



Masterstudiengang (M.Sc.) Vision Science and Business (Optometry) an der Hochschule Aalen (Aalen University)

in Kooperation mit

New England College of Optometry, Boston, MA, USA,

und

College of Optometry at Pacific University, Forest Grove, OR, USA

Eine Analyse des vorderen Augenabschnitts mit dem OCULUS Pentacam® CSP Report

Masterthesis zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science M.Sc.

Vorgelegt von:

Yvonne Eva Gier

Matrikelnummer: 25362

Betreut von:

Prof. Dr. Anna Nagl, Hochschule Aalen

Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Mario Rehnert, HECHT Contactlinsen GmbH

Abstrakt

Zielstellung: Eine detaillierte Auswertung des Corneo-Skleral-Profils ist für die Anpassung von weichen Kontaktlinsen und Sklerallinsen von besonderer Relevanz. Das Ziel dieser Studie ist es, das Profil der limbalen Sklera anhand des Zusatzmoduls CSP-Report der OCULUS Pentacam® zu beschreiben. Hierbei soll überprüft werden, ob der CSP-Report Ergebnisse bisheriger Studien bestätigt und somit zukünftig zur Simulation von Sklerallinsen verwendet werden kann.

Material und Methode: Es werden 74 linke Augen von 74 gesunden Probanden (51w, 23m, Durchschnittsalter 45 ±12 Jahre) ausgewertet, die im Rahmen einer vorhergehenden Bachelorthesis mittels Zusatzmodul CSP-Report der Pentacam® Basic (OCULUS Optikgeräte, Wetzlar) erhoben wurden. Scheiteltiefe, Limbalwinkel und Skleralwinkel werden in drei Durchmessern (10,00 mm, 12,80 mm und 15,00 mm) in acht Meridianen (nasal, nasal superior, superior, temporal superior, temporal, temporal inferior, inferior und nasal inferior) analysiert.

Resultat: Bei Durchmesser 10,00 mm verläuft die Form des vorderen Augenabschnitts noch sehr gleichmäßig, bei Durchmesser 12,80 mm steigt die Asymmetrie leicht an, die bei Durchmesser 15,00 mm am markantesten ist. Die durchschnittliche Scheiteltiefe der acht Meridiane bei 10,00 mm beträgt zwischen 1734 μm und 1806 μm. Für Durchmesser 12,80 mm reicht die durchschnittliche Scheiteltiefe von 2797 μm bis 3000 μm. Im Durchmesser 15,00 mm betragen die Mittelwerte für die Scheiteltiefe zwischen 3595 μm und 4033 μm. Die durchschnittlichen Limbalwinkel bei 12,80 mm liegen im Bereich von 35,68° und 42,02°. Für den Skleralwinkel bei 15,00 mm können Mittelwerte zwischen 34,71° und 43,11° für die acht Meridiane ermittelt werden. Signifikante Unterschiede ergeben sich hauptsächlich zwischen den gegenüberliegenden Meridianen. Die nasalen Segmente zeigen immer kleinere Scheiteltiefen, einhergehend mit kleineren Limbal- und Skleralwinkeln als die temporalen Meridiane. Das gleiche Muster kann für die superioren Meridiane im Verhältnis zu den inferioren Segmenten beobachtet werden. Für die nasalen Meridiane ergeben sich konkave Übergänge des Corneo-Skleral-Profils. Temporal kann ein konvexer Verlauf des CSP analysiert werden.

Schlussfolgerung: Mit dem in dieser Studie verwendeten CSP-Report ist es möglich, den Verlauf des vorderen Augenabschnitts anhand von Scheiteltiefe sowie Limbal- und Skleralwinkel in acht verschiedenen Meridianen zu beschreiben. Diese zusätzlichen Daten können für die Anpassung weicher Kontaktlinsen und Sklerallinsen zukünftig sehr nützlich sein.

Abstract

Purpose: A detailed evaluation of the corneo-scleral profile is of particular relevance for the fitting of soft contact lenses and scleral lenses. This study aims to describe the profile of the limbal sclera using the unit CSP-Report of the OCULUS Pentacam® Basic. The aim is to check whether the CSP-Report confirms the results of previous studies and can, therefore, be used to simulate scleral lenses in the future.

Methods: 74 left eyes of 74 healthy subjects (51f, 23m, mean age 45 ±12 years) are evaluated. The data was collected during a previous thesis using the additional unit CSP-Report of the Pentacam® Basic (OCULUS Optikgeräte, Wetzlar). Sagittal height, limbal angle and scleral angle are analyzed in three diameters (10.00 mm, 12.80 mm and 15.00 mm) in eight meridians (nasal, nasal superior, superior, temporal superior, temporal, temporal inferior, inferior and nasal inferior).

Results: At diameter 12.80 mm the shape of the anterior segment of the eye is nearly rotationally symmetrical, at diameter 15.00 mm the shape is more asymmetrical. The average sagittal height of the eight meridians at 10.00 mm is between 1734 μ m and 1806 μ m. For diameter 12.80 mm the average sagittal height ranges from 2797 μ m to 3000 μ m. For diameter 15.00 mm the average sagittal height is between 3595 μ m and 4033 μ m. The average limbal angles at 12.80 mm are in the range of 35.68° and 42.02°. For the scleral angle at 15.00 mm mean values between 34.71° and 43.11° are determined for the eight meridians. Significant differences are found mainly between the opposite meridians. The nasal segments always showes smaller sagittal heights, accompanied by smaller limbal and scleral angles compared to the temporal meridians. The same pattern is observed for the superior meridians in relation to the inferior segments. For the nasal meridians, concave transitions of the corneoscleral profile are observed, whereas temporally a convex course of the CSP is observed.

Conclusions: Using the CSP-Report in this study, it is possible to describe the shape of the anterior segment of the eye based on sagittal height and limbal as well as scleral angles in eight different meridians. These additional data can be very useful for fitting soft contact lenses and scleral lenses in the future.

Keywords: Scheimpflug technology, Pentacam®, limbal sclera contour, Corneo-Scleral Profile, scleral lens



Danksagung

Diese Mastherthesis ist im Rahmen meines Studiums zum Master of Science (M. Sc.) Vision Science and Business (Optometry) an der Hochschule Aalen entstanden.

Auf dieser Seite möchte ich die Gelegenheit nutzen, mich bei allen Personen zu bedanken, die auf unterschiedliche Art und Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Erstbetreuerin Frau Prof. Dr. Anna Nagl, ebenso wie meinem Zweitbetreuer Herrn Dipl.-Ing. (FH), M. Sc. Mario Rehnert, die mir während des gesamten Studiums mit Rat und Tat zur Seite standen. Die Freiheit, die sie mir bei der Ausarbeitung des Themas gelassen haben, ist nicht selbstverständlich.

Für die finanzielle Unterstützung und die Möglichkeit, dieses Studium berufsbegleitend absolvieren zu können, möchte ich mich bei der Firma HECHT Contactlinsen GmbH herzlich bedanken. Das Vertrauen, dass mir die Geschäftsleitung entgegengebracht hat, weiß ich sehr zu schätzen.

Ihrem Geschäftsführer, Herrn Dipl. Ing. (FH) Frank Widmer, möchte ich meinen Dank für die Entwicklung der Idee und seine Hilfestellung zu dieser Arbeit aussprechen.

Ich danke meiner Kommilitonin M. Sc. Katharina Breher, für die Mithilfe bei der Ausarbeitung des statistischen Teils dieser Arbeit.

Ebenfalls möchte ich mich bei meiner guten Freundin Ina Werth bedanken, die mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite stand. Außerdem möchte ich Ihr und meiner Schwester Katrin Beckers meinen Dank für das Korrekturlesen meiner Masterarbeit aussprechen.

Nicht zuletzt gebührt ein ganz spezieller Dank meinen lieben Eltern und meiner Schwester für die bedingungslose Unterstützung während meines ganzen Studiums. Sie waren immer für mich da und die ganzen Jahre in vielerlei Hinsicht eine große Stütze.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterthesis selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe.

Die verwendeten Literatur- und Abbildungsquellen sind im Literatur- bzw. im Abbildungsverzeichnis vollständig aufgeführt.

Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die, die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenden Ausführungen sind besonders gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und nicht veröffentlicht.

Freiburg, im Juni 2020



Inhaltsverzeichnis

Abst	rakt		i
Abst	ract		ii
Danl	ksagunį	g	iv
Eide	sstattli	che Erklärung	V
Tabe	ellenvei	rzeichnis	viii
Abki	ürzungs	sverzeichnis	viii
1	Einleit	ung	1
2	Zielste	llung	4
3	Wisser	nschaftlicher Hintergrund	6
3.1	P	Physiologische Grundlagen	6
	3.1.1	Sklera	
	3.1.2	Konjunktiva	7
	3.1.3	Limbus Corneae	
	3.1.4	Kornea	10
	3.1.5	Corneo-Skleral-Profil	12
	3.1.6	Limbal- und Skleralwinkel	14
3.2	Т	Fechnische Grundlagen	
	3.2.1	Scheimpflugverfahren	
4	Erkenn	ntnisse aus bisherigen Untersuchungen	18
4.1		Ritzmann, Markus et al	
An		s of Anterior Scleral Shape and Its Role in the Design and Fitting of Scleral Contact L	
	4.1.1	Zielstellung	
	4.1.2	Methode	18
	4.1.3	Resultat	19
	4.1.4	Schlussfolgerung	20
4.2	R	Richter, Stefanie	21
Bes	stimmuı	ng der cornealen und skleralen Topographie mit der Pentacam®	21
	4.2.1	Zielstellung	21
	4.2.2	Methode	21
	4.2.3	Resultat	21
	4.2.4	Schlussfolgerung	21

5	Mater	ial und Methode	23
5.1	1 9	Studiendesign	23
5.2	<u>2</u> F	Probanden	23
5.3	3 <i>A</i>	Auszuwertende Parameter	24
5.4	1 \	/erwendete Geräte und Hilfsmittel	26
	5.4.1	Scheimpflugtechnologie	26
	5.4.2	CSP-Report	27
	5.4.3	Augendaten-Analyse	32
5.5	5 5	Statistische Grundlagen	33
	5.5.1	Deskriptive Statistik	33
	5.5.2	Induktive Statistik	39
6	Ergebr	nisse	43
6.1	L [Deskriptive Statistik	43
	6.1.1	Ergebnistabelle Scheiteltiefe	43
	6.1.2	Ergebnisübersicht Scheiteltiefe	44
	6.1.3	Ergebnistabelle Winkel	45
	6.1.4	Ergebnisübersicht Winkel	45
	6.1.5	Boxplot	46
	6.1.6	Prüfung auf Normalverteilung	51
6.2	<u>2</u> I	nduktive Statistik	53
	6.2.1	Scheiteltiefe - Mehrfaktorielle Varianzanalyse	53
	6.2.2	Winkel – Mehrfaktorielle Varianzanalyse	61
7	Diskus	sion	68
7.1	L M	Meridiane	68
7.2	2 [Durchmesser 10,00 mm	69
7.3	3 [Durchmesser 12,80 mm	70
7.4	1 [Ourchmesser 15,00 mm	71
7.5	5 \	/ergleich zu bisherigen Studien	73
8	Zusam	menfassung und Fazit	75
Lite	raturve	rzeichnis	vii
Abb	ildungs	verzeichnis	х
Forr	melverz	eichnis	xi
Anh	ang		xii

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Kennwerte eines Boxplots	38
Tabelle 2 Signifikanzniveau (Quelle: Buser, 2004)	39
Tabelle 3 Ergebnistabelle Scheiteltiefe	43
Tabelle 4 Ergebnistabelle Winkel	45
Tabelle 5 Shapiro Wilk Test Scheiteltiefe	51
Tabelle 6 Shapiro Wilk Test Limbal- und Skleralwinkel	52
Tabelle 7 Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen	53
Tabelle 8 Tests der Zwischensubjekteffekte Scheiteltiefe	53
Tabelle 9 Bonferroni Post-Hoc Test für Durchmesser	54
Tabelle 10 Bonferroni Post-Hoc Test für Meridiane	55
Tabelle 11 Übersicht Scheiteltiefenverlauf pro Durchmesser	60
Tabelle 12 Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen	61
Tabelle 13 Tests der Zwischensubjekteffekte Winkel	61
Tabelle 14 Bonferroni Post-Hoc Test Meridian	62
Tabelle 15 Übersicht Winkelverlauf pro Durchmesser	67

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of variance
BFS	Best Fit Sphere
CSP	Corneo-Skleral-Profii
dpt	Dioptrien
HWTW	horizontal white to white
M. rectus medialis	medialer gerader Augenmuskei
ОСТ	optische Kohärenztomographie
PMD	Pellucide marginale Hornhautdegeneration
PMMA	Polymethylmethacrylat

1 Einleitung

Das Konzept, die Fehlsichtigkeit des Auges mittels einer Skleralschale optisch auszugleichen ist schon Jahrhunderte alt. Nachdem da Vinci bereits 1508 Überlegungen diesbezüglich in einem Manuskript festhielt¹, fanden die ersten praktischen Versuche Ende des 19. Jahrhunderts statt. Hier forschten drei Augenärzte unabhängig voneinander an der Entwicklung von Glasschalen, die an die Form des Auges angepasst wurden und so auf dem Auge die vorhandene Fehlsichtigkeit ausgleichen sollten. Adolf Eugen Fick² (*1852 - †1937) führte seine Versuche 1887 in Zürich, Eugène Kalt³ (*1861 - †1941) im Jahr 1888 in Paris durch. Ein Jahr später, offenbar ohne Kenntnis über die Arbeit der beiden anderen, entwickelte auch August Müller⁴ (*1865 - †1949) aus Mönchengladbach die ersten Sklerallinsen. Er war selbst mit -14,00 dpt kurzsichtig und testete die aus Mineralglas mundgeblasenen Haftschalen im Selbstversuch. In seiner Doktorarbeit *Brillengläser und Hornhautlinsen* beschrieb er eine sehr gute Korrektur seiner Fehlsichtigkeit (es blieb lediglich eine Restrefraktion von -0,50 dpt übrig). Allerdings konnte er die Glasschalen nur mit Hilfe eines Kokaincocktails für die Dauer von 30 Minuten schmerzfrei tragen.

Da außer Glas kein weiteres durchsichtiges, formbares Material zur Verfügung stand, verschwand die Idee der 3 Ärzte für die nächsten 50 Jahre in der Versenkung. Erst ein halbes Jahrhundert später schaffte 1938 der ungarische Arzt Istvan Györffy⁵ (*1912, †1999) den Durchbruch. Er entdeckte auf einer Deutschlandreise das unter dem Handelsnamen "Plexiglas" bekannte Material Polymethylmethacrylat (PMMA).

Mit diesem neuartigen Material war es nun möglich mit Hilfe von Augenabdrücken maßgefertigte Skleralschalen anzufertigen. Mit der Zeit verbesserten sich Anpass- und Fertigungstechniken erheblich, woraus immer mehr erfolgreiche Anpassungen resultierten. Zwischen 1946 bis 1948 erreichten die Sklerallinsen ihren vorläufigen Höhepunkt. Während

¹ Vgl. (Ferrero, 1952)

² Vgl. (Fick, 1888)

³ Vgl. (Panas, 1888)

⁴ Vgl. (Müller, 1889)

⁵ Vgl. (Györffy, 1940)

dieser Zeit konnten viele Kriegsversehrte des zweiten Weltkriegs mit dieser Linsenart versorgt werden.

Bald darauf brach Kevin Tuohy⁶ (*1919, \$\frac{1}{2}1968) in Kalifornien 1948 versehentlich die Haptikzone einer Sklerallinse ab. Er testete den zentralen Teil der kaputten Linse im Selbstversuch. Dabei stellte er fest, dass sich durch den gesteigerten Tränenfilmaustausch deutlich weniger Hornhautödeme bildeten. Nach einigen Experimenten und Entwicklungen meldete er bald ein Patent für die korneale Linse an, die schon bald die Sklerallinse fast gänzlich vom Markt verdrängte.

In den vergangenen 10 Jahren ist die Sklerallinse wieder populärer geworden. Neue hochgasdurchlässige Materialien, sowie weiterentwickelte Fertigungsvarianten bieten eine immer bessere Versorgungsmöglichkeit. Durch geringere Produktionskosten und bessere Reproduzierbarkeit wächst der Markt an Skleral- und Minisklerallinsen kontinuierlich.⁷

Die aktuell etablierten Topometriesysteme stoßen jedoch an Ihre Grenzen. Zwar können Sie sehr präzise die Topographie der Hornhaut erfassen, darüber hinaus erhebt zurzeit aber keines dieser Messgeräte ähnlich genaue Daten für die Sklera bzw. den gesamten vorderen Augenabschnitt. Sie sind alle auf den sichtbaren Hornhautdurchmesser limitiert. Zwar gibt es neuentwickelte Geräte, die den vorderen Augenabschnitt über den sichtbaren Hornhautdurchmesser hinaus (Limbus und Sklera) vermessen. Welches System sich davon jedoch für die Sklerallinsenanpassung etabliert, werden erst die kommenden Jahre zeigen.

Insbesondere bei komplexen Hornhauttopographien wie z.B. fortgeschrittenem Keratokonus, Pellucide Marginale Hornhautdegeneration (PMD) oder nach Keratoplastik ist dies jedoch entscheidend. Hier kann die korneale formstabile Kontaktlinse an Ihre Grenzen stoßen, so dass es vorzugsweise bei solch speziellen Hornhauttopographien zur Versorgung mit einer Sklerallinse kommt.

⁶ Vgl. (The Contact Lens Museum, 2019)

⁷ Vgl. (Van der Worp, A guide to scleral lens fitting (2 ed.), 2015)

Zurzeit ist die Auswahl einer passenden Linse auf die Bewertung einer auf dem Auge befindlichen Sklerallinse limitiert. Hierzu ist ein großer Erfahrungsschatz notwendig um solide eine gute Passform zu bestimmen. Diese Routine haben heute nur wenige Anpasser.

Im Interesse des Patienten ist es zwingend erforderlich, dass sich Kontaktlinsenanpasser mit der Modalität vertraut machen, um eine Versorgung mit der besten verfügbaren optischen Korrektur zu gewährleisten.

Andererseits müssen die aktuell verfügbaren Technologien effizienter und besser werden.

2 Zielstellung

Zum aktuellen Zeitpunkt ist es zwar möglich, mittels Topographiesystemen eine präzise Vermessung der Hornhaut zu erstellen, der sklerale Bereich des vorderen Augenabschnitts stellt Gerätehersteller jedoch vor eine Herausforderung.

In der Weiterentwicklung der Messgeräte gibt es unterschiedliche Ansätze um dieses Defizit zu beheben.

Die Firma OCULUS Optikgeräte GmbH aus Wetzlar hat dazu ein Erweiterungsmodul für Ihre Pentacam® entwickelt. Die scheimpflugbasierte OCULUS Pentacam® gilt heute in der augenärztlichen Diagnostik sowie in der Kontaktlinsenanpassung als Goldstandard. Das neue Zusatzmodul CSP-Report vermisst nun einen Durchmesser von bis zu 18 mm des vorderen Augenabschnitts.

Mit dem CSP-Report wird die Grundmessung der Pentacam® um vier zusätzliche Messungen erweitert. Neben der zentralen Messung erfolgt zusätzlich ebenfalls eine nasale, temporale, superiore und inferiore Aufnahme des vorderen Augenabschnitts. Aus diesen insgesamt fünf Messungen wird dann der CSP-Report erstellt, der den Übergang von Hornhaut über Limbus zur Sklera darstellt.

Durch die in diesem Messverfahren ermittelten Daten kann eine spezielle Simulationssoftware der Firma HECHT Contactlinsen GmbH aus Au bei Freiburg im Breisgau eine erste Messlinse berechnen.

Das ursprüngliche Ziel dieser Arbeit war es, den Erstvorschlag der Simulationssoftware mit dem tatsächlichen Linsensitz auf dem Auge des Probanden zu vergleichen. Es sollte überprüft werden, ob die vorgeschlagene Sklerallinse den allgemein gültigen Anpassstandards für Minisklerallinsen⁸ erfüllt und somit die Anpassung dieser Linsen vereinfacht und einer breiten Masse von Kontaktlinsenanpassern zugänglich macht.

⁸ Vgl. (Van der Worp, A guide to scleral lens fitting (2 ed.), 2015)

Aufgrund der zum Erstellungszeitpunkt der Thesis herrschenden Coronavirus SARS-CoV-2 Pandemie muss die Arbeit mit Probanden ausgesetzt werden. Deswegen wurde das Ziel dieser Arbeit neu definiert.

Es wird nun die Topographie der Sklera anhand bereits vorhandener Messdaten analysiert. Diese Daten wurden im Rahmen der Bachelorthesis von Stefanie Richter⁹ erfasst. Richter führte dazu 150 Messungen an 75 gesunden Probandenaugen mittels des OCULUS CSP-Reports durch. Sie analysierte die Daten um einen Vergleich zwischen dem rechten und linken Auge anzustellen.

In der Zwischenzeit wurden die damals ermittelten Daten von der Firma OCULUS Optikgeräte GmbH rekalkuliert. Dies bedeutet, dass die original Scheimpflugbilder im Rahmen der Beta-Software mit einem verbesserten Algorithmus neu berechnet werden und somit ein präziseres Ergebnis resultiert. Dies macht eine neue Bewertung der Messergebnisse notwendig.

Da es inzwischen einige Arbeiten^{10 11 12} bezüglich der Form des vorderen Augenabschnitts gibt, soll nun verglichen werden, ob der CSP-Report ähnliche Resultate liefert. Untersucht wird die Scheiteltiefe des Auges an 3 unterschiedlichen Durchmessern (10,00 mm, 12,80 mm und 15,00 mm) sowie der Limbal- und Skleralwinkel. Ebenso wie in den Arbeiten von Ritzmann und Bandlitz geschieht dies in 8 Meridianen (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° und 315°).

⁹ Vgl. (Richter, 2019)

¹⁰ Vgl. (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 2018)

¹¹ Vgl. (Bandlitz, Bäumer, Conrad, & Wolffsohn, 2017)

¹² Vgl. (Piñero & al, 2019)

3 Wissenschaftlicher Hintergrund

3.1 Physiologische Grundlagen

3.1.1 Sklera

Die Sklera bildet gemeinsam mit der Hornhaut die äußere Hülle des Auges. Sie ist avaskulär und besteht aus irregulär verflochtenen, festen und elastischen Kollagenfasern. Das macht die Sklera widerstandsfähig, aber durchaus verformbar, weshalb sie auch "Lederhaut" genannt wird. Hornhaut und Sklera sind zwar ähnlich im Aufbau, aufgrund des höheren Wassergehaltes und der unregelmäßigen Anordnung von Kollagenfasern ist die Sklera undurchsichtig, so dass Sie weiß erscheint. Die Sklera wird von einigen Nerven durchzogen.

Normalerweise hat die Sklera eine Dicke von ca. 1mm, bei hoher Myopie ist Sie bedeutend dünner und häufig nicht gleichmäßig rund. Am hinteren Pol des Auges bildet die Sklera eine siebförmige Platte aus – die Lamina Cribrosa. Hier dringen die Optikusfasern vom Augeninneren in die Orbita durch.

Zwischen Bindehaut und Sklera liegt die Episklera, die die Sklera ernährt und an Sklera und Tenonkapsel anhaftet. Im Bereich des Äquators ziehen sich die dicken Vortexvenen durch die Sklera. Diese sorgen dafür, dass das Blut aus dem Augeninneren in die Orbitavenen abgeleitet wird.

Im vorderen Augenabschnitt grenzt die Sklera an die Kornea. An der Innenseite des korneoskleralen Übergangs liegt der ringförmige Schlemm-Kanal. Durch diesen fließt das Kammerwasser ins Trabekelwerk ab und gelangt so in den episkleralen Venenplexus. ¹³ ¹⁴

6

¹³ Vgl. (Augustin, 2007) S. 261

¹⁴ Vgl. (Grehn, 2006) S. 152

3.1.2 Konjunktiva

Die Konjunktiva – auch Bindehaut genannt – ist eine durchsichtige Schleimhautschicht, die aus Bindegewebe besteht und eine Vielzahl Becherzellen beherbergt. Der von den Becherzellen produzierte Schleim begünstigt die Haftung des Tränenfilms auf der Hornhautoberfläche. Des Weiteren sind akzessorische Tränendrüsen (Krause-Drüsen) in der Bindehaut eingelagert. Diese Drüsenpakete befeuchten die Bindehautoberfläche. Gemeinsam mit dem Tränenfilm ermöglicht die glatte, feuchte Bindehaut ein gleichmäßiges Gleiten des Augapfels bei Blickbewegungen. Zusätzlich fungiert die Konjunktiva als Lymphknoten des Auges. Einzelne Zellen des konjunktivalen Gewebes geben bakterizide Substanzen, Immunglobuline, Interferone und Prostaglandine an die Bindehautoberfläche ab. Das Zusammenwirken von Lidern, Tränenfilm und Bindehaut sorgt für eine gute Verteidigung und bildet eine gute Schutzfunktion gegen äußere Einwirkungen.

