelt erscheinen, was dazu führt, dass diese verschwommen dargestellt werden und somit auch die Genauigkeit beeinflusst wird. Dieser Einfluss ist auf die Objekte mit kleiner Fläche stärker, da es anteilig der Pixel größeren Einfluss auf die Messung macht. Somit wird die Genauigkeit eines kleinen Bereichs durch die Systemauflösung und die fixierten Einstellungen eingeschränkt. Die Daten vom Endokanthion zeigten ebenfalls eine geringe Genauigkeit, und diese Tendenz war unabhängig von zwei verschiedenen Ethnien und Geschlechtern. Bilder des Endokanthions zeigten, dass die Grenzen bei den meisten Gegenständen nicht klar und Artefakte mit fester Ausrichtung vorhanden sind (Abbildung 12). Dieses Phänomen kann nicht durch eine stabilere Körperhaltung oder eine erneute Aufnahme rückgängig gemacht werden. Möglicherweise hängt es mit dem Licht zusammen, das durch die

Nasen- oder Augenbrauenstruktur aufgrund der tiefen Position des Endokanthions behindert wird, was zu eindeutigen Grenzen in den Bildern führt. Um dieses Problem zu lösen, könnte ein größerer Neigungswinkel des Kopfes während der Fotogrammetrie eine mögliche Lösung sein, z.B. 15 Grad über der Frankfurter Horizontalen, wie von einigen Forschern vorgeschlagen wurde [30], um eine adäquatere Abdeckung zu erreichen. Ein weiterer Einfluss auf die Genauigkeit am Endokanthion könnte die Krümmung sein. Andere Gegenstände werden nämlich auf eher flacheren Flächen befestigt, am Endokanthion ist ein solche Vorgehensweise aufgrund der menschlichen Morphologie nicht möglich. Somit entstehen in diesem Bereich häufiger Artefakte, welche dann die Landmarkenpositionierung erschweren und somit zu Ergebnisverzerrung führen können.

Die meisten 3D -Messergebnisse sind etwas höher als die direkten Messungen, und diese Schlussfolgerung stimmt mit den früheren Forschungsergebnissen überein [17]; einige Forscher vertreten jedoch die gegenteilige Ansicht. Die widersprüchlichen Befunde hängen möglicherweise mit den Unterschieden bei den verwendeten Gegenständen und Instrumenten zusammen. Abgesehen davon könnten auch die unterschiedlichen Befunde auch durch die unterschiedlichen Messungen und Auswertungen beeinflusst werden. Man darf nicht vergessen, dass letztendlich der menschliche Faktor, trotz der Versuche alles einheitlich und objektiv zu gestalten, eine wichtige Rolle spielen kann.

Die männlichen und kaukasischen Probanden hatten in dieser Studie eine geringere Genauigkeit als die weiblichen und chinesischen Freiwilligen. Unterschiede in der Gesichtsmorphologie können diese Diskrepanz verursacht haben. Verschiedene Artikel zeigten, dass die ethnischen Unterschiede zwischen den Bevölkerungen bemerkenswert sind. Die chinesischen Probanden haben tendenziell eine flachere knöcherne Gesichtsstruktur als die kaukasischen Freiwilligen [31], Yun Liu et al. [32] stellten fest, dass die Nase in der kaukasischen Bevölkerung stärker hervorsteht als bei Chinesen. Außerdem stellten einige Studien auch fest, dass es klinisch signifikante

Geschlechtsdimorphismen in der Nasenhöhe zwischen den Geschlechtern gibt, die zeigen, dass Männer eine prominentere Nasenhöhe besitzen als Frauen derselben Ethnie [33]. Diese Geschlechts - und Ethniendimorphismen führen dazu, dass die zu untersuchende Flächen unterschiedlich gekrümmt sind. Abgesehen davon führen diese zu unterschiedlichen Lichtreflektionen. Beispielsweise könnte man vermuten, dass bei den Menschen mit einer prominenten Nase eine geringere Genauigkeit gemessen wird als bei den Menschen mit einer eher kleineren Nase. Man bedenke nämlich, dass unser 3D - Bildgebungssystem VECTRA M3 Informationen aus 3 Kameras zu einem dreidimensionalen Bild verarbeitet, und wenn Beispielsweise die Informationen bei einer der 3 Kameras durch Körperregionen, Lichtreflektionen usw. verdeckt sind, fehlen diese dann bei der Verarbeitung zum 3D Bild, was zu Artefakten und Genauigkeitsreduktion führen kann. Allerdings ist die Genauigkeit trotzdem hoch genug, um das System im Klinischen Alltag zu verwenden. Darüber hinaus könnte der Unterschied auf einen zufälligen Fehler bei der Messung zurückzuführen sein. Obwohl in unserer Studie 40 Probanden aus zwei verschiedenen Ethnien in beiden Geschlechtern angeworben wurden, sind für eine umfassendere und systematischere Bewertung zur Analyse der Ethnien- und Geschlechtsunterschiede weitere Forschungsarbeiten erforderlich.