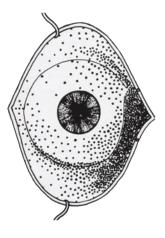


Abbildung 1 Verteilung der Becherzellen auf der Konjunktiva (Quelle: Skript "Introduction to Anatomy of the Eye" Kathleen Krenzer)

Die Konjunktiva wird in drei Abschnitte unterteilt:

Palpebral: Die palpebrale Bindehaut befindet sich auf der Innenseite der Augenlider und

ist fest mit dem Tarsus verwachsen. Während des Lidschlags verteilt Sie die

Tränenflüssigkeit gleichmäßig wie ein Scheibenwischer über die Hornhaut.

<u>Bulbär:</u> Die bulbäre Bindehaut verschmilzt am Limbus mit der Tenonkapsel, liegt ihr

außerhalb aber locker auf.

Fornikal: An der fornikalen Bindehaut findet der Übergang von bulbärer zu palpebraler

Konjunktiva statt. Die Konjunktiva wirft hier lockere Falten auf, weshalb man

auch von der Bindehautfalte oder Bindehautsack spricht. Durch diese Falten

wird dem Augapfel eine extreme Blickbewegungen ermöglicht. 15 16

3.1.3 Limbus Corneae

Als Limbus Corneae wird der Übergangsbereich von Sklera und Bindehaut zu der Hornhaut genannt. Ähnlich einem Uhrglas ist die Kornea in diesem Bereich eingefasst. Undurchsichtiges Bindehautgewebe überlappt durchsichtiges Hornhautgewebe, wodurch sich ein gräulicher Schimmer ergibt. Die Breite dieses Übergangsbereichs variiert. Der limbosklerale Übergang ist im horizontalen Meridian etwa 1,50 mm und im vertikalen ca. 2,00 mm breit. Der Limbus ist ein zirkulärer Gewebestreifen, der ähnlich zweier Ellipsen geformt ist, deren Enden im horizontalen Meridian liegen. Die breitesten Bereiche liegen oben und unten. ¹⁷

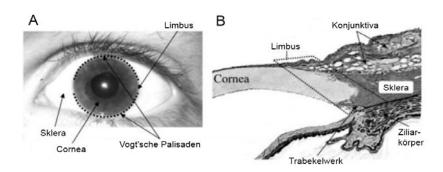


Abbildung 2 A: Frontalansicht des Auges mit Limbus und Vogt'schen Palisaden; B: Darstellung des Limbus im Querschnitt durch den vorderen Augenabschnitt (Quelle: Takacs et al. 2009)

¹⁶ Vgl. (Augustin, 2007) S. 207

¹⁵ Vgl. (Grehn, 2006) S. 90

¹⁷ Vgl. (Augustin, 2007) S. 1215

Der Limbus Corneae ist nicht nur die anatomische Grenze zwischen Hornhaut und Bindehaut. Außerdem befinden sich im Limbusareal die Vogt'schen Palisaden (s. Abbildung 2A). Diese kleinen Kanäle sind sternförmig angeordnet und beherbergen die limbalen epithelialen Stammzellen, die für eine lebenslange Erneuerung und schnelle Regeneration des Epithels der Kornea sorgen. Sie sind somit für die Transparenz der Hornhaut verantwortlich.

Aus diesem Grund ist der Limbus Corneae ein physiologisch wichtiger Bereich des Auges. Überdies fungieren die Stammzellen als eine Art Barriere für das Bindehautgewebe.

Herrschen Bedingungen, unter denen die Stammzellen signifikant geschädigt werden, ist es möglich, dass das Bindehautepithel auf die Hornhautoberfläche wuchert (Konjunktivalisierung). Hierdurch entwickelt sich ein verdicktes, unregelmäßiges, instabiles Epithel, das häufig von Vaskularisationen durchzogen wird. Unter solchen Bedingungen ergeben sich oft Epitheldefekte, die Hornhautulzerationen und Narbenbildungen zur Folge ein Visusverlust resultiert. Diese haben, woraus in der Regel signifikante Stammzellenschädigung (Stammzelleninsuffizienz) tritt vielfach nach Verätzungen oder Explosionstraumata auf (vgl. Abbildung 3). 19 20



Abbildung 3 Konjunktivalisierte Hornhaut nach Explosionstrauma (Quelle: Universitäts-Augenklinik Freiburg)

¹⁸ Vgl. (Brandl, 2010) S. 9

¹⁹ Vgl. (Secker & Daniels, 2015)

²⁰ Vgl. (Hatch KM, 2009)

3.1.4 Kornea

Die Hornhaut (Kornea) ist das optische Fenster des Auges zur Außenwelt und hat einen durchschnittlichen Durchmesser von 11,80 mm bei einem Erwachsenen.²¹ Erst durch ihre Transparenz wird dem Menschen das Sehen ermöglicht. Mit einer Brechkraft von ca. 43 dpt hat sie den größten Anteil an der Gesamtbrechkraft des Auges. Die Oberfläche der Hornhaut ist von einem mehrschichtigen Plattenepithel überzogen, dass sich im Falle einer Verletzung innerhalb weniger Stunden regenerieren kann. Aufgrund der limbalen Stammzellen (vgl. 3.1.3) ist eine schnelle Zellverschiebung und Zellteilung möglich. Ein intaktes Hornhautepithel ist die Voraussetzung, damit keine Außenkeime in die tiefer gelegenen Schichten der Kornea eindringen können.

Die Basalmembran wird von den Basalzellen des Plattenepithels gebildet und ist fest mit der Bowman-Lamelle verbunden. Diese ist zwar extrem widerstandsfähig, regeneriert allerdings nicht. Wird Sie verletzt, entsteht im Heilungsprozess eine Narbe.

An die Bowman-Membran schließen die Kollagenlamellen des Hornhautstromas an. Das Hornhautstroma ist avaskulär, weswegen es nur langsam regeneriert.

Angrenzend zur Vorderkammer schließt nach dem Hornhautstroma die Descemet-Membran mit dem Hornhautendothel ab. Die Descemet-Membran ist sehr robust und grenzt die Vorderkammer nach außen ab, auch wenn das Hornhautstroma stark reduziert ist (z.B. aufgrund von Entzündungen). Bei Verletzung kann sie durch das Endothel neu gebildet werden.

Die Aufgabe des Hornhautendothels besteht darin, das Hornhautstroma zu entwässern. Somit bleibt die Hornhaut transparent. Das Endothel ist nicht regenerationsfähig, was durch Zellvergrößerung und Zellmigration ausgeglichen wird. Die Dichte des Endothels ist altersabhängig, beträgt aber in der Regel ca. 2500 Zellen/mm². Sind nicht mehr ausreichend Endothelzellen vorhanden (< 300 Zellen/mm²), bildet sich im Hornhautstroma ein Ödem. Das Endothel kann nicht mehr genug Wasser aus dem Stroma abpumpen, so dass der Wassergehalt des Stroma von 70% aus dem Gleichgewicht kommt. Das Sehen wird milchig und um Lichtquellen bilden sich Halos aus. Die Transparenz der Hornhaut beruht auf einem

-

²¹ (Efron, 2018)

weiteren Faktor. Die regelmäßig angeordneten Kollagenfasern im Hornhautstroma und das aufgrund des Augeninnendrucks faltenfreie, glatte Endothel und Epithel bilden ebenfalls die Grundlage für eine klare Optik.

Neben dem Hornhautstroma sind auch die anderen vier Schichten zellarm, strukturlos und haben keine Gefäße. Somit ist der Stoffwechsel träge, was eine langsame Heilung bei Verletzungen bedeutet. Die Hornhaut ernährt sich aus drei unterschiedlichen Quellen:

- 1. Diffusion aus dem Randschlingennetz
- 2. Stoff- und Ionenaustausch aus dem Kammerwasser
- 3. Stoff- und Ionenaustausch aus dem Tränenfilm

Da die Hornhaut ein extrem wichtiges Gewebe für das Auge ist, ist sie außergewöhnlich empfindlich. Schon die kleinste Berührung bewirkt einen schützenden reflektorischen Lidschluss.²²

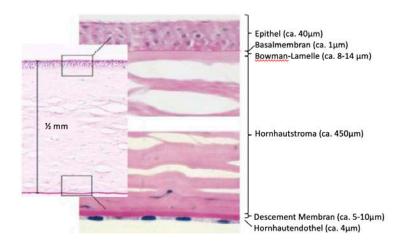


Abbildung 4 Anatomie der Hornhaut (Quelle: Lang, 2008)

²² Vgl. (Lang, 2008)

3.1.5 Corneo-Skleral-Profil

Als Corneo-Skleral-Profil (CSP) wird die Profillinie bezeichnet, die sich aus der Form der Hornhaut, des Limbus und im weiteren Verlauf durch die Sklera ausbildet.²³ Erstmalig wurde das CSP 1987 durch Meier und Gaggioni beschrieben.²⁴ Sie unterteilten es in 5 unterschiedliche Verlaufsformen, die in Abbildung 5 dargestellt sind.

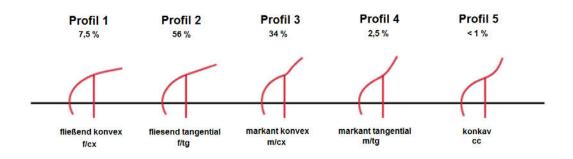


Abbildung 5 Klassifikation des Corneo-Skleral-Profils nach Meier und Gaggioni (Quelle: Meier und Gaggioni 1987)

Die Scheiteltiefe des Auges nimmt von Profil 1 (fließend konvex) zu Profil 5 (konkav) ab, Profil 2 (fließend tangential) ist die häufigste Form.²⁵ Hall et al. untersuchte mittels eines optischen Kohärenztomographen (OCT) den Winkel des CSP. Im Ergebnis zeigte sich ein deutlich flacherer nasaler Winkel im Vergleich zu den drei weiteren Quadranten (temporal, superior und inferior).²⁶ ²⁷ Es wird vermutet, dass diese Abflachung aus dem Einfluss des medialen geraden Augenmuskels (M. rectus medialis) resultiert. Dieser ist von den Augenmuskeln mit einem Abstand von 5,50 mm der Hornhaut am nächsten. Zu dem gleichen Schluss kommen van der Worp, Graf und Caroline in ihrer Studie. Auch Sie nutzten ein OCT um die verschiedenen Verlaufsformen des CSP zu untersuchen.²⁸ Eine weitere Studie der Pacific University College of Optometry, durchgeführt von Kojima et al., untersuchte den Limbal- und Skleralwinkel 96 gesunder Augen. Sie stellten ebenfalls fest, dass die Sklera in der Nähe der extraokulären Muskeln immer torischer wird. Die Studienergebnisse mit den

²³ Vgl. (Bokern, Hoppe, & Bandlitz, 2007)

²⁴ Vgl. (Gaggioni & Meier, 1987)

²⁵ Vgl. (Baron & Ebel, 2008)

²⁶ Vgl. (Hall, Young, Wolffsohn, & Riley, 2011)

²⁷ Vgl. (Hall, Hunt, Young, & Wolffsohn, 2013)

²⁸ Vgl. (Van der Worp, Graf, & Caroline, Exploring Beyond the Corneal Borders, 2010)

durchschnittlichen Werten der einzelnen Winkel in 8 Hauptmeridianen ist in Abbildung 6 am Beispiel eines rechten Auges dargestellt.²⁹

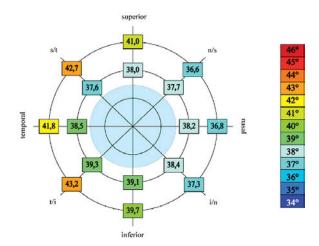


Abbildung 6 Durchschnittliche Winkel der Studie des Pacific University College of Optometry. Zu sehen ist die nasale Abflachung und die fortlaufende Versteilung in den anderen Meridianen (Quelle: Kojima, et al., 2013)

Insbesondere für Kontaktlinsenarten, die größer als der sichtbare Hornhautdurchmesser sind (z.B. individuelle Weichlinsen oder Sklerallinsen), ist die Form des CSP relevant. Es beeinflusst die Zentriereigenschaften der Kontaktlinse.³⁰

²⁹ Vgl. (Kojima, et al., 2013)

³⁰ Vgl. (Young, Schnider, Hunt, & Efron, 2010)

3.1.6 Limbal- und Skleralwinkel

Durch das relativ neue bildgebende Verfahren der optischen Kohärenztomografie (OCT) ist es zwar möglich geworden, ein gewisses Verständnis für den Übergangsbereich von Kornea zu Sklera zu gewinnen. Diese gelingt allerdings nur für einzelne Meridiane (z.B. im horizontalen Meridian). Eine vollständige topographische Darstellung, wie wir das für die Hornhauttopographie gewohnt sind, ist in diesem Bereich des vorderen Augenabschnitts mit dem OCT bisher nicht möglich. Eine Bewertung des Übergangsbereichs ist bisher nur durch die manuelle Auswertung der Aufnahmen möglich, es besteht kein Automatismus.³¹

Durch das Vermessen der beiden Winkel erhält man einen guten Überblick über den Formverlauf des vorderen Augenabschnitts.

Der Limbalwinkel ergibt sich an Durchmesser 12,80 mm aus einer parallel zur Referenzlinie verlaufenden Geraden und einer Linie, die parallel zur Hornhautoberfläche verläuft und die Durchmesser 10,00 mm und 12,80 mm verbindet.

Der Skleralwinkel wird auf gleiche Weise ausgemessen. Hier verläuft die Linie parallel zur Augenoberfläche von Durchmesser 12,80 mm zu 15,00 mm.

Ein genauer Überblick ist in Abbildung 14 dargestellt.

Laut van der Worp müsste die Limbusregion theoretisch eine konkave Form zeigen. In seiner Studie³² stellte er 2010 fest, dass diese lediglich bei einem Viertel der Probanden gemessen werden konnte.

³¹ Vgl. (Van der Worp, A guide to scleral lens fitting (2 ed.), 2015)

³² Vgl. (Van der Worp, Graf, & Caroline, Exploring Beyond the Corneal Borders, 2010)

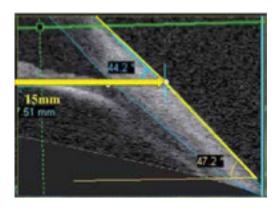


Abbildung 7 Steiler Winkel des vorderen Augenabschnitts: 44,2° bzw. 47,2° für den Limbalwinkel bzw. Skleralwinkel; aufgenommen mit Zeiss Visante® OCT. (Quelle: Pacific University – Scleral Shape Study)

Er fand in verschiedenen Meridianen unterschiedliche Profile, was bestätigt, dass die Form des Limbus sehr individuell ausfällt.

Hieraus stellt sich die Frage, wie sich die Form des vorderen Augenabschnitts hinter dem Limbus auf der Sklera fortsetzt. Da das Auge kugelförmig ist, würde man davon ausgehen, dass die Form eher konvex ausfällt. Dies trifft aber nicht zu, in den meisten Fällen verläuft die Sklera in diesem Bereich eher tangential. Die konvexe Form konnte van der Worp nur bei ca. einem Drittel der Probanden beobachten.

3.2 Technische Grundlagen

3.2.1 Scheimpflugverfahren

Der österreichische Kartograph Theodor Scheimpflug (*1865 - \$\div 1911) entwickelte zur verbesserten Landschaftsvermessung das nach ihm benannte Verfahren. Er verfolgte seinerzeit das Ziel, aus Luftbildern topographische Karten zu konstruieren. Hierfür war es notwendig, scharf abgebildete Luftaufnahmen als Grundlage verwenden zu können. Dies war mit regulären Kameras, deren Fototechnik sich bis heute nicht verändert hat, nicht möglich. Das Prinzip üblicher Fotoapparate beruht auf der parallel verlaufenden Bild-, Objektiv-, und Objektebene. Parallel zur Bildebene verlaufende Objekte werden scharf abgebildet, Objekte die außerhalb dieser Ebene liegen werden unscharf und verzerrt abgebildet.

Scheimpflug entwickelte eine Kamera, die es ermöglicht, Bild- und Objektivebene auszuschwenken, wodurch ein gemeinsamer Schnittpunkt auf der optischen Achse resultiert. Somit ergibt sich eine Schärfenebene, die auch geneigte Objekte komplett scharf abbildet.

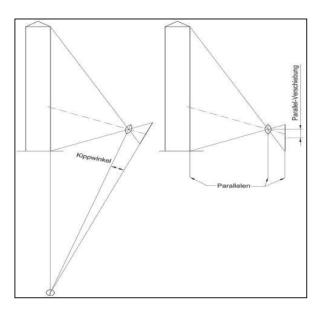


Abbildung 8 Darstellung Scheimpflug Bedingung (Quelle: Horst Drexel³³)

Scheimpflug nutzte dieses Verfahren, um Schrägansichten von Gebäuden und Landschaftsabschnitten aus der Luft verzerrungsfrei und tiefenscharf abzubilden.³⁴

³³ Vgl. (Drexel, 2011)

³⁴ Vgl. (Schorr, 2016)





Abbildung 9 Vergleich normale Kamera – Scheimpflug Kamera (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Auch in der modernen Ophthalmologie wird dieses Verfahren bei der Aufnahme des vorderen Augenabschnitts genutzt.

Ein rotierender Hybrid aus Spaltlampe und Scheimpflugkamera erfasst echte Höhendaten, aus denen von der Vorderfläche der Kornea bis zu Rückfläche der Augenlinse ein vollständig scharfes Schnittbild erzeugt werden kann. Durch die Rotation wird eine 360°-Darstellung des vorderen Augenabschnitts errechnet.

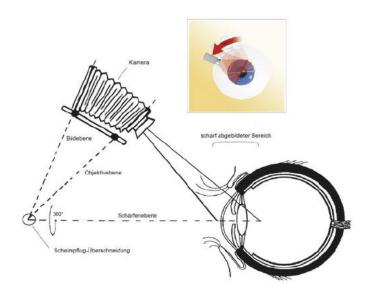


Abbildung 10: Darstellung einer modernen Scheimpflugaufnahme des vorderen Augenabschnitts (Quelle: Andreas Julien Schorr³⁵)

³⁵ Vgl. (Schorr, 2016)

4 Erkenntnisse aus bisherigen Untersuchungen

4.1 Ritzmann, Markus et al.

An Analysis of Anterior Scleral Shape and Its Role in the Design and Fitting of Scleral Contact Lenses³⁶

4.1.1 Zielstellung

Ritzmann et al. untersuchte mithilfe eines OCTs (Visante, Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA) den vorderen Augenabschnitt um ein besseres Verständnis für dessen Form zu bekommen.

4.1.2 Methode

Er ermittelte dazu die Scheiteltiefe sowie den corneoskleralen Übergangswinkel des Auges an 3 unterschiedlichen Durchmessern (10,00 mm, 12,80 mm und 15,00 mm). Ebenso wie Bandlitz et al. beurteilte er acht Meridiane (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° und 315°). Ritzmann bewertete 78 Augen von 39 Probanden (29 Frauen, 10 Männer, Durchschnittsalter 25,40 ± 2 Jahre). Aus den Messdaten berechnete er außerdem die Torizität der Sklera, die er als größte Scheiteltiefendifferenz zwischen zwei senkrecht zueinander liegenden Meridianen definierte. Zusätzlich dokumentierte er die Hornhauttopographie und die objektive Refraktion.

³⁶ Vgl. (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 2018)

4.1.3 Resultat Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 und Abbildung 11 abgebildet.

Ocular angle measurements in eight primary meridians.

Chord Length	Meridian	n	Right Eye Height (µm)	±SD	Left Eye Height (µm)	± SD	Shapiro-Wilk Normality Test Passed? ($\alpha = 0.05$)	p-value (two-tailed Right vs. Left Eyes
10.0 mm	Nasal	39	1719	78	1712	84	Yes	0.4282
	Temporal	39	1789	89	1783	97	Yes	0.4282
	Superior Nasal	39	1785	91	1756	68	Yes	0.0055
	Inferior Temporal	39	1780	103	1783	89	Yes	0.8328
	Superior	39	1794	78	1793	90	Yes	0.8773
	Inferior	39	1810	90	1835	84	Yes	0.0041
	Superior Temporal	39	1792	82	1817	88	Yes	0.0203
	Inferior Nasal	39	1729	75	1737	85	Yes	0.3791
12.8 mm	Nasal	39	2898	151	2896	171	RE Yes/LE No	0.7075
	Temporal	39	2905	154	2896	171	RE Yes/LE No	0.6382
	Superior Nasal	39	2943	176	2908	165	Yes	0.0031
	Inferior Temporal	39	2929	182	2913	157	Yes	0.1994
	Superior	39	2906	150	2917	150	RE Yes/LE No	0.2747
	Inferior	39	2903	150	2929	151	RE Yes/LE No	0.0204
	Superior Temporal	39	2893	143	2915	143	Yes	0.0377
	Inferior Nasal	39	2900	144	2923	144	Yes	0.4754
15 mm	Nasal	39	3708	211	3710	224	Yes	0.8818
	Temporal	39	3772	222	3787	237	Yes	0.2804
	Superior Nasal	38	3754	242	3727	225	Yes	0.0844
	Inferior Temporal	39	3794	250	3756	228	Yes	0.0071
	Superior	39	3767	201	3780	201	RE Yes/LE No	0.2878
	Inferior	39	3723	201	3754	203	Yes	0.0214
	Superior Temporal	39	3747	186	3763	179	Yes	0.2498
	Inferior Nasal	39	3676	199	3728	182	Yes	0.0004

Abbildung 11 Scheiteltiefen gemessen in 3 Durchmessern und 8 Meridianen (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 2018)

Chord Length	Meridian	n	Right Eye Angle (Degrees)	±SD	Left Eye Angle (Degrees)	±SD	Shapiro-Wilk Normality Test Passed? $(\alpha = 0.05)$	p-value (two-tailed) Right vs. Left Eyes
12.8 mm	Nasal	39	39.85	2.29	40.14	2.67	RE Yes/LE No	0.0446
	Temporal	39	38.53	1.95	38.42	2.50	RE Yes/LE No	0.9752
	Superior Nasal	39	39.36	2.96	39.38	3.01	Yes	0.9479
	Inferior Temporal	39	39.32	2.60	38.78	2.29	Yes	0.0112
	Superior	39	38.35	2.50	38.69	2.37	Yes	0.0695
	Inferior	39	37.98	2.33	37.79	2.37	Yes	0.2717
	Superior Temporal	39	38.15	2.40	38.10	2.21	Yes	0.7607
	Inferior Nasal	39	39.66	2.47	40.18	2.63	RE Yes/LE No	0.0092
15.0 mm	Nasal	39	36.36	3.00	36.46	2.76	Yes	0.6923
	Temporal	39	38.17	2.64	38.82	2.70	Yes	0.0007
	Superior Nasal	38	36.22	2.66	36.55	2.57	Yes	0.3000
	Inferior Temporal	39	37.99	2.82	37.34	2.70	Yes	0.0196
	Superior	39	38.01	2.47	37.93	2.27	Yes	0.6911
	Inferior	39	36.70	2.56	36.72	2.57	Yes	0.9320
	Superior Temporal	39	37.70	1.96	37.55	1.77	Yes	0.4633
	Inferior Nasal	39	35.17	2.26	36.26	2.28	Yes	< 0.0001

Abbildung 12 Okuläre Winkel gemessen in 8 Hauptmeridianen (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 2018)

4.1.4 Schlussfolgerung

Ritzmann folgerte aus diesen Ergebnissen, dass bei 12,80 mm Durchmesser die limbale Zone im Durchschnitt rotationssymmetrisch ist, da hier lediglich geringe Schwankungen der Scheiteltiefe in gegenüberliegenden Meridianen gemessen werden konnten. Die Form der Sklera bei 15,00 mm Durchmesser wird immer asymmetrischer, also torischer. Die im Mittel gefundene Torizität der Sklera lässt vermuten, dass man mit einer torischen Haptikzone einen besseren Sitz einer Sklerallinse erreicht, die bei Durchmesser 15,00 mm oder größer landet. Ein ähnliches Muster zeigte sich auch beim Limbal- und Skleralwinkel. Der Limbalwinkel bei 12,80 mm ist nasal steiler als temporal. Gegensätzlich dazu ist der Skleralwinkel bei 15,00 mm nasal flacher als temporal. Es scheint, dass die Limbalwinkel nasal einen abrupt konkaven Übergang hat. Der Verlauf temporal zeigt sich eher als konkav und tangential. Für den Sklerallinsensitz bedeutet das eher eine Dezentration nach temporal und inferior.

4.2 Richter, Stefanie

Bestimmung der cornealen und skleralen Topographie mit der Pentacam®

4.2.1 Zielstellung

Richter überprüfte in Ihrer Arbeit, ob die Skleralradien am rechten und linken Auge spiegelsymmetrisch sind.

4.2.2 Methode

Sie nutzte die Pentacam® Basic (OCULUS Optikgeräte, Wetzlar) in Verbindung mit dem integrierten CSP-Report um die Kontur des vorderen Augenabschnitts zu vermessen. Sie führte die Vermessung bei 150 gesunden Augen aus. Die Probanden waren im Mittel 44,99 Jahre alt, mit einer Spannweite von 22 bis 75 Jahren. 52 Probanden waren weiblich, 23 männlich. Sie verglich die Sagittalhöhe in acht Meridianen (nasal, superior-nasal, superior, superior-temporal, temporal, inferior-temporal, inferior und inferior-nasal) bei den Durchmessern 10,00 mm, 12,80 mm und 15,00 mm.

4.2.3 Resultat

Lediglich superior und inferior liegt die Differenz der Sagittalhöhe zwischen dem rechten und linken Auge innerhalb 30 μ m. Nur im vertikalen Hauptmeridian ist somit das Augenpaar miteinander vergleichbar. In den weiteren sechs bewerteten Meridianen ist eine größere Abweichung erkennbar. Bei 10,00 mm nasal wurde eine höhere Sagittalhöhe als temporal gefunden. Für die anderen Messpunkte ist die Sagittalhöhe temporal größer als nasal. Die Standardabweichung der Sagittalhöhe nimmt zu, desto weiter in der Peripherie gemessen wird. Die Sagittalhöhe der nasalen Sklera im Durchmesser 15,00 mm sind am rechten Auge im Mittel (\bar{x} =3460 μ m ±200 μ m) signifikant (p<0,01) kleiner als am linken Auge (\bar{x} =3637 μ m ±206). Für die errechneten Winkel ist die Standardabweichung bei 12,80 mm und 15,00 mm für alle acht Meridiane nahezu identisch. Der flachste Winkel wurde bei 12,80 mm am rechten Auge superiornasal (\bar{x} =35,20° ±2,72) und am linken Auge in superior (\bar{x} =35,14° ±2,48) gefunden. Bei 15,00 mm liegt der flachste Winkel jeweils nasal (R: \bar{x} =33,31° ±2,80; L: \bar{x} = 34,62° ±2,68).

4.2.4 Schlussfolgerung

Richter kam zu dem Schluss, dass ein Augenpaar nicht spiegelgleich ist. Lediglich im vertikalen Hauptschnitt, also superior und inferior, sind die Augen rechts und links fast identisch. Im horizontalen Hauptschnitt, also nasal und temporal, ist keine Ähnlichkeit erkennbar. Diese

Information ist hilfreich für die Anpassung großer Kontaktlinsen, wie beispielsweise weicher Kontaktlinsen oder Sklerallinsen.

5 Material und Methode

5.1 Studiendesign

In dieser Querschnittsstudie wird die Kontur des vorderen Augenabschnitts analysiert. Es nehmen ausschließlich Probanden ohne okuläre Vorerkrankungen teil. Ausgeschlossen sind Probanden mit entzündlichen oder ektatischen Bedingungen, die die Form der Kornea, Konjunktiva und Sklera beeinflussen können (beispielsweise Pinguecula oder Pterygium). Aus dem gleichen Grund sind ebenfalls Probanden ausgeschlossen, die sich in der Vergangenheit Augenoperationen unterzogen haben oder Orthokeratologie anwenden. Eine Kontaktlinsenkarenz von 24 Stunden ist vor der Messung notwendig.

Diese Studie stimmt überein mit den Anforderungen der Erklärung von Helsinki (1983).

5.2 Probanden

74 linke Augen von 74 gesunden Probanden, die aus Mitarbeitern der Firma HECHT Contactlinsen GmbH bestehen, wurden im Rahmen der Bachelorthesis von Stefanie Richter³⁷, wie in Kapitel 5.4 beschrieben, vermessen. Es handelt sich um 51 weibliche (68,92%) und 23 männliche (31,08%) Probanden im durchschnittlichen Alter von 45 Jahren mit einer Standardabweichung von 12 Jahren (M = 45,09 SD = 12,05).

Die Messungen wurden im November 2018 erhoben. Inzwischen wurden Sie von der Firma OCULUS Optikgeräte GmbH rekalkuliert. Hierbei wird auf Basis der original Scheimpflugbilder mit verbesserten Algorithmen die Augenoberfläche erneut berechnet. Dadurch resultieren neue, bessere Ergebnisse. Solche wichtigen Veränderungen werden grundsätzlich nur bei Beta-Software-Versionen von der Firma OCULUS Optikgeräte GmbH durchgeführt.

³⁷ Vgl. (Richter, 2019)

5.3 Auszuwertende Parameter

In verschiedenen Veröffentlichungen³⁸ ³⁹ wurde bestätigt, dass Augenpaare häufig eine Spiegelsymmetrie (Enantiomorphismus) aufweisen. Obwohl die Studie von Stefanie Richter zu einem abweichenden Resultat kommt, werden in dieser Arbeit lediglich linke Augen untersucht. Somit soll gewährleitet werden, dass adäquate Messresultate erzielt werden und keine statistisch fehlerhafte Auswertung resultiert.⁴⁰

Es werden Daten des vorderen Augenabschnitts an drei Durchmessern (10,00 mm, 12,80 mm und 15,00 mm) in acht Halbmeridianen (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° und 315°) ausgewertet. Da es sich lediglich um linke Augen handelt, werden diese Meridiane in der Datenanalyse als temporal, temporal superior, superior, nasal superior, nasal, nasal inferior, inferior, und temporal inferior bezeichnet. Diese Punkte werden zum einen gewählt, da sie sich bereits in anderen Studien^{41 42} bewährt haben und somit eine gute Vergleichbarkeit besteht. Zum anderen ist bei einem 10,00 mm-Durchmesser gewährleistet, dass dieser bei einem regulären, gesunden Auge im Bereich der Kornea liegt. Der Durchmesser von 12,80 mm ist 1,00 mm größer als der durchschnittliche horizontale Korneadurchmesser⁴³. In diesem Bereich geht das Korneagewebe in das Skleragewebe über und repräsentiert den limbalen Bereich des vorderen Augenabschnitts. Dieser Punkt ist bei der Sklerallinsenanpassung von großer Relevanz, da die Sklerallinse in diesem Bereich auf der Sklera landen soll. Der Durchmesser von 15,00 mm wird gewählt, da man sich hier gesichert im skleralen Bereich des vorderen Augenabschnitts befindet. Des Weiteren kann dieser Durchmesser konstant vom Messgerät ermittelt werden.

³⁸ Vgl. (Corbett, Maycock, Rosen, & O'Brart, 2019) S. 95ff

³⁹ Vgl. (Hall, Hunt, Young, & Wolffsohn, 2013)

⁴⁰ Vgl. (Wayne A. Ray, 1985)

⁴¹ Vgl. (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 2018)

⁴² Vgl. (Bandlitz, Bäumer, Conrad, & Wolffsohn, 2017)

⁴³ Vgl. (Efron, 2018) S. 10

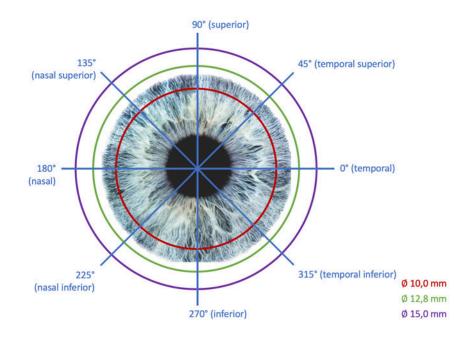


Abbildung 13 Übersichtsdarstellung der Messpunkte des linken Auges

OI

An diesen insgesamt 24 Punkten werden die jeweiligen Scheiteltiefen gemessen. Außerdem werden an Durchmesser 12,80 mm und 15,00 mm in allen acht Meridianen der Limbal- bzw. Skleralwinkel ausgewertet, um ein besseres Verständnis der Augenform zu erhalten.

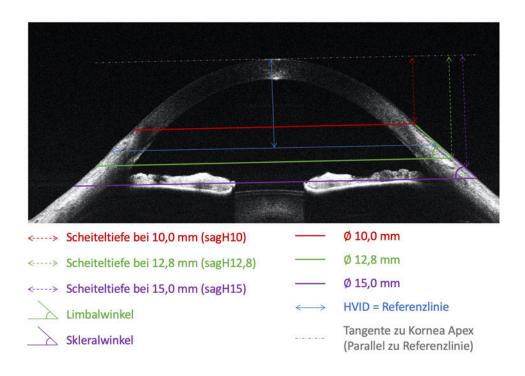


Abbildung 14 Übersichtsdarstellung der auszuwertenden Parameter

5.4 Verwendete Geräte und Hilfsmittel

5.4.1 Scheimpflugtechnologie

Zur Ermittlung der Daten des vorderen Augenabschnitts wird eine automatisch rotierende Scheimpflugkamera der Firma OCULUS Optikgeräte GmbH aus Wetzlar vom Typ Pentacam® Basic verwendet.

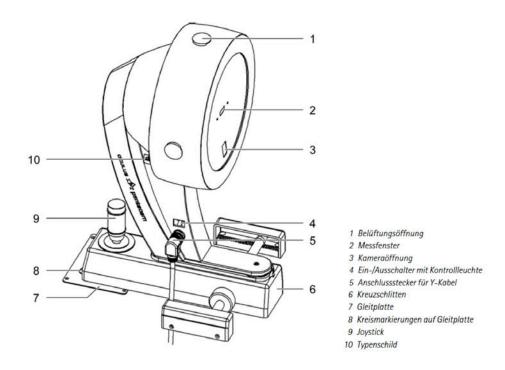


Abbildung 15 Überblick über die Gerätekomponenten der OCULUS Pentacam® (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Die OCULUS Pentacam® ist seit 2003 im klinischen Einsatz und wird heute für Glaukom- und Keratokonus-Screening sowie für Hornhaut- und Katarakt-Chirurgie eingesetzt. In zahlreichen Veröffentlichungen wurde die Relevanz der Pentacam® beschrieben, so dass sie sich in der Zwischenzeit als Goldstandard etabliert hat.

Während einer Kamerarotation um das Auge erstellt die Pentacam® Scheimpflugbilder des vorderen Augenabschnitts in verschiedenen Achslagen. Diese Aufnahmen bilden die Grundlage zur Berechnung der Höhendaten, aus denen zur Erstellung eines 3D-Modells alle Ergebnisse abgeleitet werden. Die Topographie der Hornhautvorderfläche wird über die gesamte Hornhautfläche von Limbus zu Limbus berechnet und dargestellt.

Die Messung gelingt in weniger als zwei Sekunden. In dieser Zeit werden bei der Basic-Variante bis zu 25.000 echte Höhenwerte gemessen und analysiert. Während des Messvorgangs

werden eventuelle Augenbewegungen aufgezeichnet und fließen ebenfalls in die Berechnung des 3D-Modells mit ein. Hieraus werden alle weiteren Analysen abgeleitet.⁴⁴ 45 46

Die Reproduzierbarkeit der Pentacammessungen wurde von Stavridis et al. 2015 belegt.⁴⁷

Das in dieser Arbeit verwendete Gerät ist um das Zusatzmodul CSP-Report erweitert.

5.4.2 CSP-Report

Das optional erhältliche Zusatzmodul CSP-Report ist für die OCULUS Pentacam[®] Basic und OCULUS Pentacam[®] HR verfügbar. Wie der Name bereits vermuten lässt, wird es durch dieses Modul möglich das Corneo-Skleral-Profil des vorderen Augenabschnitts zu detektieren.

Bisher bestand bei der OCULUS Pentacam[®] die Möglichkeit, die Scheiteltiefe der Kornea zu vermessen. Durch das neue Verfahren ist es nun ebenfalls möglich, die Scheiteltiefe der Sklera zu messen.

Die bisherige Herausforderung zur Ermittlung der Skleralparameter lag darin, dass bei der normalen Pentacammessung die Kornea optimal ausgeleuchtet wurde. Weil die Sklera jedoch nicht transparent ist, wird Sie bei dieser Messung überbelichtet, so dass keine verwertbaren Daten ermittelt werden können.

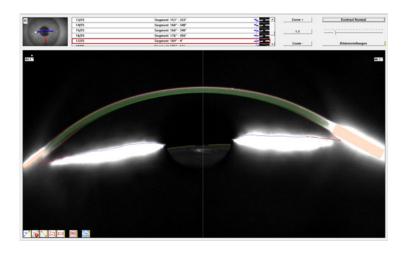


Abbildung 16 Pentacammessung (Orange = überbelichtete Sklera; Grün = optimal ausgeleuchtete Kornea)

⁴⁴ Vgl. (OCULUS Optikgeräte GmbH, 2009)

⁴⁵ Vgl. (OCULUS Optikgeräte GmbH, 2013)

⁴⁶ Vgl. (OCULUS Optikgeräte GmbH, 2012)

⁴⁷ Vgl. (Stavridis, Eppig, Szentmáry, Seitz, & Langenbucher, 2015)

Durch die Erweiterung werden neben der zentralen Hauptmessung nun vier weitere periphere Messungen durchgeführt. Diese peripheren Messungen (nasal, temporal, superior, inferior) werden mit reduzierter Belichtung durchgeführt, so dass die Kornea unterbelichtet wird, die Sklera jedoch optimal ausgeleuchtet ist.

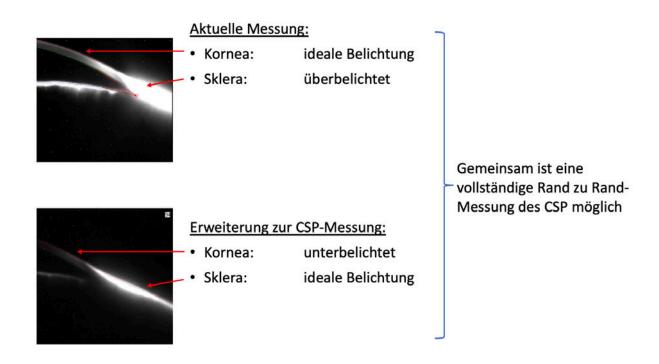


Abbildung 17 Unterschied Hauptmessung vs. CSP-Messung

Der CSP-Report fügt die insgesamt fünf Messungen zusammen und bildet sie in einem Ergebnis ab. Somit wird ein auswertbares Areal von bis zu 18,00 mm Durchmesser erreicht.

Im CSP-Report sind drei unterschiedliche Messverfahren möglich. Die in dieser Arbeit ausgewerteten Daten wurden mit dem Verfahren "CSP 5x50 Picture / 2 Sec" erfasst. Dieses Messverfahren erstellt pro Messort (zentral, temporal, nasal, superior und inferior = 5) jeweils 50 Bilder, die innerhalb von 2 Sekunden erfasst werden.

Um eine erfolgreiche Messung durchführen zu können, ist das Offenhalten der Lider während der vier peripheren Scans notwendig. Das Unterlid sollte dabei vom Probanden selbst leicht herabgezogen werden. Das Oberlid sollte vom Untersucher zum Beispiel mit einem Wattestäbchen offengehalten werden. Der Proband schaut während der gesamten Messung geradeaus. Es ist nicht notwendig periphere Testmarken anzuvisieren, um die peripheren Messungen durchzuführen. Somit können mögliche Messfehler, die sich durch

unterschiedliche Körperhaltung ergeben könnten, nahezu ausgeschlossen werden. Des Weiteren sind keine zusätzlichen Hilfsmittel wie beispielsweise Fluorescein notwendig. Um ein bestmögliches Messresultat zu erhalten und immer gleichbleibende Bedingungen für eine gute Wiederholgenauigkeit zu generieren, ist es notwendig, den Probanden während der Messung mit einem lichtundurchlässigen Tuch abzudecken.



Abbildung 18 Lidmanipulation während Messvorgangs (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Während der Gesamtmessung führt das Gerät den Nutzer durch die Einzelmessungen. Nach jeder Einzelmessung kann die Qualität und das Auswerteareal des Scans beurteilt werden. Es ist möglich den Scan anzunehmen, oder – bei unzureichender Qualität/Auswertungsareal – zu wiederholen.

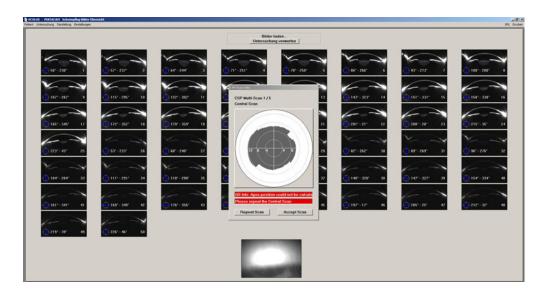


Abbildung 19 Darstellung zwischen einzelnen Messvorgängen (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Im Falle der Scanwiederholung ist es danach möglich, zwischen erstem und zweitem Scan auszuwählen oder die Messung erneut zu wiederholen.

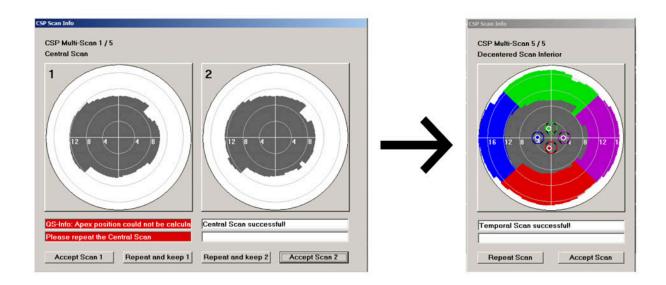


Abbildung 20 Einzelscan Auswahl (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Konnten alle fünf Scans erfolgreich durchgeführt werden, fügt das Gerät diese automatisch zusammen und generiert den CSP-Report.

In der Ergebnismaske werden im Bereich "Cornea Scleral Profile (5 Scans)" der ermittelte Übergangsbereich von Sklera über Limbus zur Kornea grafisch für 25 Schnittbilder dargestellt. Innerhalb der einzelnen Schnittbilder kann an jeder beliebigen Stelle (Auswahl per Mausklick) die für diese Stelle gültige sagittale Tiefe angezeigt werden.

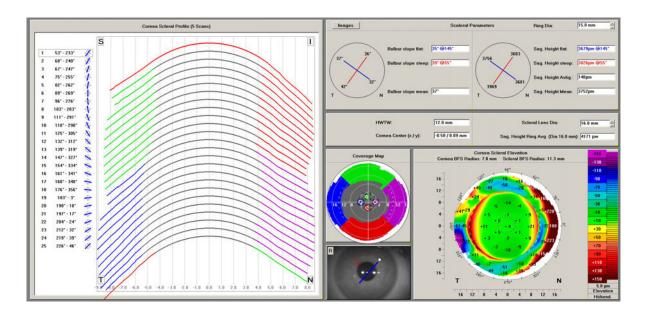


Abbildung 21 Ergebnisauswertung CSP-Report (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Im Bereich "Scleral Parameters" werden am manuell eingestellten Durchmesser der Winkel und die Scheiteltiefe für flachen und steilen Meridian angezeigt.

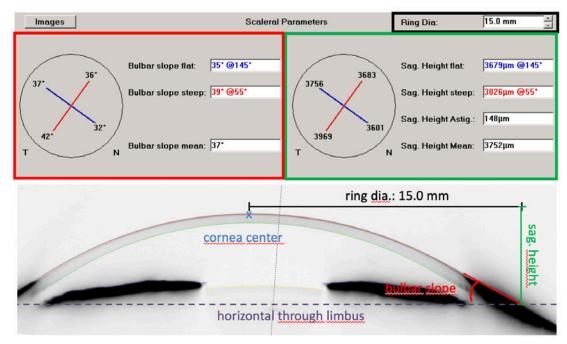


Abbildung 22 Skleral Parameter (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Im Bereich "Cornea Scleral Elevation" wird sichtbar, auf welcher Fläche der vordere Augenabschnitt ausgewertet werden konnte. Mit der Bezeichnung "Cornea BFS Radius" bzw. "Scleral BFS Radius" wird der jeweils bestpassendste sphärische Radius für Kornea bzw. Sklera angegeben. Die Farbskala gibt die Abweichung vom BFS Radius wider. Verläuft das Augenmodell oberhalb des BFS, ergibt sich ein positiver Wert und umgekehrt.

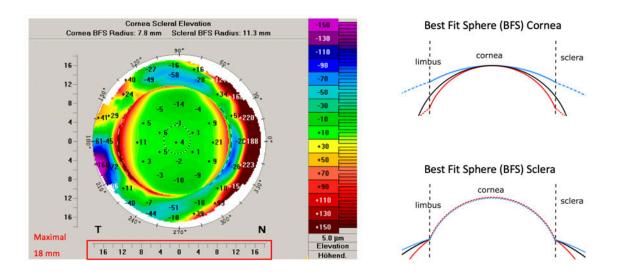


Abbildung 23 Kornea Sklerale Höhendarstellung (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)

Christine Sindt⁴⁸ beschreibt in Ihrer Arbeit die gute Wiederholgenauigkeit der CSP-Software, sowie ähnliche Resultate im Vergleich zu Ergebnissen, die mittels eines Abdruckverfahrens vom vorderen Augenabschnitt ermittelt wurden. Lediglich der Durchmesser des Limbusbereich wurde von der CSP-Software stets kleiner $(0,25\pm0,132 \text{ mm})$ detektiert als sich durch die manuelle Messung am gleichen Scan ergab.

Diese Problematik lässt sich dadurch erklären, dass die Pentacam® bzw. der CSP-Report lediglich den horizontalen sichtbaren Hornhautdurmesser (horizontal white to white = HWTW) erkennen kann. Der Anfang bzw. das Ende des Limbus Areals kann zurzeit nicht festgelegt, sondern lediglich angenommen werden.

5.4.3 Augendaten-Analyse

Das Programm "Augendaten-Analyse" wurde im Auftrag der Firma HECHT Contactlinsen GmbH von einem Diplom-Mathematiker speziell für die Analyse der im CSP-Report ermittelten Daten geschrieben.

Die Software greift auf die vom CSP-Report ermittelten Messdaten im CSV-Format zurück. Durch eine Vorauswahl ist die Ausgabe in Pfeilhöhe oder Winkel für die Durchmesser d1 = 10,00 mm, d2 = 12,80 mm und d3 = 15,00 mm möglich. Ebenfalls ist auswählbar, ob die Auswertung in den acht Halbmeridianen (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) oder den vier Hauptmeridianen (Flach 1 und 2, Steil 1 und 2) nach der Achslage des flachen und steilen Hornhautradius ausgegeben werden soll. Dies wird ebenfalls aus der Höhenmatrix in der CSV-Datei berechnet.

-

⁴⁸ Vgl. (Sindt, Lay, & Danno, 2018)

5.5 Statistische Grundlagen

Die ermittelten Daten werden mittels Microsoft Excel 2016 und SPSS® Statistics (Version 24) der Firma IBM ausgewertet und analysiert. Werden Merkmale miteinander verglichen, so erfolgt dies stets anhand des Mittelwerts μ und der Standardabweichung σ für die Grundgesamtheit. Die erhobenen Daten stellen jeweils nur eine Teilmenge der Grundgesamtheit und somit eine Stichprobe dar. Deswegen resultieren aus dem Mittelwert \bar{x} und der Standardabweichung s_x der Stichprobe lediglich Schätzwerte für die Grundgesamtheit μ und σ . Je größer der Umfang der Stichprobe n ist, desto zuverlässiger können Rückschlüsse aus den Schätzwerten auf die Grundgesamtheit gezogen werden.