Diese Studie testet keine kontinuierlichen Flächenwerte; daher sind die detaillierten Trends der Genauigkeitsänderungen unbekannt. Das Exokanthion ist in unserer Studie nicht enthalten. Außerdem wurden Kinder und ältere Probanden nicht betrachtet, da sie möglicherweise eine schlechte Koordination oder eine Gesichtsunfairness aufweisen, die zu einer Bildverzerrung führt.

In einer weiteren Studie untersuchten wir die Zuverlässigkeit der Stereofotogrammetrie für Flächenmessungen im periokulären Bereich [34]. Die Zuverlässigkeit ist definiert als das Ausmaß der Gleichmäßigkeit bei den wiederholten Messungen. In anderen Worten wurde untersucht ob die Messergebnisse reproduzierbar und wiederholbar sind und wie groß die Abweichungen sind. Die Zuverlässigkeit von Interrater, Intrarater und Intramethode wurde mithilfe der Positionierung von verschiedenen Gegenständen unterschiedlicher Größe im periokulären Bereich ermittelt und anhand von fünf unterschiedlichen Zuverlässigkeitsindikatoren untersucht. Die fünf Kriterien sind: intraklassen- Korrelationskoeffizient (IKK), mittlere absolute Differenz (MAD), technischer Messfehler (TMF), relativer technische Messfehler (rTMF), RMF - relativer Messfehler (RMF). Die Ergebnisse zeigten, dass Stereofotogrammetrie für Flächenmessungen im periokulären Bereich mithilfe vom VECTRA M3 3D - Bildgebungssystem sehr zuverlässig ist.

Zusammenfassend lässt sich der Schluss ziehen, dass die Stereofotogrammetrie bei der Beurteilung des Gebiets im periokulären Bereich sehr genau ist. Mit ihren einzigartigen Vorteilen gegenüber direkten Messungen hat die Stereofotogrammetrie ein großes Potenzial bei der Darstellung von Gesichtsdeformitäten, der Operationsplanung, der postoperativen Ödemmessung und der Tumorschätzung. Man darf auch nicht vergessen, dass mit sich immer weiter entwickelten Technologie die Stereofotogrammetrie immer genauer sein wird. Die Fortschritte und Forschungen im Bereich derameratechnik, Softwaretechnik und Hardwaretechnik, werden mit großer Wahrscheinlichkeit in naheliegender Zukunft ermöglichen die Geräte, die für die Stereofotogrammetrie benutzt werden, immer effizienter im Hinblick auf Genauigkeit, Größe und Geschwindigkeit zu entwickeln. Abgesehen davon wird mit der Weiterentwicklung von künstlicher Intelligenz ermöglicht, dass die Faktoren, die die Ergebnisse negativ beeinflussen, vermindert werden, denn mit einem nahezu perfektem Algorithmus wird die Rolle des Menschen im Hinblick auf negativen Einfluss auf Ergebnisse und Auswertungen immer geringer sein.

5. Zusammenfassung

Ziel der Studie: Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Genauigkeit der stereofotogrammetrischen Flächenmessungen im periokulären Bereich zu bewerten sowie die Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern und zwei Ethnien zu analysieren.

Materialien und Methoden: Eine prospektive Studie wurde an gesunden jungen Probanden durchgeführt. Die Stichprobe setzte sich aus zwanzig Kaukasiern und zwanzig chinesischen Freiwilligen zusammen. Fünf Objekte unterschiedlicher Größe ($0,16 \text{ cm}^2$, $0,36 \text{ cm}^2$, $0,64 \text{ cm}^2$, $1,44 \text{ cm}^2$ und $2,56 \text{ cm}^2$) wurden an sieben periokulären Stellen platziert. Messschieber und das VECTRA M3-System wurden für die direkte und stereofotogrammetrische 3D -Analyse verwendet. Die Richtigkeit und Unterschiede bei zwei verschiedenen Geschlechtern und zwei Ethnien wurden analysiert. Die Prädiktorvariable war die mittlere absolute Abweichung (MAD) zwischen den beiden Messmethoden. Der nichtparametrische Wilcoxon-Test mit Vorzeichen oder der gepaarte t-Test wurde verwendet, um die statistischen Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden zu testen. Der P-Wert $< 0,05$ wurde als statistisch bedeutend betrachtet.