In der Statistik unterscheidet man zwei Teilbereiche. Die deskriptive Statistik dient zur Beschreibung, die induktive Statistik zur Schlussfolgerung der analysierten Daten.

Nachfolgend werden die Teilbereiche der Statistik, sowie die verwendeten Kenngrößen und Prüfverfahren für die Auswertung näher beschrieben.

5.5.1 Deskriptive Statistik

Im Rahmen der deskriptiven Statistik werden Daten empirisch erhobenen, aufbereitet, beschrieben und analysiert. Anhand von geeigneten Kenngrößen, wie Lage- und Streumaße, werden die einzelnen Stichproben quantitativ beschrieben. Somit können Strukturen und Zusammenhänge im Datenmaterial entdeckt werden, so dass es möglich wird methodisch die weitere Bearbeitung planen und bereitstellen zu können. Eine Aussage bzgl. Signifikanz wird hier noch nicht getroffen.⁴⁹

_

⁴⁹ Vgl. (Cramer & Kamps, 2020)

5.5.1.1 Lage- und Streumaße^{50 51}

Median oder Zentralwert \tilde{x}

Der Median liegt immer im Zentrum der Messdaten und teilt den Datensatz in zwei Hälften. Es sind also mindestens 50% aller Beobachtungswerte kleiner oder gleich \tilde{x} beziehungsweise größer oder gleich \tilde{x} . Es gelten unterschiedliche Formeln, je nachdem ob Stichprobenzahl n gerade oder ungerade ist.

gerade Stichprobenzahl n:

$$\tilde{x} = \frac{1}{2} \left(x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2} + 1\right)} \right) \tag{1}$$

ungerade Stichprobenzahl n:

$$\tilde{x} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \tag{2}$$

Quartilsabstand Q

Weniger empfindlich auf Ausreißer ist der Quartilsabstand Q. Er umfasst die mittleren 50% des Datenbereichs und wird berechnet aus der Differenz des oberen Quartils (0,75-Quantil) und dem unteren Quartil (0,25-Quantil) der Daten.

$$Q = \tilde{x}_{0,75} - \tilde{x}_{0,25} \tag{3}$$

⁵⁰ Vgl. (Cramer & Kamps, 2020) Kapitel A3

⁵¹ Vgl. (Bärtl, 2017)

Arithmetisches Mittel \bar{x}

Das arithmetische Mittel \bar{x} ist die Summe aller Messwerte, dividiert durch die Anzahl n aller Messwerte.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \tag{4}$$

Spannweite R

Die Spannweite *R* beschreibt die Differenz zwischen größtem und kleinstem Messwert. Ausreißer haben einen direkten Einfluss auf diesen Wert und können den Eindruck über die Datenstreuung stark verfälschen.

$$R = x_{max} - x_{min} \tag{5}$$

Varianz s_x^2

Eine präzisere Darstellung des Streumaßes der Messwerte spiegelt die Varianz wieder. Sie wird gebildet mit der Summe aller quadrierten Differenzen aus den Messwerten mit dem arithmetischen Mittel dividiert durch die Anzahl *n* aller Messwerte.

$$s_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \tag{6}$$

Standardabweichung s_x

Durch das Quadrieren erhält die Varianz eine andere Einheit als die Stichprobe. Es kommt so zu einem Missverhältnis zwischen Varianz und den eigentlichen Messwerten, wodurch Sie schwer zu interpretieren ist. Anschaulicher ist die Standardabweichung s_x , bei der zusätzlich die Wurzel aus der Varianz gezogen wird.

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$$
 (7)

<u>Variationskoeffizient v</u>

Um die Standardabweichung s_x ins Verhältnis zum arithmetischen Mittel \bar{x} zu stellen, wird der Variationskoeffizient v gebildet.

$$v = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}}$$
 (8)

Boxplots

Der Boxplot dient dazu einige der vorhergehend beschriebenen Parameter visuell darzustellen. So ist es auf einfachem Weg möglich, Lage und Streuung eines Datensatzes mit weiteren Datensätzen zu vergleichen.

Cramer und Kamps⁵² beschreiben ihn in Ihrem Buch folgendermaßen: "Ein Boxplot besteht aus einem Kasten ("box") und zwei Linien ("whiskers"), die links und rechts von diesem Kasten wegführen. Basisvariante des Boxplots werden der linke Rand des Kastens durch das untere Quartile $x_{0,25}$, der rechte Rand durch das obere Quartile $x_{0,75}$ festgelegt. Der Abstand zwischen dem linken und rechten Rand des Kastens ist somit gleich dem Quartilsabstand Q. Im Innern des Kastens wird der Median \tilde{x} der Beobachtungswerte markiert. Der linke Whisker endet beim Minimum x_{min} des Datensatzes, der rechte beim Maximum x_{max} . Der Abstand zwischen den beiden äußeren Enden der Linien ist daher durch die Spannweite gegeben." Um durch Ausreißer keine stark verfälschte Spannweite zu erhalten, wurde von John W. Tukey definiert, dass die Whisker eine 1,5-malige Länge der Box nicht überschreiten. Daten außerhalb dieses Bereichs werden als Ausreißer definiert.

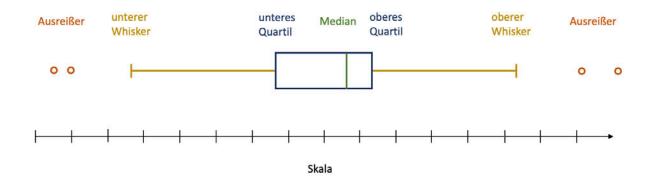


Abbildung 24 Illustration eines Boxplots

_

⁵² Vgl. (Cramer & Kamps, 2020) S. 41

Eine Zusammenfassung der einzelnen Kennwerte ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Kennwerte eines Boxplots

Kennwert	Definition	Position im Boxplot
Minimum	Kleinster Datenwert im Datensatz	Ende eines Whiskers oder entferntester Ausreißer
Unteres Quartil	Die kleinsten 25% der Datenwerte sind kleiner als dieser oder gleich diesem Wert	Beginn der Box
Median	Die kleinsten 50% der Datenwerte sind kleiner als dieser oder gleich diesem Wert	Strich innerhalb Box
Oberes Quartil	Die kleinsten 75% der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Wert	Ende der Box
Maximum	Größter Datenwert des Datensatzes	Ende eines Whiskers oder entferntester Ausreißer
Spannweite	Gesamter Wertebereich des Datensatzes	Länge des gesamten Boxplots (inklusive Ausreißer)
Interquartilsabstand	Wertebereich, in dem sich die mittleren 50% der Daten befinden	Ausdehnung der Box

5.5.1.2 Normalverteilung

Die wichtigste Voraussetzung um statistische Verfahren durchführen zu können, ist die annähernde Normalverteilung der vorhandenen Daten. Sie beschreibt die Streuung um einen Mittelwert. Sie wird theoretisch und nicht empirisch ermittelt. Somit wird die Verteilung einer Grundgesamtheit und nicht die der Stichprobe beschrieben. Die Standardabweichung σ beschreibt die Breite der Normalverteilung. Es gilt folgende Formel für die Normalverteilung:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$
(9)

In Abbildung 25 ist die Normalverteilung grafisch dargestellt. Aufgrund ihres charakteristischen Aussehens wird sie häufig auch Glockenkurve genannt.

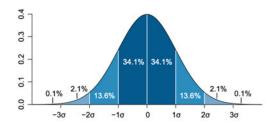


Abbildung 25 Grafische Darstellung der Normalverteilung inkl. Standardabweichung (Quelle: M. W. Toews, 2007)

Das zentrale Grenzwerttheorem sagt aus, dass die Verteilung von Mittelwerten aus Stichproben, deren Umfang n \geq 30 ist, einer Normalverteilung entspricht.⁵³

Obwohl das für diese Arbeit zutreffend ist, wird trotzdem die Stichprobe auf Normalverteilung überprüft. Dies geschieht mittels Shapiro-Wilk-Test.

5.5.2 Induktive Statistik

5.5.2.1 Signifikanzniveau lpha

Das Signifikanzniveau α spiegelt die Irrtumswahrscheinlichkeit jedes Signifikanztests wieder. Es gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass die Nullhypothese verworfen wird, obwohl Sie richtig ist. In diesem Fall spricht man vom Alpha-Fehler. Um das Risiko für das Auftreten dieses Fehlers möglichst gering zu halten, wird ein niedriges Signifikanzniveau ausgewählt.

Die Irrtumswahrscheinlichkeiten α bzw. p können Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2 Signifikanzniveau (Quelle: Buser, 2004)

Irrtumswahrsc	Bezeichnung	
α>5%	p > 0,05	Nicht signifikant
α≤5%	p ≤ 0,05	Signifikant
α≤1%	p ≤ 0,01	Sehr signifikant
α≤0,1%	p ≤ 0,001	Höchst signifikant

In dieser Arbeit wird mit dem konventionellen Signifikanzniveau α = 0,05 gearbeitet.

_

⁵³ Vgl. (Döring & Bortz, 2016) S. 641

5.5.2.2 Berechnung der Effektstärke

Effektstärken werden berechnet um beurteilen zu können, wie bedeutsam ein Ergebnis ist. Häufig ergeben sich signifikante Unterschiede in den Mittelwerten, es muss jedoch die Frage gestellt werden, ob sie groß genug sind, um als bedeutend bewertet werden zu können. Es gibt unterschiedliche Arten, um die Effektstärke zu vergleichen. Die bekanntesten Varianten sind der Korrelationskoeffizient (r) von Pearson und die Effektstärke von Cohen (d).

In dieser Arbeit wird mit der Effektstärke von Cohen gearbeitet (1992).

Um die Effektstärke ermitteln zu können, wird das partielle Eta-Quadrat benötigt. Die Effektstärke befindet sich immer im Bereich zwischen Null und Unendlich.

$$f = \sqrt{\frac{\eta_p^2}{1 - \eta_p^2}} \tag{10}$$

f = Effektstärke nach Cohen

 η_p^2 = partielles Eta-Quadrat

Anhand der Einteilung von Cohen (1988) kann bewertet werden, wie groß der jeweilige Effekt ist:

f = 0,10 entspricht einem **schwachen** Effekt

f = 0,25 entspricht einem **mittleren** Effekt

f = 0,40 entspricht einem **starken** Effekt

5.5.2.3 Mehrfaktorielle ANOVA⁵⁴

Mit Hilfe der mehrfaktoriellen ANOVA (Analysis of variance) ist es möglich, mehrere unabhängige Stichproben miteinander zu vergleichen. Ähnlich dem t-Test werden bei der ANOVA Mittelwerte einer Variablen in verschiedenen Faktorstufen auf Ihre Signifikanz getestet.

Der wesentliche Unterschied zwischen t-Test und ANOVA besteht darin, dass beim t-Test lediglich zwei Mittelwerte miteinander verglichen werden können, bei der ANOVA werden Mittelwerte > 2 miteinander verglichen. Die mehrfaktorielle ANOVA überprüft zusätzlich die Mittelwerte mehrerer unabhängiger Stichproben in unterschiedlichen Gruppen auf Interaktionseffekte.

Bei der mehrfaktoriellen ANOVA wird die abhängige Variable zerlegt. Die Gesamtvarianz besteht aus der "Varianz innerhalb der Gruppen" und der "Varianz zwischen den Gruppen". Diese Varianz zwischen den Gruppen wird bei der mehrfaktoriellen Varianzanalyse weiter aufgegliedert: in die Varianz der einzelnen Faktoren und die Varianz der Interaktionen der Faktoren. Es wird also die Varianz zwischen den Gruppen mit der Varianz innerhalb der Gruppen verglichen.

Eine statistisch signifikante ANOVA sagt lediglich aus, dass sich mindestens zwei Faktorstufen statistisch voneinander unterscheiden. Sie sagt jedoch nicht aus, welche das sind. Erst mit dem Post-Hoc Test führt sie multiple Vergleichstests zwischen den betrachteten Gruppen durch.

In dieser Thesis wird die mehrfaktorielle ANOVA mit Bonferroni Post-Hoc-Test dazu genutzt um die Scheiteltiefe der 8 unterschiedlichen Meridiane innerhalb der einzelnen Durchmesser auf Signifikanz zu überprüfen. Zusätzlich wird analysiert, ob es einen signifikanten Zusammenhang der Scheiteltiefen eines Meridians zwischen den unterschiedlichen Durchmessern gibt.

Die gleichen Faktorstufen werden in einer zweiten mehrfaktoriellen ANOVA mit Bonferroni Post-Hoc-Test auf Signifikanz bezüglich der Winkel überprüft.

_

⁵⁴ Vgl. (UZH, Universität Zürich, 2020; OCULUS Optikgeräte GmbH, 2012)

Für die mehrfaktorielle ANOVA der Scheiteltiefe gilt folgende Nullhypothese H0 und Gegenhypothese H1:

HO: Die unterschiedlichen Scheiteltiefen unterscheiden sich nur zufällig. Es besteht kein signifikanter Unterschied.

H1: Die unterschiedlichen Scheiteltiefen unterscheiden sich nicht nur zufällig. Es besteht ein signifikanter Unterschied.

Die Nullhypothese H0 besagt, dass keine Unterschiede vorliegen. Die Alternativhypothese H1 sagt aus, dass Unterschiede vorliegen.

Ebenso gilt für die mehrfaktorielle ANOVA der Winkel folgende Nullhypothese H0 und Gegenhypothese H1:

HO: Die unterschiedlichen Winkel unterscheiden sich nur zufällig. Es besteht kein signifikanter Unterschied.

H1: Die unterschiedlichen Winkel unterscheiden sich nicht nur zufällig. Es besteht ein signifikanter Unterschied.

Die Nullhypothese H0 besagt, dass keine Unterschiede vorliegen. Die Alternativhypothese H1 sagt aus, dass Unterschiede vorliegen.

6 Ergebnisse

6.1 Deskriptive Statistik

6.1.1 Ergebnistabelle Scheiteltiefe

Tabelle 3 Ergebnistabelle Scheiteltiefe

Scheiteltiefe

Durchmesser	Meridian	Anzahl (n)	Mittelwert (µm)	±SD	Minimum (µm)	Maximum (µm)
10 mm	nasal	74	1806	80	1641	2105
	nasal superior	74	1778	85	1524	2078
	superior	74	1806	104	1477	2129
	temporal superior	74	1751	93	1489	2008
	temporal	73	1750	75	1624	1957
	temporal inferior	74	1734	88	1574	2032
	inferior	74	1795	98	1592	2085
	nasal inferior	74	1768	88	1598	2009
	Gesamt	590	1774	93		
12,8 mm	nasal	74	2873	165	2450	3343
	nasal superior	74	2797	152	2421	3166
	superior	74	2802	158	2368	3330
	temporal superior	74	2840	155	2398	3268
	temporal	74	2953	168	2641	3551
	temporal inferior	74	3000	174	2702	3533
	inferior	74	2995	164	2661	3475
	nasal inferior	74	2939	157	2575	3336
	Gesamt	592	2900	178		
15 mm	nasal	74	3632	228	2807	4130
	nasal superior	73	3595	201	3151	4120
	superior	74	3643	240	3000	4308
	temporal superior	74	3768	211	3146	4249
	temporal	74	3944	245	3435	4627
	temporal inferior	74	4033	247	3579	4751
	inferior	74	3936	224	3422	4489
	nasal inferior	74	3782	204	3270	4236
	Gesamt	591	3792	272		

6.1.2 Ergebnisübersicht Scheiteltiefe

OI

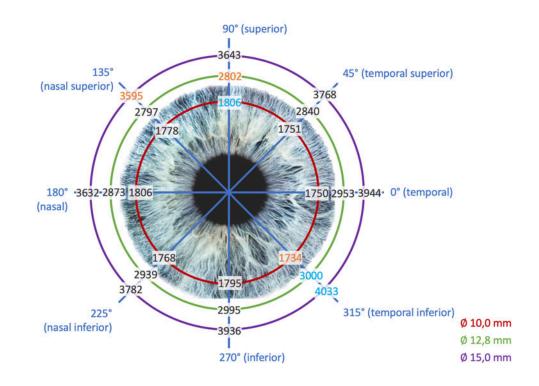


Abbildung 26 Ergebnisüberblick Scheiteltiefe (μm)

6.1.3 Ergebnistabelle Winkel

Tabelle 4 Ergebnistabelle Winkel

Winkel (Grad)

Durchmesser	Meridian	Anzahl (n)	Mittelwert (Grad)	±SD	Minimum (Grad)	Maximum (Grad)
		` '	(/		(/	(/
Limbalwinkel	nasal	70	37,57	2,65	31,32	41,89
(12,80 mm)	nasal superior	74	35,97	2,64	27,37	41,67
	superior	71	35,68	2,61	30,41	44,62
	temporal superior	74	37,79	2,55	31,75	42,87
	temporal	74	40,48	2,45	35,77	46,28
	temporal inferior	74	42,02	2,44	37,21	48,36
	inferior	73	40,64	2,05	34,96	44,96
	nasal inferior	72	40,02	2,11	33,31	44,54
	Gesamt	582	38,79	3,27		
Skleralwinkel	nasal	73	34,71	2,72	29,12	40,64
(15,00 mm)	nasal superior	73	35,83	2,94	29,66	43,99
	superior	72	37,19	2,78	31,08	45,79
	temporal superior	74	40,05	2,47	34,23	48,26
	temporal	74	41,92	2,71	35,83	47,35
	temporal inferior	74	43,11	2,49	37,62	47,92
	inferior	74	40,45	2,31	34,67	46,14
	nasal inferior	74	37,41	2,16	32,28	44,03
	Gesamt	588	38,85	3,80		

6.1.4 Ergebnisübersicht Winkel

OI

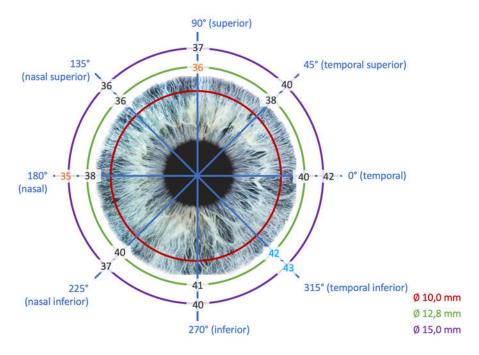


Abbildung 27 Ergebnisüberblick Winkel (°)

6.1.5 Boxplot

6.1.5.1 Scheiteltiefe (sagH) bei Durchmesser 10,00 mm

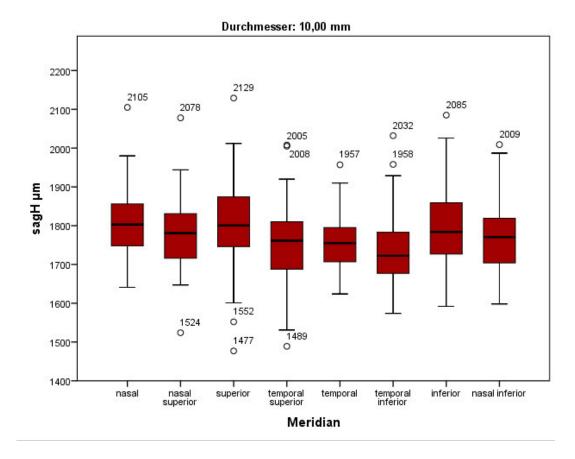


Abbildung 28 Boxplot Scheiteltiefe der einzelnen Meridiane bei 10,00 mm

Der Boxplot für Durchmesser 10,00 mm veranschaulicht, wie nah sich die Scheiteltiefen der einzelnen Meridiane in diesem Durchmesser liegen. Die Mediane liegen hier für alle Meridiane zwischen 1700 μ m und 1800 μ m. Die temporalen Meridiane zeigen tendenziell kleinere Scheiteltiefen als die nasalen Meridiane.

6.1.5.2 Scheiteltiefe (sagH) bei Durchmesser 12,80 mm

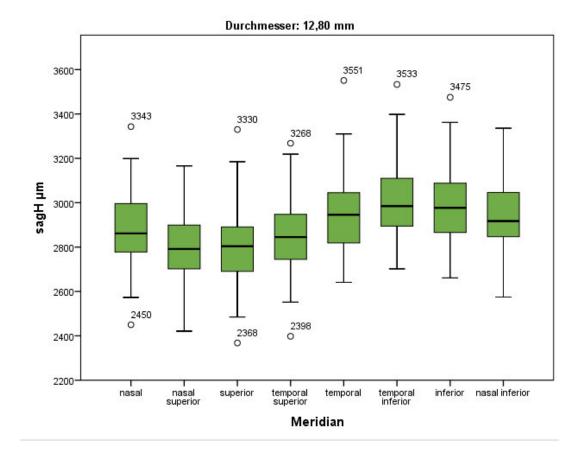


Abbildung 29 Boxplot Scheiteltiefe der einzelnen Meridiane bei 12,80 mm

Der Boxplot für Durchmesser 12,80 mm zeigt, dass sich die Scheiteltiefen der einzelnen Meridiane in diesem Durchmesser mehr als beim kleineren Durchmesser unterscheiden. Die Mediane liegen hier für alle Meridiane im Bereich von 2800 μ m bis 3000 μ m. Die temporalen Meridiane zeigen tendenziell größere Scheiteltiefen (ca. 60 μ m) als die nasalen Meridiane. Die gesamte Standardabweichung aller Meridiane bei 12,80 mm ist mit 178 μ m ca. doppelt so groß, wie bei dem Durchmesser 10,00 mm.

6.1.5.3 Scheiteltiefe (sagH) bei Durchmesser 15,00 mm

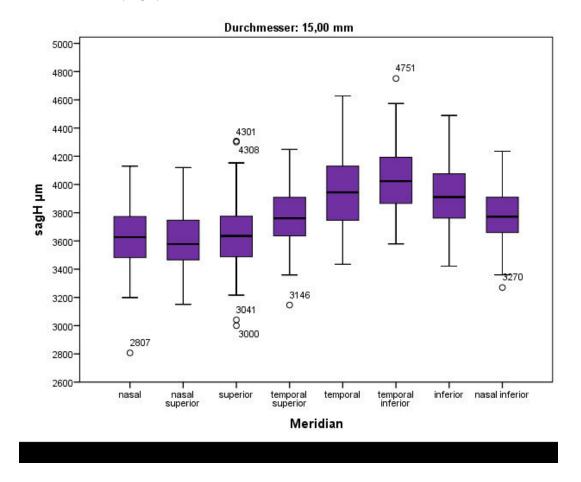


Abbildung 30 Boxplot Scheiteltiefe der einzelnen Meridiane bei 15,00 mm

Der Boxplot für Durchmesser 15,00 mm zeigt, dass die Scheiteltiefen der einzelnen Meridiane im Bereich um 3600 μ m bis 4000 μ m liegen und somit die größten Unterschiede der einzelnen Meridiane im Vergleich zu den beiden anderen Durchmessern zeigt. Auch liefert die Standardabweichung insgesamt für diesen Durchmesser mit 272 μ m die größte Streuung. Die unterschiedliche Scheiteltiefe zwischen temporalen und nasalen Meridianen nimmt weiter zu (ca. 245 μ m).

6.1.5.4 Limbalwinkel (Grad) bei Durchmesser 12,80 mm

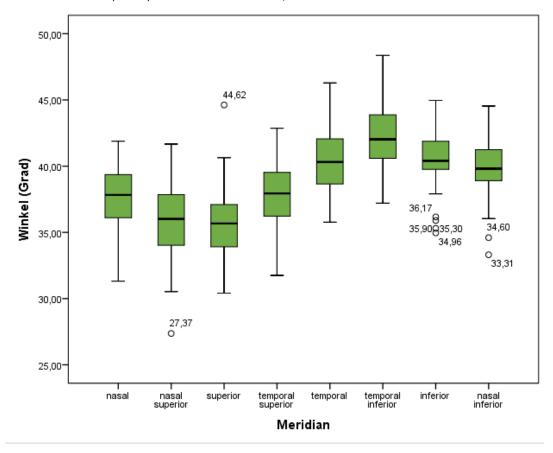


Abbildung 31 Boxplot Limbalwinkel der einzelnen Meridiane

Der Boxplot für den Limbalwinkel bei 12,80 mm spiegelt eine ähnliche Größenverteilung der einzelnen Winkel pro Meridian wie die Scheiteltiefe beim gleichen Durchmesser wieder. Dort, wo der Median der Scheiteltiefe groß ist, ist auch der Median des Limbalwinkel groß und umgekehrt. Die Mediane des Limbalwinkels liegen hier für alle Meridiane zwischen 35° und 42°. Die Standardabweichung aller Meridiane ist mit 2,4° sehr gering. Auffällig ist, dass es im Bereich *inferior* und *inferior nasal* vermehrt zu Ausreißern kommt.

6.1.5.5 Skleralwinkel (Grad) bei Durchmesser 15,00 mm

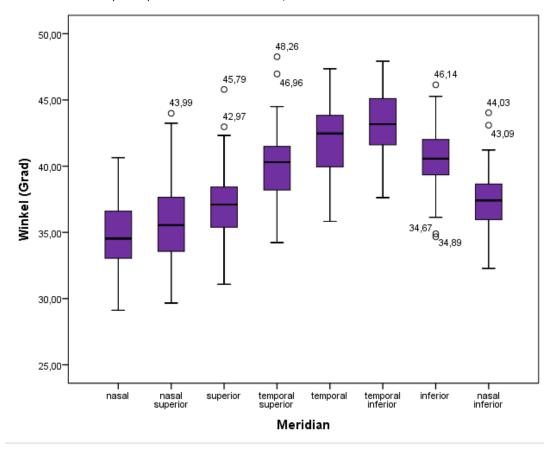


Abbildung 32 Boxplot Skleralwinkel der einzelnen Meridiane

Auch der Boxplot für den Skleralwinkel bei 15,00 mm zeigt eine ähnliche Größenverteilung der einzelnen Winkel pro Meridian wie die Scheiteltiefe beim gleichen Durchmesser. Dort, wo der Median der Scheiteltiefe groß ist, ist auch der Median des Skleralwinkel groß und umgekehrt. Die Mediane des Skleralwinkel liegen hier für alle Meridiane zwischen 34° und 43°. Die Standardabweichung aller Meridiane ist mit 2,6° sehr gering. Auffällig ist, dass es im Bereich *inferior* und *inferior nasal* vermehrt zu Ausreißern kommt. Generell unterscheiden sich die Werte zwischen Skleral- und Limbalwinkel kaum.

6.1.6 Prüfung auf Normalverteilung

6.1.6.1 Shapiro-Wilk Test

Tabelle 5 Shapiro Wilk Test Scheiteltiefe

Tests auf Normalverteilung Scheiteltiefe

	ivertending Scheiteitiele		Shapiro-Wil	k
Durchmesser	Median	Statistik	df	Signifikanz
10,00 mm	nasal	0,971	74	0,081
	nasal superior	0,973	74	0,122
	superior	0,975	74	0,149
	temporal superior	0,977	74	0,198
	temporal	0,971	73	0,092
	temporal inferior	0,969	74	0,063
	inferior	0,969	74	0,066
	nasal inferior	0,972	74	0,106
12,80 mm	nasal	0,993	74	0,949
	nasal superior	0,996	74	0,999
	superior	0,984	74	0,449
	temporal superior	0,989	74	0,789
	temporal	0,975	74	0,140
	temporal inferior	0,970	74	0,080
	inferior	0,979	74	0,241
	nasal inferior	0,987	74	0,645
15,00 mm	nasal	0,980	74	0,276
	nasal superior	0,992	73	0,921
	superior	0,974	74	0,129
	temporal superior	0,989	74	0,780
	temporal	0,989	74	0,751
	temporal inferior	0,980	74	0,308
	inferior	0,988	74	0,726
	nasal inferior	0,988	74	0,702

S gn f kanzkorrektur nach L efors

Um eine Normalverteilung zu erhalten, musste bei der Variablen *10 mm temporal* der größte Ausreißer (2104µm) von der Analyse ausgeschlossen. Bei *15 mm nasal superior* ermittelte das Gerät bei einem Probanden keinen Messwert, so dass lediglich 73 Messdaten für diese Variable analysiert werden konnten.

Tabelle 6 Shapiro Wilk Test Limbal- und Skleralwinkel

Tests auf Normalverteilung Limbal- und Skleralwinkel

Durchmesser	Median		Shapiro-W	ilk
Durchinesser	Wicdian	Statistik	df	Signifikanz
Limbalwinkel	nasal	0,967	70	0,059
(12,80 mm)	nasal superior	0,984	74	0,479
	superior	0,977	71	0,227
	temporal superior	0,988	74	0,721
	temporal	0,986	74	0,570
	temporal inferior	0,987	74	0,665
	inferior	0,972	73	0,102
	nasal inferior	0,977	72	0,209
Skleralwinkel	nasal	0,983	73	0,415
(15,00 mm)	nasal superior	0,978	73	0,246
	superior	0,974	72	0,141
	temporal superior	0,974	74	0,131
	termporal	0,980	74	0,286
	temporal inferior	0,979	74	0,249
	inferior	0,988	74	0,710
	nasal inferior	0,986	74	0,568

S gn f kanzkorrektur nach L efors

Um eine Normalverteilung zu erhalten, mussten bei mehreren Meridianen (*Limbalwinkel nasal, superior, inferior und nasal-inferior* sowie *Skleralwinkel nasal* und *superior*) die größten Ausreißer von der Analyse ausgeschlossen werden. Die Ausreißer, die auf die Normalverteilung keinen Einfluss hatten, sind in der Stichprobe eingeschlossen.

6.2 Induktive Statistik

6.2.1 Scheiteltiefe - Mehrfaktorielle Varianzanalyse

Für die mehrfaktorielle Varianzanalyse erfüllt die abhängige Variable *Scheiteltiefe* alle Bedingungen. Lediglich die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen ist gemäß dem Levene-Test für alle Variablen verletzt (p< 0,05). Dies bedeutet, dass die Daten keine Varianzhomogenität zeigen. Da die Stichprobengröße von n=74 jedoch groß ist, ist auch die ANOVA robust, weswegen diese Verletzung der Grundvoraussetzung vernachlässigt werden kann. Aufgrund ungleicher Varianz wird als Post-Hoc-Test der Bonferroni-Test genutzt.

Tabelle 7 Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable: sagH µm

F	df1	df2	Sig.
15,029	23	1749	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Durchmesser + Meridian + Durchmesser * Meridian

Tabelle 8 Tests der Zwischensubjekteffekte Scheiteltiefe

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhäng ge Var ab e:	sagH µm					
Que e	Quadratsumme vom Typ III	df	M tte der Quadrate	F	S g.	Part e es Eta- Quadrat
Korr g ertes Mode	1225883961,00ª	23	53299302,66	1878,04	0,000	0,961
Konstanter Term	14116657306,11	1	14116657306,11	497411,33	0,000	0,996
Durchmesser	1207591105,32	2	603795552,66	21275,20	0,000	0,961
Mer d an	8881772,85	7	1268824,69	44,71	0,000	0,152
Durchmesser * Mer d an	8996889,59	14	642634,97	22,64	0,000	0,153
Feh er	49637055,33	1749	28380,25			
Gesamt	15399936201,00	1773				
Korr g erte Gesamtvar at on	1275521016,54	1772				

a. R-Quadrat = ,961 (korr g ertes R-Quadrat = ,961)

Es zeigt sich, dass das Gesamtmodell signifikant ist. ($F_{(23,1749)} = 1878$, p = 0,000, angepasstes R² = 0,961, n =1773). Wie zu erwarten zeigt sich, dass sich je nach Durchmesser unterschiedliche Scheiteltiefen ergeben ($F_{(2,1749)} = 21275$, p = 0,000, partielles Eta-Quadrat = 0,961). Ebenfalls ergeben sich je nach Meridian unterschiedliche Scheiteltiefen ($F_{(7,1749)} = 45$, p = 0,000, partielles Eta-Quadrat = 0,152).

6.2.1.1 Bonferroni Post-Hoc Test Durchmesser (Scheiteltiefe)

Tabelle 9 Bonferroni Post-Hoc Test für Durchmesser

Multiple Comparisons

Abhängige Variab	ole: sagH µm					
Bonferroni						
(I)Durahmasaar		Mittlere Differenz	Standardfehler	Cia	95%-Konfide	enzintervall
(I)Durchmesser		(I-J)	Standardieniei	Sig.	Untergrenze	Obergrenze
	12,8 mm	-1126,13*	9,800	0,000	-1149,61	-1102,65
10 mm	15 mm	-2018,28*	9,804	0,000	-2041,77	-1994,78
10.0 mm	10 mm	1126,13 [*]	9,800	0,000	1102,65	1149,61
12,8 mm	15 mm	-892,15 [*]	9,796	0,000	-915,62	-868,67
15 mm	10 mm	2018,28*	9,804	0,000	1994,78	2041,77
	12,8 mm	892,15 [*]	9,796	0,000	868,67	915,62

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 28380,249.

Bonferroni-korrigierte Post-Hoc Tests zeigen, dass sich alle drei Durchmesser signifikant voneinander unterscheiden (p<0,05): 10,00 mm (M=1774, SD=92,7), 12,80 mm (M=2900, SD=178,4) und 15,00 mm (M=3792, SD=272).

^{*.} Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

6.2.1.2 Bonferroni Post-Hoc Test Meridian (Scheiteltiefe)

Tabelle 10 Bonferroni Post-Hoc Test für Meridiane

Multiple Comparisons

Abhängige V	/ariable:sagH μm					
Bonferroni						
(I)Meridian		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfid Untergrenze	
	nasal superior	50,89 [*]	16,008	0,042	0,81	100,98
	superior	19,60	15,990	1,000	-30,42	69,63
	temporal superior	-15,66	15,990	1,000	-65,69	34,36
nasal	temporal	-117,15 [*]	16,008	0,000	-167,23	-67,07
	temporal inferior	-151,97 [*]	15,990	0,000	-201,99	-101,94
	inferior	-143,69 [*]	16,008	0,000	-193,78	-93,61
	nasal inferior	-59,55 [*]	15,990	0,006	-109,57	-9,52
	nasal	-50,89 [*]	16,008	0,042	-100,98	-0,81
	superior	-31,29	16,008	1,000	-81,37	18,79
	temporal superior	-66,56*	16,008	0,001	-116,64	-16,47
nasal superior	temporal	-168,05 [*]	16,026	0,000	-218,18	-117,91
Superior	temporal inferior	-202,86 [*]	16,008	0,000	-252,94	-152,78
	inferior	-194,59 [*]	16,026	0,000	-244,73	-144,45
	nasal inferior	-110,44 [*]	16,008	0,000	-160,52	-60,36
	nasal	-19,60	15,990	1,000	-69,63	30,42
	nasal superior	31,29	16,008	1,000	-18,79	81,37
	temporal superior	-35,27	15,990	0,771	-85,29	14,76
superior	temporal	-136,75 [*]	16,008	0,000	-186,84	-86,67
	temporal inferior	-171,57 [*]	15,990	0,000	-221,60	-121,55
	inferior	-163,30*	16,008	0,000	-213,38	-113,22
	nasal inferior	-79,15 [*]	15,990	0,000	-129,17	-29,12
	nasal	15,66	15,990	1,000	-34,36	65,69
	nasal superior	66,56 [*]	16,008	0,001	16,47	116,64
	superior	35,27	15,990	0,771	-14,76	85,29
temporal superior	temporal	-101,49*	16,008	0,000	-151,57	-51,41
- 5-10-1	temporal inferior	-136,31 [*]	15,990	0,000	-186,33	-86,28
	inferior	-128,03 [*]	16,008	0,000	-178,11	-77,95
	nasal inferior	-43,88	15,990	0,171	-93,91	6,14

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: sagH µm

Bonferroni

Mittlere 95%-Konfid

Bonferroni		Mittlere			95%-Konfid	95%-Konfidenzintervall		
(I)Meridian		Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	Untergrenze	Obergrenze		
	nasal	117,15*	16,008	0,000	67,07	167,23		
	nasal superior	168,05*	16,026	0,000	117,91	218,18		
	superior	136,75*	16,008	0,000	86,67	186,84		
temporal	temporal superior	101,49*	16,008	0,000	51,41	151,57		
	temporal inferior	-34,82	16,008	0,833	-84,90	15,26		
	inferior	-26,54	16,026	1,000	-76,68	23,60		
	nasal inferior	57,61 [*]	16,008	0,009	7,52	107,69		
	nasal	151,97 [*]	15,990	0,000	101,94	201,99		
	nasal superior	202,86*	16,008	0,000	152,78	252,94		
,	superior	171,57*	15,990	0,000	121,55	221,60		
temporal inferior	temporal superior	136,31*	15,990	0,000	86,28	186,33		
	temporal	34,82	16,008	0,833	-15,26	84,90		
	inferior	8,27	16,008	1,000	-41,81	58,36		
	nasal inferior	92,42*	15,990	0,000	42,40	142,45		
	nasal	143,69 [*]	16,008	0,000	93,61	193,78		
	nasal superior	194,59 [*]	16,026	0,000	144,45	244,73		
	superior	163,30 [*]	16,008	0,000	113,22	213,38		
inferior	temporal superior	128,03*	16,008	0,000	77,95	178,11		
	temporal	26,54	16,026	1,000	-23,60	76,68		
	temporal inferior	-8,27	16,008	1,000	-58,36	41,81		
	nasal inferior	84,15 [*]	16,008	0,000	34,07	134,23		
	nasal	59,55 [*]	15,990	0,006	9,52	109,57		
	nasal superior	110,44*	16,008	0,000	60,36	160,52		
	superior	79,15 [*]	15,990	0,000	29,12	129,17		
nasal inferior	temporal superior	43,88	15,990	0,171	-6,14	93,91		
	temporal	-57,61 [*]	16,008	0,009	-107,69	-7,52		
	temporal inferior	-92,42 [*]	15,990	0,000	-142,45	-42,40		
	inferior	-84,15 [*]	16,008	0,000	-134,23	-34,07		

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate (Fehler) = 28380,249.

Für die unterschiedlichen Meridiane zeigt der Bonferroni-korrigierte Post-Hoc Tests, dass sich der *nasale* Meridian von allen anderen Meridianen signifikant unterscheidet (p<0,05) außer von *superior* und *temporal superior* (p>0,05).

^{*.} Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

Der zwischen *nasal* und *superior* liegende Meridian *nasal superior* unterscheidet sich zwar signifikant vom *nasalen* Meridian, der p-Wert liegt hier jedoch mit 0,042 nah am 0,05-Signifikanznieveau. *Nasal superior* zeigt zum *superioren* Meridian keinen signifikanten Unterschied (p>0,05), zu allen weiteren Meridianen aber schon (p<0,05).

Der Meridian *superior* zeigt zusätzlich zu den bereits erwähnten Meridianen *nasal* und *nasal superior* ebenfalls zum Meridian *temporal superior* keine Signifikanz (p>0,05), die weiteren Meridiane sind alle signifikant unterschiedlich (p<0,05).

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Meridianen *superior* und *nasal superior* unterscheidet sich der Meridian *temporal superior* nicht signifikant von *nasal inferior* (p>0,05). Im weiteren Vergleich zeigen die restlichen Meridiane einen signifikanten Unterschied zu *temporal superior* (p<0,05).

Für den Meridian *temporal* liegt kein signifikanter Unterschied mit den Meridianen *temporal inferior* und *inferior* vor (p>0,05). Die restlichen Meridiane unterscheiden sich signifikant vom *temporalen* Meridian (p<0,05).

Der Meridian *temporal inferior* zeigt im Vergleich zu seinen Nachbarn *temporal* und *inferior* keinen signifikanten Unterschied (p>0,05), alle weiteren Meridiane sind jedoch signifikant unterschiedlich (p<0,05).

Der Meridian *inferior* zeigt außer zu den bereits erwähnten Meridianen *temporal* und *temporal inferior* (p>0,05) zu den weiteren Meridianen einen signifikanten Unterschied (p<0,05).

Nasal inferior zeigt lediglich zu seinem direkten Gegenüber temporal superior keine Signifikanz (p>0,05). Zu allen weiteren Meridianen liegt jedoch ein signifikanter Unterschied vor (p<0,05).

6.2.1.3 Profildiagramm

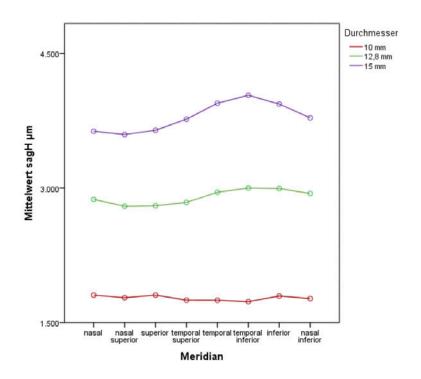


Abbildung 33 Profildiagramm A Scheiteltiefe

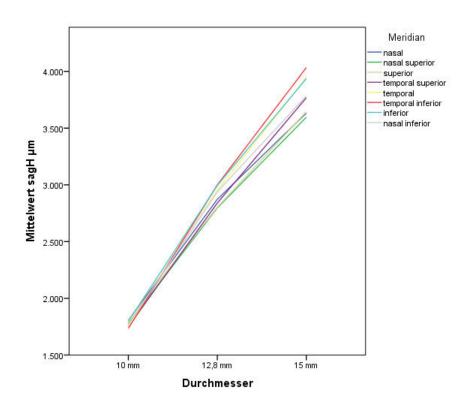


Abbildung 34 Profildiagramm B Scheiteltiefe

Der Haupteffekt des Durchmessers kann daran erkannt werden, dass die Kurven auseinanderliegen (s. Abbildung 33). Die Interaktion von Durchmesser und Meridian auf die Scheiteltiefe wird durch die nicht parallel verlaufenden Kurven ersichtlich.

Das untere Profildiagramm (vgl. Abbildung 34) zeigt, dass der Durchmesser und die Scheiteltiefe zusammenhängen. Dieser Zusammenhang kann daran erkannt werden, dass alle Linien eine ähnliche Steigung aufweisen – in diesem Fall steigt die Scheiteltiefe mit dem Durchmesser an.

Hier zeigt sich, dass bei Durchmesser 10 mm die Scheiteltiefen der einzelnen Meridiane wenig streuen, je größer der Durchmesser, desto größer die Spannweite.

Zudem zeigt sich eine signifikante Interaktion von Meridian und Durchmesser auf die Scheiteltiefe ($F_{(14,1749)} = 22,64$, p = .000, partielles Eta-Quadrat = 0,153). Dies weist darauf hin, dass die Scheiteltiefe der einzelnen Durchmesser je nach Meridian variiert.

Bei Durchmesser 10 mm liegt die Scheiteltiefe des Meridian superior (M=1806.36, SD=104) über allen anderen. Die Scheiteltiefe des Meridians nasal ist ähnlich groß, die Standardabweichung jedoch deutlich geringer (M=1806.32, SD=80). Der Meridian temporal inferior hat hier die geringste Scheiteltiefe (M=1737, SD=88) bei Durchmesser 10,00 mm dicht gefolgt von temporal (M=1750, SD=75). Für die Durchmesser 12,80 mm und 15,00 mm erzielt der bei 10,00 mm kleinste Meridian temporal inferior das Maximum (12,80 mm M=3000, SD= 174; 15,00 mm M=4033, SD= 247). Auch der temporale Meridian wechselt von einer kleinen Scheiteltiefe bei 10,00 mm auf eine große Scheiteltiefe bei den äußeren Durchmessern (12,80 mm M=2953, SD=168; 15,00 mm M=3944; SD=245). Die Antagonisten nasal und superior verhalten sich genau gegenläufig. Sie zeigen bei 10,00 mm die größte Scheiteltiefe (s.o.) bei den peripheren Durchmessern jedoch mittlere bis geringe Scheiteltiefen (nasal 12,80 mm M=2873, SD=165; 15,00 mm M=3632; SD=228 und superior 12,80 mm M=2802, SD=158; 15,00 mm M=3643, SD=240). Der Meridian inferior zeigt in allen Durchmessern eine relativ große Scheiteltiefe (10,00 mm M=1796, SD=99; 12,80 mm M=2995, SD=164; 15,00 mm M=3936, SD224). Der Meridian *nasal superior*, der in den äußeren beiden Durchmessern das Minimum markiert, zeigt bei Durchmesser 10,00 mm eine mittlere Scheiteltiefe (10,00 mm M=1778, SD=85; 12,80 mm M=2797, SD=152; 15,00 mm M=3595, SD=201).

Die Antagonisten *nasal inferior* (10,00 mm M=1768, SD=88; 12,80 mm M=2939, SD=157; 15,00 mm M=3782, SD=204) und *temporal superior* zeigen über alle Durchmesser hinweg eine mittlere Scheiteltiefe. Dabei tendiert der Meridian *temporal superior* Richtung kleinere Scheiteltiefe (10,00 mm M=1751, SD=93; 12,80 mm M=2840, SD=155; 15,00 mm M=3768, SD=211)

Die Effektstärken sind sowohl für den Haupteffekt Durchmesser (f=4,96) als auch für den Meridian (f=0,423) und die Interaktion (f= 0,42) nach Cohen (1992) als stark einzustufen.

Tabelle 11 Übersicht Scheiteltiefenverlauf pro Durchmesser

Meridian	∅ 10,00 mm	∅ 12,80 mm	∅ 15,00 mm
temporal inferior	Minimum	Maximum	Maximum
temporal	klein	groß	groß
temporal superior	klein	klein	mittel
nasal inferior	mittel	mittel	mittel
nasal superior	mittel	Minimum	Minimum
inferior	groß	groß	groß
nasal	groß	mittel	klein
superior	Maximum	klein	klein

6.2.2 Winkel – Mehrfaktorielle Varianzanalyse

Ebenso wie für die *Scheiteltiefe* erfüllt auch die abhängige Variable *Winkel* die Bedingungen für die mehrfaktorielle Varianzanalyse. Auch hier ist lediglich die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen gemäß dem Levene-Test für alle Variablen verletzt (p< 0,05). Dies bedeutet, dass die Stichprobe der *Winkel* ebenfalls keine Varianzhomogenität zeigt. Da die Probengröße von n=74 jedoch groß ist, ist auch die ANOVA robust genug, um diese Verletzung der Grundvoraussetzung vernachlässigen zu können. Aufgrund ungleicher Varianz wird für die Meridiane als Post-Hoc Test der Bonferroni-Test genutzt. Da lediglich zwei Durchmesser miteinander verglichen werden, wird hierfür kein Post-Hoc-Test erstellt.

Tabelle 12 Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen^a

Abhängige Variable: Winkel (Grad)

F	df1	df2	Sig.
1,837	15	1154	0,026

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Durchmesser + Meridian + Durchmesser * Meridian

Tabelle 13 Tests der Zwischensubjekteffekte Winkel

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhäng ge Var ab e: W nke (Grad) Quadratsumme M tte der Part e es Que e df F Sg. vom Typ III Quadrate Eta-Quadrat 0,503 Korr g ertes Mode 7398,887a 15 493,259 77,922 0,000 1761059,88 278201,97 Konstanter Term 1761059,889 1 0.000 0,996 9 Durchmesser 1,267 0,655 0,000 1 1,267 0,200 0,000 0,469 Mer d an 6445,251 7 920,750 145,455 0,000 Durchmesser * Mer d an 931,921 7 133,132 21,031 0,113 6,330 Feh er 7304,992 1154 Gesamt 1777842,285 1170 14703,879 1169 Korr g erte Gesamtvar at on

Es zeigt sich, dass das Gesamtmodell signifikant ist. ($F_{(15,1154)} = 78$, p = 0,000, angepasstes $R^2 = 0,497$, n = 1170). Es zeigt sich, dass der Durchmesser alleine keinen signifikanten

a. R-Quadrat = ,503 (korr g ertes R-Quadrat = ,497)

Zusammenhang mit der Größe der Winkel aufweist ($F_{(1,1154)} = 0,200$, p = 0,655, partielles Eta-Quadrat = 0,000). Je nach Meridian dagegen werden unterschiedliche Winkel berichtet ($F_{(7,1154)} = 145$, p = 0,000, partielles Eta-Quadrat = 0,469).