Ergebnisse: Die mittlere Differenz zwischen den beiden Messungen aller Objekte betrug weniger als $0,02 \text{ cm}^2$. Der nichtparametrische Wilcoxon-Test mit Vorzeichen oder der gepaarte t-Test zeigte keine statistisch bedeutenden ($p > 0,05$ entsprechend) Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden, außer für Gegenstand 1 ($0,16 \text{ cm}^2$) und Gegenstand 5 ($0,36 \text{ cm}^2$) am Endokanthion). Die chinesischen und weiblichen Probanden haben tendenziell eine geringere Richtigkeit als die Kaukasier und männlichen Freiwilligen.

Schlussfolgerungen: Die dreidimensionale Stereofotogrammetrie ist für Flächenmessungen im periokulären Bereich hochgenau. Somit findet die 3D Stereofotogrammetrie Gebrauch im klinischen Alltag, bei Operationsplanungen, Gesichtsdeformationen, postoperativen Ödemmessungen und Tumoreinschätzungen.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Montagu, M. and J. Brožek. "A handbook of anthropometry." (1960).
doi: 10.1037/12018-000
- [2] Ulijaszek, S., Yasukouchi, A., & Mascie-Taylor, C.G.N. (Eds.). (2010). *Human Variation: From the Laboratory to the Field* (1st ed.). CRC Press.
doi: 10.1201/9781420084740
- [3] Moon, F. C. (2007). *The Machines of Leonardo da Vinci and Franz Reuleaux. History of Mechanism and Machine Science.* doi: 10.1007/978-1-4020-5599-7
- [4] Le Floch-Prigent P. L'Homme de Vitruve: un dessin de proportion anatomique par Léonard de Vinci [The Vitruvian Man: an anatomical drawing for proportions by Leonardo Da Vinci]. *Morphologie.* 2008 Dec;92(299):204-9. French. doi: 10.1016/j.morpho.2008.09.001. Epub 2008 Oct 31. PMID: 18951824.
- [5] Graybill, L. (2019). *The Forensic Eye and the Public Mind: The Bertillon System of Crime Scene Photography.* *Cultural History,* 8(1), 94-119.
- [6]. Jens Jäger: „Verbrechergesichter“. *Zur Geschichte der Polizeifotografie,* in: Gerhard Paul (Hrsg.): *Das Jahrhundert der Bilder. Bildatlas. Band 1. 1900 bis 1949.* Göttingen: V&R, 2009, ISBN 978-3-525-30011-4, S. 372–379
- [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] Kau CH, Richmond S, Savio C, Mallorie C. Measuring adult facial morphology in three dimensions. *Angle Orthod.* 2006 Sep;76(5):773-8. doi: 10.1043/0003-3219(2006)076[0773:MAFMIT]2.0.CO;2. PMID: 17029509.
- [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]. 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.

[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]. Krimmel M, Kluba S, Bacher M, Dietz K, Reinert S. Digital Surface Photogrammetry for Anthropometric Analysis of the Cleft Infant Face. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal.* 2006;43(3):350-355. doi:10.1597/05-077.1

[13]. Maal TJ, Verhamme LM, van Loon B, Plooij JM, Rangel FA, Kho A, Bronkhorst EM, Bergé SJ. Variation of the face in rest using 3D stereophotogrammetry. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Nov;40(11):1252-7. doi: 10.1016/j.ijom.2011.02.033. Epub 2011 Apr 21. PMID: 21514117.

[14]. 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.

[15]. Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, Asslan 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.

[16]. Modabber A, Peters F, Kniha K, Goloborodko E, Ghassemi A, Lethaus B, Hölzle F, Möhlhenrich SC. Evaluation of the accuracy of a mobile and a stationary system for three-dimensional facial scanning. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016 Oct;44(10):1719-1724. doi: 10.1016/j.jcms.2016.08.008. Epub 2016 Aug 18. PMID: 27614543.

[17]. 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.* 2004 Sep;41(5):507-18. doi: 10.1597/03-066.1. PMID: 15352857.

[18]. Guo, Yongwei MD*; Hou, Xiaoyi MD*; Rokohl, Alexander C. MD*; Jia, Renbing MD, PhD†; Heindl, Ludwig M. MD*,‡ Reliability of Periocular Anthropometry: A Comparison of Direct, 2-Dimensional, and 3-Dimensional Techniques, *Dermatologic Surgery*: September 2020 - Volume 46 - Issue 9 - p e23-e31 doi: 10.1097/DSS.0000000000002243

[19]. 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.