6.2.2.1 Bonferroni Post-Hoc Test Meridian (Winkel)

Tabelle 14 Bonferroni Post-Hoc Test Meridian

Multiple Comparisons

Abhängige Variab	le: Winkel (Grad)		•			
Bonferroni			•			
(I)Meridian		Mittlere Differenz		Sig.	95%-Konfidenzintervall	
(1)IVIETICIATI		(I-J)			Untergrenze	Obergrenze
nasal	nasal superior	0,2068	0,29551	1,000	-0,7185	1,1320
	superior	-0,3304	0,29755	1,000	-1,2620	0,6012
	temporal superior	-2,8161 [*]	0,29502	0,000	-3,7398	-1,8923
	temporal	-5,0883 [*]	0,29502	0,000	-6,0120	-4,1646
	temporal inferior	-6,4542*	0,29502	0,000	-7,3779	-5,5304
	inferior	-4,4379 [*]	0,29551	0,000	-5,3631	-3,5126
	nasal inferior	-2,5862 [*]	0,29601	0,000	-3,5130	-1,6594
nasal superior	nasal	-0,2068	0,29551	1,000	-1,1320	0,7185
	superior	-0,5372	0,29551	1,000	-1,4624	0,3881
	temporal superior	-3,0228*	0,29297	0,000	-3,9401	-2,1055
	temporal	-5,2951 [*]	0,29297	0,000	-6,2124	-4,3777
	temporal inferior	-6,6609*	0,29297	0,000	-7,5782	-5,7436
	inferior	-4,6446 [*]	0,29347	0,000	-5,5635	-3,7258
	nasal inferior	-2,7930*	0,29397	0,000	-3,7134	-1,8725
superior	nasal	0,3304	0,29755	1,000	-0,6012	1,2620
	nasal superior	0,5372	0,29551	1,000	-0,3881	1,4624
	temporal superior	-2,4856 [*]	0,29502	0,000	-3,4094	-1,5619
	temporal	-4,7579*	0,29502	0,000	-5,6816	-3,8342
	temporal inferior	-6,1238 [*]	0,29502	0,000	-7,0475	-5,2000
	inferior	-4,1074 [*]	0,29551	0,000	-5,0327	-3,1822
	nasal inferior	-2,2558 [*]	0,29601	0,000	-3,1826	-1,3289
temporal superior	nasal	2,8161*	0,29502	0,000	1,8923	3,7398
	nasal superior	3,0228*	0,29297	0,000	2,1055	3,9401
	superior	2,4856*	0,29502	0,000	1,5619	3,4094
	temporal	-2,2722 [*]	0,29248	0,000	-3,1880	-1,3565
	temporal inferior	-3,6381 [*]	0,29248	0,000	-4,5539	-2,7224
	inferior	-1,6218 [*]	0,29297	0,000	-2,5391	-0,7045
	nasal inferior	0,2299	0,29348	1,000	-0,6890	1,1488

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Winkel (Grad)

0.0	
Bonferroni	

Bonferroni		Mittlere	<u> </u>		95%-Konfidenzintervall	
(I)Meridian		Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	Untergrenze	Obergrenze
temporal	nasal	5,0883*	0,29502	0,000	4,1646	6,0120
	nasal superior	5,2951*	0,29297	0,000	4,3777	6,2124
	superior	4,7579*	0,29502	0,000	3,8342	5,6816
	temporal superior	2,2722*	0,29248	0,000	1,3565	3,1880
	temporal inferior	-1,3659*	0,29248	0,000	-2,2816	-0,4501
	inferior	0,6504	0,29297	0,745	-0,2669	1,5677
	nasal inferior	2,5021*	0,29348	0,000	1,5832	3,4210
temporal inferior	nasal	6,4542*	0,29502	0,000	5,5304	7,3779
	nasal superior	6,6609*	0,29297	0,000	5,7436	7,5782
	superior	6,1238 [*]	0,29502	0,000	5,2000	7,0475
	temporal superior	3,6381*	0,29248	0,000	2,7224	4,5539
	temporal	1,3659*	0,29248	0,000	0,4501	2,2816
	inferior	2,0163*	0,29297	0,000	1,0990	2,9336
	nasal inferior	3,8680*	0,29348	0,000	2,9491	4,7869
inferior	nasal	4,4379 [*]	0,29551	0,000	3,5126	5,3631
	nasal superior	4,6446*	0,29347	0,000	3,7258	5,5635
	superior	4,1074*	0,29551	0,000	3,1822	5,0327
	temporal superior	1,6218*	0,29297	0,000	0,7045	2,5391
	temporal	-0,6504	0,29297	0,745	-1,5677	0,2669
	temporal inferior	-2,0163 [*]	0,29297	0,000	-2,9336	-1,0990
	nasal inferior	1,8517*	0,29397	0,000	0,9312	2,7721
nasal inferior	nasal	2,5862*	0,29601	0,000	1,6594	3,5130
	nasal superior	2,7930*	0,29397	0,000	1,8725	3,7134
	superior	2,2558*	0,29601	0,000	1,3289	3,1826
	temporal superior	-0,2299	0,29348	1,000	-1,1488	0,6890
	temporal	-2,5021 [*]	0,29348	0,000	-3,4210	-1,5832
	temporal inferior	-3,8680 [*]	0,29348	0,000	-4,7869	-2,9491
	inferior	-1,8517 [*]	0,29397	0,000	-2,7721	-0,9312

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 6,330.

^{*.} Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

Für die unterschiedlichen Meridiane zeigt der Bonferroni-korrigierte Post-Hoc Tests, dass sich der *nasale* Meridian von allen anderen Meridianen signifikant unterscheidet (p<0,05) außer von *superior* und *nasal superior* (p>0,05).

Der zwischen *nasal* und *superior* liegende Meridian *nasal superior* zeigt zu seinen beiden Nachbarn keine Signifikanz (p>0,05), zu allen weiteren Meridianen besteht ein signifikanter Unterschied (p<0,05).

Der Meridian *superior* zeigt zu den bereits erwähnten Meridianen *nasal* und *nasal superior* keine Signifikanz (p>0,05), die weiteren Meridiane sind alle signifikant unterschiedlich (p<0,05).

Der Meridian *temporal superior* zeigt keine Signifikanz zu seinem Antagonisten *nasal inferior* (p>0,05). Im weiteren Vergleich zeigen die restlichen Meridiane einen signifikanten Unterschied zu *temporal superior* (p<0,05).

Für den Meridian *temporal* liegt kein signifikanter Unterschied mit dem Meridian *inferior* vor (p>0,05). Die restlichen Meridiane unterscheiden sich signifikant vom *temporalen* Meridian (p<0,05).

Der Meridian temporal inferior ist zu allen weiteren Meridianen signifikant unterschiedlich (p<0,05).

Der Meridian *inferior* zeigt außer zu den bereits erwähnten Meridian *temporal* (p>0,05) zu den weiteren Meridianen einen signifikanten Unterschied (p<0,05).

Nasal inferior zeigt lediglich zu seinem direkten Gegenüber temporal superior keine Signifikanz (p>0,05). Zu allen weiteren Meridianen liegt jedoch ein signifikanter Unterschied vor (p<0,05).

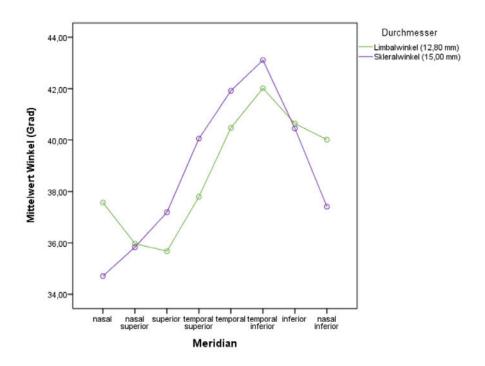


Abbildung 35 Profildiagramm A Winkel

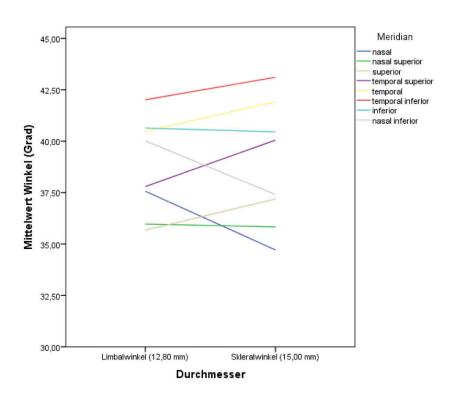


Abbildung 36 Profildiagramm B Winkel

Dass der Durchmesser keinen signifikanten Haupteffekt auf die Winkel hat, kann daran erkannt werden, dass die Kurven nah zusammen liegen (Abbildung 35). Die Interaktion von Durchmesser und Meridian auf die Winkel wird durch die nicht parallel verlaufenden Kurven ersichtlich.

Das untere Profildiagramm in Abbildung 36 zeigt ebenfalls, dass es keinen Zusammenhang zwischen Durchmesser und Winkel gibt. Das ist ersichtlich, da es kein gleichmäßiges Verhalten der Linien erkennen lässt.

Zudem zeigt sich eine signifikante Interaktion von Meridian und Durchmesser auf den Winkel $(F_{(7,1154)} = 21, p = .000, partielles Eta-Quadrat = 0,113)$. Dies weist darauf hin, dass der Winkel der einzelnen Durchmesser je nach Meridian variiert.

Für die Meridiane *inferior*, *nasal inferior*, *nasal* und *nasal superior* ist der Skleralwinkel (*inferior* M=40.45°, SD=2.31; *nasal inferior* M=37.41°, SD=2.16; *nasal* M=34.71°, SD=2.72; *nasal superior* M=35.83, SD=2.94) jeweils kleiner als der Limbalwinkel (*inferior* M=40.64°, SD=2.05; *nasal inferior* M=40.01°, SD=2.11; *nasal* M=37.57°, SD=2.65; *nasal superior* M=35.97°, SD=2.64). Für die temporale Hälfte der Meridiane ist es genau gegensätzlich (Limbalwinkel *superior* M=35.68°, SD=2.61; *temporal superior* M=37.79, SD=2.55; *temporal* M=40.48, SD=2.45; *temporal inferior* M=42.02, SD=2.44 und Skleralwinkel *superior* M=37.19°, SD=2.78; *temporal superior* M=40.05, SD=2.47; *temporal* M=41.92, SD=2.71; *temporal inferior* M=43.11, SD=2.49).

Der Meridian *temporal inferior* zeigt sowohl im Limbal- wie auch im Skleralbereich die größten Winkel (Limbalwinkel M=42.02, SD=2.44 und Skleralwinkel M=43.11, SD=2.49). Auch seine Nachbarn *temporal* (Limbalwinkel M=40.48, SD=2.45 und Skleralwinkel M=41.92, SD=2.71) sowie *inferior* (Limbalwinkel M=40.64°, SD=2.05 und Skleralwinkel M=40.45°, SD=2.31) zeigen in beiden gemessenen Durchmessern große Werte. Die Antagonisten *temporal superior* (Limbalwinkel M=37.79, SD=2.55 und Skleralwinkel M=40.05, SD=2.47) und *nasal inferior* (Limbalwinkel M=40.01°, SD=2.11 und Skleralwinkel M=37.41°, SD=2.16) liegen im mittleren Bereich der gemessenen Winkel. Die Meridiane *nasal superior* (Limbalwinkel M=35.97°, SD=2.64 und Skleralwinkel M=35.83, SD=2.94), *nasal* (Limbalwinkel M=37.57°, SD=2.65 und Skleralwinkel M=34.71°, SD=2.72), sowie *superior* (Limbalwinkel M=35.68°, SD=2.61 und Skleralwinkel M=37.19°, SD=2.78) liefern die kleinsten Messwerte. Dabei markieren der *nasale* Skleralwinkel und der *superiore* Limbalwinkel jeweils das Minimum.

Die Effektstärke für den Haupteffekt Durchmesser (f=0,013) ist kleiner als 0,10 und zeigt somit keinen Effekt. Für den Meridian (f=0,939) ist die Effektstärke nach Cohen (1992) als stark für die Interaktion (f=0,357) als mittel einzustufen.

Tabelle 15 Übersicht Winkelverlauf pro Durchmesser

Meridian	∅ 12,80 mm	∅ 15,00 mm
temporal inferior	Maximum	Maximum
temporal	groß	groß
temporal superior	mittel	mittel
nasal inferior	mittel	mittel
nasal superior	klein	klein
inferior	groß	groß
nasal	klein	Minimum
superior	Minimum	klein

7 Diskussion

7.1 Meridiane

Der CSP-Report liefert für die peripheren Durchmesser 12,80 mm und 15,00 mm am nasalen Meridian kleine Winkel und Scheiteltiefen. Das Minimum erreicht allerdings der Meridian nasal superior. Das bedeutet, dass der vordere Augenabschnitt hier flacher verläuft. Was die These untermauert, dass dies am Musculus rectus medialis liegen könnte, der in diesem Bereich näher am Limbus als alle sonstigen Muskeln am Bulbus verankert ist. Auf der Hornhaut bei 10,00 mm liegt für den nasalen Meridian allerdings eine große Scheiteltiefe vor, was vermuten lässt, dass hier häufig ein konkaves Corneo-Skleral-Profil vorzufinden ist.

Im Gegensatz dazu liefert der temporale Meridian sehr große Winkel und Scheiteltiefen, das Maximum erzielt jedoch der Meridian temporal inferior. Eine Kontaktlinse richtet sich immer in die Richtung des steilsten Bereiches des Auges aus. Somit untermauert das Ergebnis die Überlegung, dass sich Linsen am wahrscheinlichsten hierhin dezentrieren. Interessant ist, dass ausgerechnet diese beiden Meridiane mit den größten Scheiteltiefen bei 12,80 mm und 15,00 mm auf der Hornhaut bei Durchmesser 10,00 mm die kleinsten Scheiteltiefen messen. Nach der Einteilung der Corneo-Skleral-Profile, müsste hier eine fließend-konvexe Form gefunden werden, die fast schon tafelbergartig verläuft.

Ähnliche Beobachtungen kann man für die Meridiane superior und inferior herstellen. Der obere Meridian zeigt in der Peripherie bei 12,80 mm und 15,00 mm nur kleine Scheiteltiefen, ebenso einen kleinen Skleralwinkel und sogar das Minimum im Bereich Limbalwinkel. Hier ist also ein konkaves Corneo-Skleral-Profil zu vermuten.

Sein Antagonist inferior liefert in allen Durchmessern und Winkeln große Werte. Dies lässt auf eine fließend-konvexe Form des Corneo-Skleral-Profils schließen.

Die beiden gegenüberliegenden Meridiane nasal inferior und temporal superior verlaufen am regelmäßigsten. Temporal superior zeigt bei Durchmesser 10,00 mm und 12,80 mm tendenzielle kleine und bei Durchmesser 15,00 mm eine mittlere Scheiteltiefe. Limbal- und Skleralwinkel liegen im mittleren Bereich. Den einheitlichsten Verlauf liefert der Meridian nasal inferior. Er liegt in allen Durchmessern und Winkeln im mittleren Bereich der Werte. Beide Meridiane müssten ein fließend-tangentiales Corneo-Skleral-Profil zeigen.

Grundsätzlich kann zum Verlauf der einzelnen Meridiane festgestellt werden, dass Sie sich zu Ihren Nachbarn meist nicht signifikant unterscheiden, zu Ihrem Gegenüber allerdings schon. Dieses Muster ist gut in den Boxplot-Diagrammen zu erkennen. Einzige Ausnahme sind die Meridiane temporal superior und nasal inferior. Obwohl Sie sich gegenüber liegen, unterscheiden Sie sich nicht signifikant voneinander.

7.2 Durchmesser 10,00 mm

Die Daten von Durchmesser 10,00 mm werden bereits in der ersten, zentralen Messung des CSP-Reports erhoben, die identisch zur bisherigen Pentacammessung ist. Da die Pentacam® als Goldstandard etabliert ist, kann davon ausgegangen werden, dass diese Daten präzise sind.

Die größte Abweichung vom gesamten Mittelwert (1774 μ m) findet man sowohl im Minimum (1477 μ m) als auch im Maximum (2129 μ m) im superioren Meridian. Hier ist auch die Standardabweichung mit 104 μ m am größten. Die gesamte Standardabweichung aller Meridiane bei 10,00 mm ist mit 93 μ m als gering einzustufen. Ebenfalls fällt auf, dass sich Ausreißer Richtung Minimum lediglich für die drei superioren Meridiane ergibt. Dass der superiore Bereich die größten Schwankungen zeigt, könnte aus der Abschattung des Oberlides während des Messvorgangs resultieren.

Die gemittelte Scheiteltiefe der horizontalen Meridiane (nasal und temporal) liegt bei 1778 μm. Die gemittelte Scheiteltiefe der vertikalen Meridiane (superior und inferior) liegt bei 1800 μm. Da aus einem flacheren Hornhautradius eine geringere Scheiteltiefe resultiert, kann angenommen werden, dass im Mittel ein geringer Hornhautastigmatismus nach der Regel vorliegt.

7.3 Durchmesser 12,80 mm

Die bisherige Pentacammessung konnte lediglich den Hornhautbereich von Limbus zu Limbus vermessen. Die Daten für Durchmesser 12,80 mm werden also erst durch den CSP-Report messbar.

Der Mittelwert der Scheiteltiefe für den gesamten Durchmesser liegt bei 2900 μm, die dazugehörige Standardabweichung bei 178 μm. Somit ist sie fast doppelt so groß, wie die Standardabweichung bei Durchmesser 10,00 mm. Dies kann entweder dadurch zustande kommen, dass die Form des vorderen Augenabschnitts zur Peripherie immer ungleichmäßiger wird, der CSP-Report aber verlässlich misst. Ebenfalls besteht die Möglichkeit, dass die Form des vorderen Augenabschnitts gleichmäßig in die Peripherie verläuft, der CSP-Report jedoch unzuverlässigere Resultate liefert, desto weiter außen gemessen wird. Dies kann in dieser Arbeit nicht abschließend geklärt werden. Bezüglich der Messgenauigkeit des CSP-Reports wird bei der Firma HECHT Contactlinsen GmbH zurzeit jedoch eine Bachelorthesis ausgearbeitet. Sie wird Aufschluss zu dieser Problematik bringen.

Die größte Abweichung vom gesamten Mittelwert der Scheiteltiefe liegt für das Minimum wieder im Meridian superior (2368 μm). Die größte Abweichung Richtung Maximum liegt mit 3551 μm im temporalen Meridian. Bei korrekter Durchführung der Messung, sollte dieser Meridian nicht negativ durch das Oberlid beeinflusst werden.

Der Mittelwert des Limbalwinkels liegt insgesamt bei 38,79° mit einer Standardabweichung von 3,27°.

Die gemittelte Scheiteltiefe der horizontalen Meridiane (nasal und temporal) liegt bei 2913 µm. Die gemittelte Scheiteltiefe der vertikalen Meridiane (superior und inferior) liegt bei 2899 µm. Betrachtet man ausschließlich diese beiden Mittelwerte, ist anzunehmen, dass im Mittel fast kein Astigmatismus im Limbusbereich vorliegt. Dieser Bereich kann aufgrund dieser Information als rotationssymmetrisch bezeichnet werden.

Betrachtet man jedoch die einzelnen Scheiteltiefen und Winkel, wird deutlich, dass die unteren vier Meridiane von temporal bis nasal inferior relativ groß (> $40,00^{\circ}$), die gegenüberliegenden Meridiane eher klein (< $37,80^{\circ}$) sind. Auch die Scheiteltiefe für diese Meridiane ist hier größer (> $2939~\mu m$) als bei den oberen Meridianen (< $2873~\mu m$)

7.4 Durchmesser 15,00 mm

Ebenso wie die Daten von Durchmesser 12,80 mm werden auch die Parameter für den Durchmesser 15,00 mm ausschließlich durch die Messung des CSP-Reports erhoben.

Der Mittelwert des gesamten Durchmessers liegt bei einer Scheiteltiefe von 3792 μm, die dazugehörige Standardabweichung bei 272 μm. Die Standardabweichung nimmt im Vergleich zu den vorhergehenden Durchmessern noch einmal deutlich zu. Die Überlegung, die bereits bei Durchmesser 12,80 mm gemacht wurde, erhärtet sich durch dieses Resultat. Ob die große Streuung an einer unregelmäßigeren peripheren Augenform liegt, oder an der Präzision des Messtools, kann hier nicht abschließend geklärt werden.

Die größte Abweichung vom gesamten Mittelwert liegt für das Minimum im Meridian nasal mit 2807 μm. Die größte Abweichung Richtung Maximum liegt mit 4751 μm im temporal inferioren Meridian. Die kleine Scheiteltiefe nasal bestätigt die Theorie, dass hierfür der Musculus rectus medialis verantwortlich sein kann.

Der Mittelwert des Skleralwinkels liegt insgesamt bei 38,85° mit einer Standardabweichung von 3,80°.

Die gemittelte Scheiteltiefe der horizontalen Meridiane (nasal und temporal) liegt bei 3788 μ m. Die gemittelte Scheiteltiefe der vertikalen Meridiane (superior und inferior) liegt bei 3790 μ m. Betrachtet man auch hier ausschließlich diese beiden Mittelwerte, könnte angenommen werden, dass hier kaum ein Astigmatismus im Skleralbereich vorliegt, es müsste auch dieser Bereich des vorderen Augenabschnitts als rotationssymmetrisch eingeschätzt werden. Die Größenverteilung der Scheiteltiefe setzt im Durchmesser 15,00 mm die erkennbare Tendenz aus Durchmesser 12,80 mm fort. Auch hier liegen die größeren Scheiteltiefen (> 3782 μ m) und Winkel (> 37,41°) im unteren Bereich in den Meridianen zwischen temporal und nasal inferior. Die kleineren Scheiteltiefen (< 3768 μ m) und Winkel (< 37,19°) verteilen sich in den oberen vier Meridianen.

Dies erklärt die häufig in der Anpassung von Sklerallinsen auftretende Schwierigkeit eines Bindehautprolaps im unteren limbalen Bereich.

Betrachtet man die Ergebnisse der unterschiedlichen Durchmesser generell, muss festgestellt werden, dass sich außerhalb der Hornhaut kein regulärer Astigmatismus erkennen lässt.

Vielmehr kann man beobachten, dass außerhalb der Kornea die Meridiane des nasalen Quadranten immer kleinere Scheiteltiefen messen, als die des temporalen Quadranten. Ebenso zeigt stets der obere Quadrant eine kleinere Scheiteltiefe als der untere Quadrant.

7.5 Vergleich zu bisherigen Studien

Der CSP-Report liefert bei Durchmesser 15,00 mm eine mittlere Scheiteltiefe von 3792 μ m und eine Standardabweichung von 272 μ m. Diese Scheiteltiefe ist leicht höher, als das Ergebnis von Ritzmann⁵⁵, das bei 3750 μ m mit einer gemittelten Standardabweichung von 210 μ m für das linke Auge liegt. Ebenso fällt das Resultat von Kojima et al. 56 mit 3735 μ m etwas kleiner aus.

Für das linke Auge liegt der Mittelwert der Scheiteltiefe von Durchmesser 12,80 mm in der Arbeit von Ritzmann bei 2912 μ m, die Standardabweichung liegt im Mittel bei 157 μ m. Auch hier liefert der CPS-Report ein vergleichbares Ergebnis mit einem Mittelwert von 2900 μ m und einer Standardabweichung von 178 μ m.

Bei Durchmesser 10,00 mm kommt Ritzmann zu einer Scheiteltiefe von 1777 μ m mit einer Standardabweichung von 86 μ m für das linke Auge. Kojima misst hier eine mittlere Scheiteltiefe von 1734 μ m. Auch der CSP-Report liefert ein ähnliches Ergebnis mit 1774 μ m und einer Standardabweichung von 93 μ m.

Ebenso ergibt sich mit dem CSP-Report für den Limbalwinkel (12,80 mm) ein Mittelwert von 38,79° mit einer Standardabweichung von 3,27°. Das Ergebnis von Ritzmann ist mit 38,94° und einer Standardabweichung von 2,51° gleichzustellen.

Für den Skleralwinkel (15,00 mm) ergibt sich im CSP-Report ein Mittelwert von 38,85° mit einer Standardabweichung von 3,80°, der etwas größer ist als das Resultat von Ritzmann mit 37,20° und einer Standardabweichung von 2,45°.

Im Vergleich zu der Studie von Kojima muss berücksichtigt werden, dass in seiner Arbeit der Limbal- und Skleralwinkel an abweichenden Durchmessern gemessen wurde. Trotzdem ähneln sich die Resultate (vgl. Abbildung 6) für die einzelnen Meridiane sehr. Auch bei ihm zeigen die nasalen Meridiane die kleineren, die temporalen Meridiane die größeren Winkel.

Ritzmann stellt in seiner Arbeit fest, dass die Limbalwinkel der nasalen Meridiane die größten in diesem Durchmesser sind, die Skleralwinkel in den gleichen Meridianen fallen am kleinsten

_

⁵⁵ Vgl. (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 2018)

⁵⁶ Vgl. (Kojima, et al., 2013)

aus. In der Messung mit dem CSP-Report fällt das Ergebnis leicht anders aus. Zwar sind hier auch die nasalen Skleralwinkel die kleinsten in diesem Durchmesser, die Limbalwinkel für diese Meridiane liegen allerdings im mittleren Bereich. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem von Kojima.

Generell können die Resultate, die Ritzmann und Kojima jeweils mit einem OCT ermittelt haben, sehr gut mit den Ergebnissen des CSP-Reports verglichen werden. Desto zentraler die Messwerte liegen, desto mehr ähneln sie sich.

Auch nehmen bei Ritzmann die Standardabweichung in ähnlicher Form zu, desto peripherer gemessen wird. Dies lässt vermuten, dass der CSP-Report auch in diesen Bereichen zuverlässig misst, die Form des vorderen Augenabschnitts jedoch mehr variiert als im Zentrum.

8 Zusammenfassung und Fazit

Diese Studie bestätigt bereits vorhandene Erkenntnisse über die Form des vorderen Augenabschnitts durch die Messung der Scheiteltiefen und Winkeln in acht sternförmig angeordneten Teilstücken.

Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass der limbale Bereich bei einem Durchmesser von 12,80 mm nahezu rotationssymmetrisch für das durchschnittliche Auge ist, da der Unterschied der Scheiteltiefen in den senkrecht zueinander angeordneten Hauptschnitten nur sehr gering ist.

Anders als in anderen Studien bestärkt sich diese Vermutung, betrachtet man die senkrecht zueinander liegenden Hauptschnitte des weiter peripher liegenden Durchmessers 15,00 mm. Auch hier ist der Unterschied der Scheiteltiefe im Mittel so gering, dass das Auge als rotationssymmetrisch eingestuft werden könnte. Dies liegt jedoch lediglich daran, dass die sich gegenüberliegenden Meridiane (z.B. superior und inferior) im Mittel eine ähnliche Scheiteltiefe zeigen, wie die zu ihnen senkrecht verlaufenden Meridiane (z.B. horizontal und nasal). Eine klassische Einteilung in torisch oder rotationssymmetrisch kann hier nicht getroffen werden. Der Verlauf der Sklera scheint eher asymmetrisch zu sein.

Betrachtet man die Ergebnisse der unterschiedlichen Durchmesser generell, muss festgestellt werden, dass sich außerhalb der Hornhaut kein regulärer Astigmatismus erkennen lässt. Vielmehr kann man beobachten, dass außerhalb der Kornea die Meridiane des nasalen Quadranten immer kleinere Scheiteltiefen messen, als die des temporalen Quadranten. Ebenso zeigt stets der obere Quadrant eine kleinere Scheiteltiefe als der untere Quadrant.

Dies lässt darauf schließen, dass zukünftig bei Sklerallinsenversorgungen neben sphärischen und torischen eher mit quadrantenspezifischen Haptikzonen gearbeitet werden sollte.

Ein einheitliches Muster konnte auch bezüglich der Winkel beobachtet werden. Die Limbalwinkel bei 12,80 mm für den nasalen Bereich sind steiler als die für den temporalen Bereich. Dies setzt sich im Bereich des Skleralwinkels bei 15,00 mm fort.

Der Verlauf der Winkel und der Verlauf der Scheiteltiefen zur Peripherie lässt vermuten, dass sich für die nasalen Meridiane eher eine konkave Form des Corneo-Skleral-Profils ergibt, während es sich auf der temporalen Seite eher um einen fließend-konvexen Verlauf handeln

dürfte. Dies legt nahe, dass sich große Kontaktlinsen eher Richtung temporal und temporal inferior ausrichten werden. Das ist darin begründet, dass eine Sklerallinse zunächst auf die Stelle mit der kleinsten Scheiteltiefe, dem flachsten Bereich, trifft. Von hier aus schiebt sie sich in ein weniger erhabenes Areal, dem steileren temporalen Segment. Zusätzlich tragen Oberlideinfluss und Schwerkraft dazu bei, dass sich die Linse dorthin orientiert.

Eine auf den jeweiligen Quadranten abgestimmte Haptik einer Sklerallinse kann das Zentrierverhalten der Linse begünstigen.

Diese Studie zeigt, dass der CSP-Report zuverlässige Messergebnisse des vorderen Augenabschnitts liefert.

So könnte das aktuelle Anpassverfahren von Sklerallinsen, nämlich das Bewerten von auf dem Auge befindlichen Messlinsen, bald der Vergangenheit angehören.

Zukünftig wäre es wünschenswert aufgrund der nun möglichen Messung einen für das jeweilige Auge optimalen ersten Linsenvorschlag zu erhalten. Dies ist für korneale Kontaktlinsen ein bereits seit Jahren etabliertes Verfahren.

Zusammen mit dem technologischen Fortschritt, der das Anfertigen von torischen und quadrantenspezifischen Sklerallinsen der Firma HECHT Contactlinsen GmbH ermöglicht, tragen die Ergebnisse dieser Studie vielleicht zu einem optimierten Prozess der Sklerallinsenanpassung bei.

Hierzu sollte in zukünftigen Studien, wie auch in dieser Arbeit ursprünglich geplant, überprüft werden, ob der tatsächliche Linsensitz mit dem simulierten Vorschlag der HECHT Contactlinsen GmbH Anpass-Software APEX übereinstimmt.

Literaturverzeichnis

- Augustin, A. J. (2007). Augenheilkunde. Berlin: Springer.
- Bärtl, M. (2017). Statistik Schritt für Schritt.
- Bandlitz, S., Bäumer, J., Conrad, U., & Wolffsohn, J. (2017). *Scleral topography analysed by otpical coherence tomopraphy*. Köln: Contact Lens and Anterior Eye.
- Barnett, M., & Johns, L. K. (2017). *Contemporary Scleral Lenses: Theory and Application.*Bentham Science Publishers.
- Baron, H., & Ebel, J. (2008). Kontaktlinsen. DOZ Verlag Optische Fachveröffentlichung.
- Bokern, S., Hoppe, M., & Bandlitz, S. (2007). *Genauigkeit und Wiederholbarkeit bei der Klassifizierung des Corneo-Skleral-Profils.* Köln: Höhere Fachschule für Augenoptik.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer.
- Brandl, C. (2010). *Isolierung und Charakterisierung ectomesenchymaler Progenitorzellen aus der juvenlien murinen Cornea*. Dissertation, Universität Regensburg, Fakultät für Medizin, Regensburg.
- Buser, A. (2004). Statistik I, Skript zur Vorlesung.
- Corbett, M., Maycock, N., Rosen, E., & O'Brart, D. (2019). *Corneal Topography Principles and Applications Second Edition*. Springer.
- Cramer, E., & Kamps, U. (2020). Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik Eine Einführung für Studierende der Informatik, der Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften; 5., erweiterte und korrigierte Auflage. Aachen, Deutschland: Springer Spektrum.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage. Ilmenau: Springer.
- Drexel, H. (2011). Vergleich der Oculus Geräte Videokeratograph 3 und Pentacam Basic bezüglich der Mess- und Rechendaten in der Kontaktlinsenanpassung bei Keratokonus. München.
- Efron, N. (2018). Contact Lens Practice (Third Edition). Elsevier.
- Ferrero, N. (1952). Leonardo da Vinci: of the eye; an original new translation from Codex D. American journal of ophthalmology 35 (4), S. 507–521.
- Fick, A. E. (1888). Eine Contactbrille. Archiv für Augenheilkunde 18(3), S. 279-289.

- Gaggioni, M., & Meier, D. (1987). Das Corneo-Skleral-Profil. Neues Optiker Journal, S. 6.
- Grehn, F. (2006). Augenheilkunde. Berlin: Springer.
- Györffy, I. (1940). Kontaktlinsen aus Kunststoffen. Klinisches Monatsblatt Augenheilkunde, S. 104: 81–87.
- Hall, L. A., Hunt, C., Young, G., & Wolffsohn, J. (2013). Factors Affecting Corneoscleral Topography. *Investigative Ophthalmology & Vision Science*.
- Hall, L. A., Young, G., Wolffsohn, J. S., & Riley, C. (August 2011). The Influence of Corneoscleral Topography on Soft Contact Lens Fit. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*.
- Hatch KM, D. R. (2009). The structure and function of the limbal stem cell and the disease states associated with limbal stem cell deficiency. International Ophthalmology Clinics.
- Kojima, R., Caroline, P., Graff, T., Kinoshita, B., Copilevitz, L., Achong-Coan, R., . . . André, M. (April 2013). Eye Shape and Scleral Lenses. *Contact Lens Spectrum*, S. 38 43.
- L.A. Hall, G. Y. (2011). The influence of corneoscleral topography on soft contact lens fit. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 52, S. 6801–6806.
- Lang, G. K. (2008). Augenheilkunde . Stuttgart : Georg Thieme Verlag.
- Müller, A. (1889). Brillenglaser und Hornhautlinsen. *Der medicinischen Facultät der Universität Kiel, Germany*, S. 18-26.
- OCULUS Optikgeräte GmbH. (2009). Pentacam Verkaufsprospekt. Wetzlar.
- OCULUS Optikgeräte GmbH. (2012). Oculus Pentacam Benutzerhandbuch. Wetzlar.
- OCULUS Optikgeräte GmbH. (2013). Oculus Pentacam Benutzerhandbuch. Wetzlar.
- Panas, P. (1888). Le traitement du keratocône,. Ann Oculist, S. 99:233.
- Piñero, D. P., & al, e. (2019). *Differences in Corneo-Scleral Topographic Profile Between Healthy And Keratoconus Corneas*. University of Alicante, Department of Optics, Pharmacology and Anatomy, Alicante.
- Puhani, J. (2020). Statistik Einführung mit praktischen Beispielen 13., erweiterte und überarbeitete Auflage. Ludwigshafen am Rhein, Deutschland: Springer Gabler.
- Richter, S. (2019). Bestimmung der cornealen und skleralen Topographie mit der Pentacam® eine Reihenuntersuchung. Freiburg im Breisgau.
- Ritzmann, M., Caroline, P. J., Börret, R., & Korszen, E. (2018). An analysis of anterior scleral shape and its role in the design and fitting of scleral contact lenses. Tägerwilen: Contact Lens and Anterior Eye.
- Schorr, A. J. (2016). Simulation und Anpassung von Mini-Sklerallinsen mittels Scheimpflug-Technologie und Spezialsoftware. Freiburg im Breisgau.

- Secker, G. A., & Daniels, J. T. (2015). *Limbal epithelial stem cells of the cornea*. Nigeria: African Scientist Vol. 16, No. 3.
- Sindt, C., Lay, B., & Danno, R. (2018). *Repeatability and Validation fo Scheimpflug Scleral Data*. University of Iowa, Department of ophthalmology.
- Sorbara, L. M. (2010). Metrics of the normal cornea: anterior segment imaging with the Visante OCT. *Clinical and experimental optometry*, S. 150-156.
- Sorbara, L., Maram, J., & Mueller, K. (2013). Use of the Visante™ OCT to measure the sagittal depth and scleral shape of keratoconus compared to normal corneae: pilot study. *J Optom 6*, S. 141–146.
- Stavridis, E., Eppig, T., Szentmáry, N., Seitz, B., & Langenbucher, A. (2015). Reproduzierbarkeit der Messungen der Scheimpflug-Tomografie für die Brechwerte der vorderen und hinteren Hornhautgrenzfläche. Klinische Monatsblatter fur Augenheilkunde 232 (11), S. 1297–1303.
- The Contact Lens Museum. (14. 03 2019). *The Contact Lens Museum.* Von https://www.thecontactlensmuseum.org/kevin-tuohy.html abgerufen
- UZH, Universität Zürich. (28. April 2020). *Methodenberatung Universität Zürich UZH*. Von https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/mvarianz.html abgerufen
- Van der Worp, E. (2015). A guide to scleral lens fitting (2 ed.). Forest Grove, OR: Pacific University.
- Van der Worp, E., Graf, T., & Caroline, P. (2010). Exploring Beyond the Corneal Borders. Contact Lens Spectrum, S. 26–33.
- Wayne A. Ray, D. M. (1985). Statistical Analysis of Multi-Eye Data in Ophthalmic Research. Invest Ophthalmol Vis Sci. 26, 1186-1188.
- Young, G., Schnider, C., Hunt, C., & Efron, S. (2010). Corneal topography and soft contact lens fit. *Optometry and vision science*, S. 358–366.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verteilung der Becherzellen auf der Konjunktiva (Quelle: Skript "Introduction to Anatomy of the Eye" Ka	thleen
Krenzer)	7
Abbildung 2 A: Frontalansicht des Auges mit Limbus und Vogt'schen Palisaden; B: Darstellung des Limbus im Querschnitt	durch
den vorderen Augenabschnitt (Quelle: Takacs et al. 2009)	8
Abbildung 3 Konjunktivalisierte Hornhaut nach Explosionstrauma (Quelle: Universitäts-Augenklinik Freiburg)	9
Abbildung 4 Anatomie der Hornhaut (Quelle: Lang, 2008)	11
Abbildung 5 Klassifikation des Corneo-Skleral-Profils nach Meier und Gaggioni (Quelle: Meier und Gaggioni 1987)	12
Abbildung 6 Durchschnittliche Winkel der Studie des Pacific University College of Optometry. Zu sehen ist die i	nasale
Abflachung und die fortlaufende Versteilung in den anderen Meridianen (Quelle: Kojima, et al., 2013)	13
Abbildung 7 Steiler Winkel des vorderen Augenabschnitts: 44,2° bzw. 47,2° für den Limbalwinkel bzw. Skleralv	vinkel;
aufgenommen mit Zeiss Visante® OCT. (Quelle: Pacific University – Scleral Shape Study)	15
Abbildung 8 Darstellung Scheimpflug Bedingung (Quelle: Horst Drexel)	16
Abbildung 9 Vergleich normale Kamera – Scheimpflug Kamera (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	17
Abbildung 10: Darstellung einer modernen Scheimpflugaufnahme des vorderen Augenabschnitts (Quelle: Andreas	Julien
Schorr)	17
Abbildung 11 Scheiteltiefen gemessen in 3 Durchmessern und 8 Meridianen (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 202	18) 19
Abbildung 12 Okuläre Winkel gemessen in 8 Hauptmeridianen (Ritzmann, Caroline, Börret, & Korszen, 2018)	19
Abbildung 13 Übersichtsdarstellung der Messpunkte des linken Auges	25
Abbildung 14 Übersichtsdarstellung der auszuwertenden Parameter	25
Abbildung 15 Überblick über die Gerätekomponenten der OCULUS Pentacam® (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	26
Abbildung 16 Pentacammessung (Orange = überbelichtete Sklera; Grün = optimal ausgeleuchtete Kornea)	27
Abbildung 17 Unterschied Hauptmessung vs. CSP-Messung	28
Abbildung 18 Lidmanipulation während Messvorgangs (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	29
Abbildung 19 Darstellung zwischen einzelnen Messvorgängen (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	29
Abbildung 20 Einzelscan Auswahl (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	30
Abbildung 21 Ergebnisauswertung CSP-Report (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	30
Abbildung 22 Skleral Parameter (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	31
Abbildung 23 Kornea Sklerale Höhendarstellung (Quelle: OCULUS Optikgeräte GmbH)	31
Abbildung 24 Illustration eines Boxplots	37
Abbildung 25 Grafische Darstellung der Normalverteilung inkl. Standardabweichung (Quelle: M. W. Toews, 2007)	39
Abbildung 26 Ergebnisüberblick Scheiteltiefe (μm)	44
Abbildung 27 Ergebnisüberblick Winkel (°)	45
Abbildung 28 Boxplot Scheiteltiefe der einzelnen Meridiane bei 10,00 mm	46
Abbildung 29 Boxplot Scheiteltiefe der einzelnen Meridiane bei 12,80 mm	47
Abbildung 30 Boxplot Scheiteltiefe der einzelnen Meridiane bei 15,00 mm	48
Abbildung 31 Boxplot Limbalwinkel der einzelnen Meridiane	49
Abbildung 32 Boxplot Skleralwinkel der einzelnen Meridiane	
Abbildung 33 Profildiagramm A Scheiteltiefe	58
Abbildung 34 Profildiagramm B Scheiteltiefe	58
Abbildung 35 Profildiagramm A Winkel	
Abbilduna 36 Profildigaramm B Winkel	65

Formelverzeichnis

(1) Median oder Zentralwert
$$\tilde{x}$$
 gerade Stichprobenzahl n :

$$\tilde{x} = \frac{1}{2} \left(x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right)$$

(2) Median oder Zentralwert
$$\tilde{x}$$
 ungerade Stichprobenzahl n:

$$\tilde{x} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$$
 34

$$Q = \tilde{x}_{0,75} = \tilde{x}_{0,25}$$
 34

$$x \frac{1}{n}\sum x_i$$

34

$$R \quad x_{max} \quad x_{min}$$

(6) Varianz
$$s_x^2$$
:

$$s_x^2 \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i \quad x)^2$$

(7) Standardabweichung
$$s_x$$
:

$$S_{\chi} \qquad \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - x)^2}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{i} x)^{2}}$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$$f = \sqrt{\frac{\eta_p^2}{1 - \eta_l^2}}$$

Anhang

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
nasal inferior	1738	3065	4129	43,48	44,03
nasal inferior	1817	2982	3856	39,76	38,47
nasal inferior	1728	2841	3692	38,49	37,74
nasal inferior	1683	2843	3690	39,65	37,60
nasal inferior	1868	2928	3722	37,14	35,80
nasal inferior	1844	3056	3905	40,89	37,67
nasal inferior	1820	2872	3660	36,91	35,62
nasal inferior	1776	2742	3460	34,60	33,11
nasal inferior	1818	3032	3882	40,94	37,69
nasal inferior	1710	2868	3667	39,60	35,97
nasal inferior	1808	3002	3864	40,45	38,08
nasal inferior	1729	2649	3450	33,31	36,04
nasal inferior	1657	2699	3580	36,66	38,68
nasal inferior	1676	2918	3769	41,56	37,75
nasal inferior	1671	2575	3270	32,84	32,28
nasal inferior	1935	3150	3976	40,96	36,89
nasal inferior	1710	2865	3653	39,54	35,62
nasal inferior	1753	2933	3812	40,12	38,65
nasal inferior	1639	2766	3548	38,83	35,40
nasal inferior	1621	2779	3584	39,58	36,20
nasal inferior	1838	3040	3881	40,64	37,42
nasal inferior	1673	2861	3705	40,33	37,51
nasal inferior	1987	3336	4208	43,92	38,40
nasal inferior	1774	2916	3729	39,20	36,47
nasal inferior	1704	2885	3695	40,15	36,37
nasal inferior	1700	2887	3826	40,28	40,49
nasal inferior	1704	2805	3576	38,20	35,02
nasal inferior	1792	2964	3815	39,94	37,71
nasal inferior	1739	2936	3709	40,52	35,11
nasal inferior	1738	2929	3780	40,37	37,73
nasal inferior	1857	2932	3785	37,52	37,78
nasal inferior	1818	3190	4219	44,41	43,09
nasal inferior	1840	3117	4045	42,36	40,16
nasal inferior	1820	3162	4061	43,78	39,25
nasal inferior	1782	3070	3949	42,60	38,65
nasal inferior	1814	3046	3932	41,34	38,83
nasal inferior	1740	2758	3494	36,04	33,77
nasal inferior	1651	2715	3459	37,23	34,08
nasal inferior	1789	3050	3861	42,01	36,41

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
nasal inferior	1696	2853	3801	39,56	40,75
nasal inferior	1732	2897	3809	39,77	39,67
nasal inferior	1734	2890	3731	39,54	37,41
nasal inferior	1865	3094	3934	41,27	37,39
nasal inferior	1664	2806	3689	39,22	38,73
nasal inferior	1874	3004	3775	38,91	35,01
nasal inferior	1652	2784	3610	38,96	36,88
nasal inferior	1820	3120	4080	42,89	41,13
nasal inferior	1743	2882	3710	39,15	36,96
nasal inferior	1948	3161	4086	40,90	40,06
nasal inferior	1789	3086	3986	42,80	39,31
nasal inferior	1740	2926	3749	40,28	36,81
nasal inferior	1768	2854	3655	37,81	36,06
nasal inferior	1774	3050	3944	42,35	39,08
nasal inferior	1833	3077	3926	41,63	37,66
nasal inferior	1815	3042	4005	41,22	41,22
nasal inferior	2009	3303	4236	42,75	40,31
nasal inferior	1634	2797	3584	39,71	35,61
nasal inferior	1714	2882	3679	39,85	35,91
nasal inferior	1773	2884	3679	38,44	35,83
nasal inferior	1793	3022	3884	41,26	38,10
nasal inferior	1678	2807	3633	38,90	36,88
nasal inferior	1598	2703	3525	38,29	36,74
nasal inferior	1715	2879	3633	39,73	34,45
nasal inferior	1973	3272	4176	42,85	39,43
nasal inferior	1700	2628	3360	33,52	33,67
nasal inferior	1781	2909	3784	38,87	38,51
nasal inferior	1735	2889	3691	39,49	36,11
nasal inferior	1654	2790	3557	39,06	34,92
nasal inferior	1793	2906	3676	38,49	34,96
nasal inferior	1788	3015	3910	41,22	39,14
nasal inferior	1819	3017	3847	40,54	37,05
nasal inferior	1896	3009	3873	38,49	38,14
nasal inferior	1871	3249	4090	44,54	37,40
nasal inferior	1707	2847	3688	39,14	37,41
nasal	1825	3009	3910	40,22	39,33
nasal	1875	2960	3676	37,76	33,05
nasal	1805	2807	3605	35,59	35,94

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
nasal	1753	2860	3736	38,33	38,55
nasal	1819	2775	3587	34,32	36,43
nasal	1728	2810	3573	37,70	34,73
nasal	1832	2861	3529	36,32	31,26
nasal	1793	2712	3435	33,31	33,31
nasal	1803	2907	3744	38,24	37,29
nasal	1761	2865	3589	38,24	33,37
nasal	1825	2961	3862	39,07	39,31
nasal	1735	2685	3431	34,16	34,13
nasal	1774	2707	3458	33,70	34,31
nasal	1730	2857	3643	38,82	35,56
nasal	1723	2575	3277	31,34	32,54
nasal	1980	3014	3772	36,46	34,55
nasal	1769	2806	3443	36,52	30,05
nasal	1826	3024	3914	40,57	38,95
nasal	1664	2718	3435	36,99	33,09
nasal	1682	2778	3610	38,07	37,10
nasal	1888	2961	3684	37,47	33,30
nasal	1748	2862	3679	38,52	36,60
nasal	1954	3199	3948	41,64	34,26
nasal	1761	2835	3593	37,49	34,58
nasal	1746	2866	3558	38,66	32,18
nasal	1740	2888	3726	39,36	37,30
nasal	1754	2450	2807	26,41	17,98
nasal	1877	2742	3544	31,72	36,11
nasal	1795	2857	3565	37,17	32,80
nasal	1816	3001	3835	40,26	37,17
nasal	1861	2822	3633	34,47	36,41
nasal	1954	3186	4002	41,35	36,56
nasal	1839	2978	3765	39,13	35,61
nasal	1835	3048	3881	40,92	37,14
nasal	1867	3123	4067	41,89	40,64
nasal	1827	3004	3818	40,05	36,49
nasal	1755	2627	3341	31,90	32,98
nasal	1671	2704	3317	36,43	29,12
nasal	1825	3017	3763	40,41	34,15
nasal	1736	2882	3758	39,32	38,53
nasal	1787	2874	3725	37,83	37,72
nasal	1741	2844	3624	38,23	35,33
nasal	1888	2815	3494	33,51	31,70