[20]. Guo, Yongwei M.D.; Schaub, Friederike M.D.; Mor, Joel M. M.D.; Jia, Renbing M.D., Ph.D.; Koch, Konrad R. M.D.; Heindl, Ludwig M. M.D. A Simple Standardized Three-Dimensional Anthropometry for the Periocular Region in a European Population, *Plastic and Reconstructive Surgery*: March 2020 - Volume 145 - Issue 3 - p 514e-523e doi: 10.1097/PRS.0000000000006555

[21]. 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.

[22]. Jodeh, Diana S. MD*; Curtis, Heather MD†; Cray, James J. PhD‡; Ford, Jonathan PhD§; Decker, Summer PhD§; Rottgers, S. Alex MD* Anthropometric Evaluation of Periorbital Region and Facial Projection Using Three-Dimensional Photogrammetry, *Journal of Craniofacial Surgery*: November 2018 - Volume 29 - Issue 8 - p 2017-2020 doi: 10.1097/SCS.0000000000004761

[23]. Gibelli D, Pucciarelli V, Poppa P, Cummaudo M, Dolci C, Cattaneo C, Sforza C. Three-dimensional facial anatomy evaluation: Reliability of laser scanner consecutive scans procedure in comparison with stereophotogrammetry. *J Craniomaxillofac Surg.* 2018 Oct;46(10):1807-1813. doi: 10.1016/j.jcms.2018.07.008. Epub 2018 Jul 24. PMID: 30097408.

[24]. 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.

[25]. Ayoub AF, Wray D, Moos KF, Siebert P, Jin J, Niblett TB, Urquhart C, Mowforth R. Three-dimensional modeling for modern diagnosis and planning in maxillofacial surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1996;11(3):225-33. PMID: 9456625.

[26]. 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.

[27]. 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.

[28]. Ferrario VF, Mian F, Peretta R, Rosati R, Sforza C. Three-dimensional computerized anthropometry of the nose: landmark representation compared to surface analysis. *Cleft Palate Craniofac J.* 2007 May;44(3):278-85. doi: 10.1597/06-021. PMID: 17477754.

[29]. 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.

[30]. Camison L, Bykowski M, Lee WW, Carlson JC, Roosenboom J, Goldstein JA, Losee JE, Weinberg SM. Validation of the Vectra H1 portable three-dimensional photogrammetry system for facial imaging. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018 Mar;47(3):403-410. doi: 10.1016/j.ijom.2017.08.008. Epub 2017 Sep 14. PMID: 28919165; PMCID: PMC5803347.

[31]. 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.

- [32]. Liu Y, Kau CH, Pan F, Zhou H, Zhang Q, Zacharopoulos GV. A 3-dimensional anthropometric evaluation of facial morphology among Chinese and Greek population. *J Craniofac Surg*. 2013 Jul;24(4):e353-8. doi: 10.1097/SCS.0b013e3182902e5d. PMID: 23851867.
- [33]. Othman SA, Majawit LP, Wan Hassan WN, Wey MC, Mohd Razi R. Anthropometric Study of Three-Dimensional Facial Morphology in Malay Adults. *PLoS One*. 2016 Oct 5;11(10):e0164180. doi: 10.1371/journal.pone.0164180. PMID: 27706220; PMCID: PMC5051712.
- [34]. 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.

6. Vorabveröffentlichung von Ergebnissen

Publikation:

Liu J, Guo Y, Arakelyan M, Rokohl AC, Heindl LM. Accuracy of Areal Measurement in the Periocular Region Using Stereophotogrammetry. J Oral Maxillofac Surg. 2020 Dec 17:S0278-2391(20)31512-3. doi: 10.1016/j.joms.2020.12.015. Epub ahead of print. PMID: 33434522.

8. Lebenslauf

Marat Arakelyan

**Geboren am 01.06.1994 in Eriwan
Armenien**



Studium, Praktika und Arbeit

10/2013 - 06/2019	Zahnmedizinstudium an Universität zu Köln
02/2016 - 04/2016	Praktikum beim Zahntechniker
26.06.2019	Studienabschluss mit Gesamtnote „gut“
27.06.2019	Approbation zum Zahnarzt
01.08.2019 – jetzt	Angestellter Zahnarzt bei Welldent

Schulbildung

2000 – 2009	Mayakovsky Gymnasium in Eriwan, Armenien
2009 – 2013	Humboldt Gymnasium in Köln. Abiturnote: 1,4

Sprachen

Anwendbare Sprachen	Deutsch Englisch Russisch Armenisch Spanisch (Ausgebautes Fundament)
---------------------	--

Ehrenamtliche Tätigkeiten

2013 – 2019	Aktives Mitglied der Fachschaft Zahnmedizin
-------------	---