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
nasal	1686	2667	3390	35,02	33,30
nasal	1832	2919	3731	37,83	36,44
nasal	1704	2659	3311	34,29	30,67
nasal	1883	3057	3773	39,98	33,07
nasal	1782	2619	3259	30,87	30,18
nasal	1942	3055	3811	38,47	34,53
nasal	1848	3071	3894	41,16	36,78
nasal	1790	2779	3482	35,23	32,58
nasal	1856	2877	3550	36,11	31,44
nasal	1875	3087	3943	40,87	37,9
nasal	1881	2996	3820	38,54	36,81
nasal	1843	3063	3953	41,06	38,99
nasal	2105	3343	4130	41,50	35,56
nasal	1713	2683	3359	34,71	31,60
nasal	1833	2779	3495	34,07	33,05
nasal	1821	2880	3629	37,11	34,25
nasal	1847	2947	3745	38,16	35,94
nasal	1706	2811	3558	38,30	34,17
nasal	1641	2647	3444	35,68	35,92
nasal	1787	2838	3472	36,92	29,94
nasal	1900	3136	4007	41,44	38,36
nasal	1729	2573	3199	31,09	29,64
nasal	1794	2822	3557	36,29	33,74
nasal	1785	2811	3425	36,24	29,18
nasal	1699	2774	3500	37,52	33,44
nasal	1871	2878	3690	35,71	36,46
nasal	1779	2929	3805	39,38	38,53
nasal	1803	2655	3384	31,32	33,55
nasal	1871	2976	3692	38,27	33,08
nasal	1896	3139	3879	41,60	33,92
nasal	1799	2842	3512	36,67	31,37
nasal superior	1793	2861	3657	37,34	35,90
nasal superior	1815	2825	3515	35,81	32,09
nasal superior	1793	2709	3561	33,19	37,74
nasal superior	1715	2702	3596	35,20	39,08
nasal superior	1780	2736	3537	34,31	36,08
nasal superior	1524	2543	3170	36,06	29,66
nasal superior	1814	2741	3442	33,51	32,51
nasal superior	1750	2627	3370	32,06	34,06
nasal superior	1706	2717	3752	35,84	43,24

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
nasal superior	1732	2732	3464	35,56	33,64
nasal superior	1754	2883	3799	38,90	39,77
nasal superior	1678	2664	3515	35,17	37,70
nasal superior	1833	2754		33,33	
nasal superior	1764	2929	3799	39,78	38,34
nasal superior	1697	2421	3151	27,37	33,57
nasal superior	1849	3034	3802	40,25	34,90
nasal superior	1751	2777	3567	36,25	35,67
nasal superior	1826	2851	3674	36,19	36,82
nasal superior	1653	2607	3315	34,28	32,75
nasal superior	1746	2899	3747	39,46	37,63
nasal superior	1909	2861	3593	34,21	33,64
nasal superior	1795	2732	3485	33,81	34,36
nasal superior	1907	3154	3979	41,67	36,88
nasal superior	1748	2787	3536	36,58	34,23
nasal superior	1728	2755	3477	36,26	33,29
nasal superior	1716	2815	3718	38,13	39,40
nasal superior	1707	2635	3313	33,55	31,66
nasal superior	1861	2884	3648	36,18	34,78
nasal superior	1754	2654	3338	32,75	31,87
nasal superior	1817	2864	3571	36,79	32,74
nasal superior	1750	2778	3713	36,27	40,39
nasal superior	1944	3012	3836	37,35	36,84
nasal superior	1782	2798	3647	35,97	37,65
nasal superior	1815	2925	3800	38,41	38,49
nasal superior	1831	2965	3777	39,02	36,43
nasal superior	1808	2925	3863	38,57	40,48
nasal superior	1647	2472	3377	30,53	39,42
nasal superior	1668	2642	3395	34,81	34,40
nasal superior	1836	2976	3751	39,17	35,15
nasal superior	1675	2740	3568	37,25	36,96
nasal superior	1742	2816	3495	37,49	31,68
nasal superior	1648	2561	3300	33,10	33,88
nasal superior	1800	2812	3578	35,87	34,85
nasal superior	1659	2523	3371	31,68	37,64
nasal superior	1818	2855	3690	36,53	37,20
nasal superior	1708	2642	3389	33,72	34,16
nasal superior	1864	2946	3756	37,68	36,38
nasal superior	1766	2691	3492	33,45	36,06
nasal superior	1916	3084	3898	39,83	36,50

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
nasal superior	1852	3044	3897	40,42	37,81
nasal superior	1772	2858	3643	37,81	35,49
nasal superior	1859	2814	3509	34,31	32,28
nasal superior	1877	3002	3859	38,79	37,92
nasal superior	1836	2918	3663	37,69	34,11
nasal superior	1774	2935	3997	39,66	43,99
nasal superior	2078	3166	4120	37,85	40,93
nasal superior	1698	2621	3331	33,40	32,85
nasal superior	1830	2841	3627	35,84	35,54
nasal superior	1831	2751	3477	33,30	33,42
nasal superior	1839	2932	3756	37,99	36,83
nasal superior	1667	2758	3560	37,92	36,11
nasal superior	1653	2611	3377	34,37	34,86
nasal superior	1794	2796	3511	35,60	33,03
nasal superior	1778	2889	3727	38,45	37,27
nasal superior	1717	2573	3284	31,44	32,85
nasal superior	1817	2779	3494	34,49	33,02
nasal superior	1685	2717	3375	36,42	30,87
nasal superior	1693	2691	3466	35,49	35,16
nasal superior	1888	2877	3602	35,24	33,37
nasal superior	1802	2995	3951	40,42	41,02
nasal superior	1838	2776	3734	33,82	41,06
nasal superior	1799	2744	3640	34,03	39,15
nasal superior	1834	2913	3686	37,63	35,08
nasal superior	1756	2662	3382	32,91	33,20
superior	1807	2846	3707	36,56	38,07
superior	1786	2756	3557	34,71	36,09
superior	1775	2679	3411	32,84	33,66
superior	1791	2749	3615	34,38	38,21
superior	1784	2854	3856	37,39	42,32
superior	1477	2859	4308	44,62	52,80
superior	1869	2799	3647	33,60	37,62
superior	1771	2680	3437	33,01	34,52
superior	1601	2719	3744	38,61	42,97
superior	1722	2706	3446	35,09	33,94
superior	1742	2931	3841	40,33	39,62
superior	1725	2641	3487	33,19	37,56
superior	1938	2542	3000	23,34	22,61
superior	1805	2864	3636	37,11	35,06
superior	1622	2368	3041	28,04	31,47

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
superior	1858	3021	3946	39,71	40,07
superior	1787	2635	3450	31,18	36,53
superior	1757	2727	3522	34,71	35,88
superior	1701	2706	3500	35,67	35,81
superior	1799	2929	3800	38,91	38,37
superior	1924	2859	3691	33,73	37,12
superior	1847	2789	3580	33,93	35,70
superior	2129	3330	4301	40,64	41,42
superior	1800	2834	3668	36,43	37,18
superior	1788	2728	3501	33,90	35,09
superior	1746	2811	3659	37,26	37,66
superior	1714	2621	3401	32,91	35,37
superior	1874	2841	3717	34,65	38,54
superior	1756	2587	3386	30,69	35,99
superior	1868	2755	3551	32,35	35,89
superior	1716	2709	3592	35,35	38,74
superior	1955	2996	3778	36,61	35,41
superior	1825	2890	3884	37,24	42,12
superior	1871	2895	3738	36,18	37,48
superior	1881	2890	3599	35,79	32,80
superior	1882	2869	3639	35,18	34,99
superior	1552	2485	3304	33,69	36,66
superior	1720	2654	3448	33,72	35,83
superior	1847	2891	3753	36,71	38,10
superior	1682	2691	3520	35,77	37,01
superior	1751	2805	3645	36,97	37,36
superior	1627	2662	3495	36,46	37,15
superior	1795	2817	3691	36,13	38,47
superior	1704	2588	3440	32,27	37,77
superior	1898	2980	3908	37,69	40,17
superior	1796	2687	3461	32,49	35,11
superior	1914	2918	3775	35,67	37,89
superior	1793	2756	3461	34,52	32,69
superior	1996	3185	4153	40,35	41,35
superior	1918	2986	3890	37,33	39,40
superior	1798	2856	3672	37,08	36,55
superior	1905	2666	3450	28,52	35,48
superior	1921	2919	3750	35,49	37,08
superior	1880	2839	3833	34,41	42,08
superior	1809	2911	3865	38,21	40,94

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
superior	2012	3071	3939	37,10	38,27
superior	1703	2553	3216	31,24	31,08
superior	1885	2858	3634	34,80	35,22
superior	1833	2790	3629	34,35	37,35
superior	1870	2934	3743	37,24	36,35
superior	1714	2763	3549	36,82	35,54
superior	1705	2688	3488	35,08	36,02
superior	1847	2802	3535	34,31	33,70
superior	1801	2975	4106	39,98	45,79
superior	1747	2568	3326	30,41	34,56
superior	1883	2867	3705	35,09	37,30
superior	1764	2799	3555	36,49	34,49
superior	1739	2613	3399	31,99	35,52
superior	1876	2783	3556	32,96	35,09
superior	1860	3022	3882	39,69	38,01
superior	1916	2964	3910	36,82	40,70
superior	1824	2852	3775	36,31	39,97
superior	1869	2974	3969	38,28	42,14
superior	1824	2793	3542	34,67	34,26
temporal superior	1762	2956	3933	40,45	41,63
temporal superior	1712	2739	3588	36,27	37,66
temporal superior	1725	2781	3594	37,02	36,45
temporal superior	1727	2805	3762	37,59	41,02
temporal superior	1769	2758	3821	35,23	44,04
temporal superior	1489	2680	3858	40,38	46,96
temporal superior	1823	2810	3658	35,20	37,63
temporal superior	1791	2784	3718	35,36	40,35
temporal superior	1624	2644	3578	36,07	40,34
temporal superior	1673	2763	3575	37,90	36,46
temporal superior	1696	2985	4066	42,65	44,50
temporal superior	1663	2702	3636	36,58	40,35
temporal superior	1832	2745	3786	33,13	43,42
temporal superior	1676	2849	3747	39,98	39,21
temporal superior	1657	2552	3359	32,60	36,27
temporal superior	1814	3021	3963	40,76	40,59
temporal superior	1765	2717	3571	34,20	37,82
temporal superior	1724	2838	3717	38,52	38,61
temporal superior	1630	2710	3579	37,66	38,32
temporal superior	1699	2956	3958	41,93	42,33
temporal superior	1879	3006	3983	38,84	41,59

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
temporal superior	1757	2883	3826	38,80	40,59
temporal superior	2005	3268	4223	42,07	40,97
temporal superior	1710	2831	3740	38,69	39,57
temporal superior	1708	2836	3704	38,86	38,27
temporal superior	1676	2746	3641	37,40	39,12
temporal superior	1654	2661	3498	35,71	37,27
temporal superior	1836	2914	3983	37,59	44,20
temporal superior	1761	2798	3763	36,54	41,25
temporal superior	1800	2851	3758	36,91	39,50
temporal superior	1709	2840	3686	38,93	37,57
temporal superior	1902	3037	3969	39,04	40,28
temporal superior	1755	2871	3815	38,57	40,62
temporal superior	1787	2948	3898	39,67	40,82
temporal superior	1815	2970	3909	39,53	40,47
temporal superior	1798	2964	3888	39,80	40,04
temporal superior	1531	2398	3146	31,75	34,23
temporal superior	1637	2600	3427	34,53	36,93
temporal superior	1757	2884	3744	38,84	38,01
temporal superior	1611	2745	3733	39,02	41,93
temporal superior	1688	2857	3802	39,85	40,66
temporal superior	1601	2651	3585	36,88	40,32
temporal superior	1777	2870	3852	37,99	41,74
temporal superior	1654	2588	3449	33,69	38,08
temporal superior	1819	2896	3830	37,57	40,35
temporal superior	1709	2676	3541	34,63	38,20
temporal superior	1842	2986	3944	39,25	41,04
temporal superior	1836	3006	4239	39,89	48,26
temporal superior	1920	3219	4249	42,87	43,12
temporal superior	1818	3086	4096	42,18	42,54
temporal superior	1712	2912	3901	40,59	41,96
temporal superior	1863	2830	3731	34,63	39,32
temporal superior	1810	2879	3775	37,37	39,18
temporal superior	1780	2999	3947	41,04	40,76
temporal superior	1765	2812	3702	36,80	38,96
temporal superior	2008	3002	3936	35,38	40,33
temporal superior	1639	2576	3456	33,80	38,64
temporal superior	1781	2852	3759	37,40	39,52
temporal superior	1802	2924	3910	38,70	41,89
temporal superior	1809	3016	4016	40,78	42,26
temporal superior	1671	2712	3506	36,62	35,85

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
temporal superior	1648	2674	3521	36,23	37,63
temporal superior	1748	2841	3700	37,99	37,96
temporal superior	1784	2985	4028	40,63	43,47
temporal superior	1696	2655	3472	34,43	36,58
temporal superior	1797	2874	3759	37,56	38,81
temporal superior	1752	2877	3801	38,79	40,02
temporal superior	1645	2565	3416	33,31	37,70
temporal superior	1828	2805	3705	34,90	39,32
temporal superior	1827	2929	3902	38,22	41,49
temporal superior	1776	2877	3741	38,20	38,14
temporal superior	1787	2909	3801	38,71	39,05
temporal superior	1817	3116	4128	42,87	42,62
temporal superior	1803	2837	3797	36,46	41,10
temporal	1778	3041	4053	42,06	42,61
temporal	1756	2855	3701	38,15	37,57
temporal	1776	2947	3933	39,91	41,89
temporal	1710	2854	3958	39,26	45,09
temporal	1785	2892	3959	38,34	44,13
temporal	1696	2945	3894	41,74	40,80
temporal	1774	2889	3747	38,53	37,96
temporal	1763	2799	3716	36,48	39,82
temporal	1754	2960	3986	40,76	42,98
temporal	1718	2953	3893	41,44	40,50
temporal	1725	3098	4231	44,43	45,86
temporal	1713	2799	3742	37,80	40,62
temporal	1707	2733	3600	36,22	38,25
temporal	1661	2940	3947	42,42	42,46
temporal	1632	2641	3435	35,77	35,83
temporal	1886	3164	4336	42,38	46,83
temporal	1742	2768	3661	36,24	39,09
temporal	1778	3045	4078	42,13	43,22
temporal	1631	2777	3821	39,29	43,51
temporal	1654	2904	3941	41,75	43,32
temporal	1863	3125	4182	42,03	43,87
temporal	1730	3043	4131	43,16	44,68
temporal	1957	3293	4336	43,67	43,47
temporal	1727	2897	3905	39,89	42,50
temporal	1709	2886	3848	40,06	41,16
temporal	1693	2864	3842	39,91	41,64
temporal	1657	2812	3676	39,54	38,15

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
temporal	1821	3027	4085	40,73	43,87
temporal	1757	2928	3922	39,92	42,08
temporal	1783	2966	3911	40,18	40,67
temporal	1800	3010	4030	40,83	42,83
temporal	1883	3220	4344	43,68	45,62
temporal	1795	3009	4019	40,93	42,54
temporal	1778	3100	4185	43,35	44,6
temporal	1812	3032	4134	41,07	45,04
temporal	1733	2968	3978	41,42	42,56
temporal	1662	2744	3635	37,71	39,02
temporal	1633	2807	3687	39,98	38,67
temporal	1754	2994	4026	41,53	43,17
temporal	1663	2931	4054	42,15	45,59
temporal	1745	2998	4192	41,82	47,35
temporal	1647	2703	3623	37,03	39,92
temporal	1811	3074	4085	42,06	42,58
temporal	1630	2642	3508	35,86	38,23
temporal	1802	2996	4067	40,45	44,23
temporal	1631	2726	3636	38,04	39,59
temporal	1845	3117	4155	42,26	43,33
temporal	1755	2875	3873	38,66	42,23
temporal	1910	3198	4255	42,63	43,83
temporal	1784	3113	4130	43,49	42,77
temporal	1727	3150	4185	45,47	43,26
temporal	1858	3100	4141	41,57	43,44
temporal	1794	2952	3924	39,61	41,45
temporal	1797	3166	4312	44,35	46,19
temporal	1779	3001	4009	41,13	42,48
temporal	2104	3551	4627	45,93	44,39
temporal	1624	2684	3537	37,14	37,77
temporal	1772	2910	3831	39,09	39,95
temporal	1795	3077	4178	42,47	45,03
temporal	1776	3126	4238	43,96	45,32
temporal	1640	2715	3546	37,50	37,08
temporal	1626	2686	3624	37,15	40,46
temporal	1736	2995	4051	41,95	43,84
temporal	1842	3105	4106	42,05	42,31
temporal	1675	2755	3598	37,64	37,47
temporal	1763	2939	3789	40,03	37,70
temporal	1747	2876	3815	38,88	40,48

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
temporal	1632	2792	3669	39,64	38,55
temporal	1853	3026	3976	39,97	40,80
temporal	1758	2818	3786	37,15	41,35
temporal	1709	2819	3636	38,41	36,58
temporal	1815	2935	3892	38,67	41,01
temporal	1846	3310	4462	46,28	46,33
temporal	1753	2927	3870	39,99	40,59
temporal inferior	1720	3059	4151	43,73	44,78
temporal inferior	1741	2895	3792	39,49	39,20
temporal inferior	1706	2928	3866	41,12	40,47
temporal inferior	1640	2802	3823	39,67	42,88
temporal inferior	1814	2982	4045	39,86	44,00
temporal inferior	1856	3215	4326	44,14	45,30
temporal inferior	1783	3040	4018	41,92	41,64
temporal inferior	1755	2818	3767	37,21	40,76
temporal inferior	1796	3196	4311	45,00	45,40
temporal inferior	1683	2968	3990	42,53	42,90
temporal inferior	1720	3013	4143	42,71	45,78
temporal inferior	1700	2801	3724	38,17	40,03
temporal inferior	1665	2775	3648	38,42	38,44
temporal inferior	1649	3001	4145	43,99	46,12
temporal inferior	1613	2702	3615	37,86	39,70
temporal inferior	1883	3222	4366	43,72	46,14
temporal inferior	1712	2792	3750	37,64	41,07
temporal inferior	1747	3003	3989	41,92	41,86
temporal inferior	1598	2810	3818	40,88	42,51
temporal inferior	1629	2875	3892	41,68	42,75
temporal inferior	1823	3256	4335	45,67	44,45
temporal inferior	1670	3034	4159	44,24	45,67
temporal inferior	1958	3358	4405	45,02	43,58
temporal inferior	1763	2973	3985	40,84	42,63
temporal inferior	1696	2988	3975	42,71	41,89
temporal inferior	1672	2939	4150	42,15	47,73
temporal inferior	1641	2755	3795	38,50	43,39
temporal inferior	1755	2956	3980	40,60	42,95
temporal inferior	1698	2898	3876	40,59	41,64
temporal inferior	1714	2976	3916	42,03	40,51
temporal inferior	1782	3008	4014	41,23	42,42
temporal inferior	1799	3194	4303	44,89	45,23
temporal inferior	1807	3110	4152	42,94	43,46

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
temporal inferior	1763	3220	4305	46,14	44,61
temporal inferior	1721	2906	3883	40,24	41,61
temporal inferior	1714	2938	3916	41,18	41,62
temporal inferior	1677	2758	3619	37,66	38,08
temporal inferior	1620	2919	3874	42,87	40,96
temporal inferior	1742	3090	4162	43,90	44,27
temporal inferior	1661	2969	4125	43,06	46,43
temporal inferior	1735	3113	4215	44,55	45,05
temporal inferior	1681	2829	3797	39,36	41,36
temporal inferior	1814	3117	4301	42,94	47,11
temporal inferior	1660	2735	3669	37,52	40,32
temporal inferior	1849	3233	4293	44,67	43,94
temporal inferior	1602	2751	3656	39,37	39,46
temporal inferior	1843	3167	4282	43,41	45,38
temporal inferior	1712	2924	3977	40,88	43,75
temporal inferior	1929	3292	4396	44,24	45,10
temporal inferior	1724	3149	4301	45,50	46,31
temporal inferior	1679	3037	4193	44,12	46,44
temporal inferior	1793	3147	4193	44,04	43,56
temporal inferior	1751	3030	4134	42,41	45,11
temporal inferior	1777	3207	4338	45,61	45,80
temporal inferior	1736	2976	4076	41,54	45,01
temporal inferior	2032	3533	4751	46,99	47,92
temporal inferior	1574	2731	3579	39,57	37,62
temporal inferior	1702	2948	4000	41,67	43,73
temporal inferior	1732	3027	4030	42,78	42,36
temporal inferior	1746	3093	4220	43,88	45,70
temporal inferior	1600	2731	3591	38,94	38,00
temporal inferior	1600	2771	3784	39,92	42,63
temporal inferior	1688	3022	4069	43,61	43,58
temporal inferior	1893	3237	4333	43,82	44,92
temporal inferior	1666	2778	3639	38,46	38,07
temporal inferior	1751	3057	4064	43,02	42,48
temporal inferior	1719	2928	3894	40,79	41,30
temporal inferior	1580	2825	3739	41,64	39,73
temporal inferior	1781	3059	4069	42,39	42,57
temporal inferior	1785	3006	4104	41,11	44,92
temporal inferior	1748	2965	3984	41,00	42,80
temporal inferior	1835	3047	4096	40,89	43,64
temporal inferior	1823	3398	4574	48,36	46,93

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
temporal inferior	1710	2972	3986	42,03	42,67
inferior	1747	3034	4023	42,61	41,94
inferior	1799	2944	3864	39,29	39,88
inferior	1736	2902	3841	39,80	40,47
inferior	1708	2891	3903	40,20	42,62
inferior	1907	3087	4096	40,13	42,54
inferior	1975	3259	4404	42,53	46,14
inferior	1871	3063	3951	40,40	38,92
inferior	1824	2848	3677	36,17	37,02
inferior	1851	3071	4076	41,07	42,42
inferior	1720	2882	3727	39,70	37,52
inferior	1812	2989	3983	40,07	42,08
inferior	1767	2758	3596	35,30	37,31
inferior	1710	2813	3747	38,23	40,33
inferior	1723	2986	3945	42,05	41,09
inferior	1683	2661	3422	34,95	34,67
inferior	1948	3203	4167	41,88	41,22
inferior	1720	2814	3628	38,02	36,50
inferior	1774	2943	3894	39,87	40,82
inferior	1641	2808	3719	39,81	39,64
inferior	1666	2856	3801	40,36	40,67
inferior	1880	3158	4095	42,40	40,41
inferior	1689	2936	3939	41,70	42,37
inferior	2085	3475	4489	44,78	42,69
inferior	1857	3025	3897	39,86	38,39
inferior	1753	2997	3877	41,61	38,67
inferior	1723	2902	3889	40,10	41,88
inferior	1702	2866	3634	39,76	34,89
inferior	1799	2966	3957	39,80	42,01
inferior	1732	2822	3668	37,91	37,57
inferior	1740	2959	3862	41,05	39,38
inferior	1859	2995	3945	39,05	40,83
inferior	1828	3128	4213	42,89	44,61
inferior	1891	3169	4153	42,41	41,79
inferior	1857	3223	4190	44,30	41,31
inferior	1759	2959	3912	40,59	40,91
inferior	1833	3078	4009	41,65	40,24
inferior	1756	2735	3593	34,96	37,96
inferior	1679	2841	3700	39,68	37,98
inferior	1792	3058	3990	42,12	40,26

Durchmesser	10,00 mm	12,80 mm	15,00 mm	Limbalwinkel (12,80 mm)	Skleralwinkel (15,00 mm)
Meridian	sagH μm	sagH μm	sagH μm	Grad (°)	Grad (°)
inferior	1724	2906	3871	40,18	41,26
inferior	1748	2990	3919	41,58	40,19
inferior	1748	2843	3707	38,04	38,14
inferior	1879	3126	4076	41,69	40,81
inferior	1732	2835	3757	38,23	39,96
inferior	1944	3189	4133	41,66	40,62
inferior	1677	2865	3766	40,31	39,34
inferior	1868	3214	4239	43,86	43,00
inferior	1787	2919	3732	38,96	36,44
inferior	2015	3243	4299	41,25	43,83
inferior	1749	3108	4218	44,16	45,27
inferior	1737	2935	3909	40,55	41,54
inferior	1794	2983	3898	40,35	39,75
inferior	1804	3043	4069	41,50	43,00
inferior	1847	3180	4247	43,60	44,15
inferior	1796	3042	4041	41,66	42,24
inferior	2026	3312	4320	42,57	42,50
inferior	1592	2766	3623	40,00	37,92
inferior	1714	2920	3842	40,75	39,95
inferior	1784	3011	3919	41,24	39,52
inferior	1813	3088	4055	42,32	41,31
inferior	1685	2825	3762	39,17	40,43
inferior	1634	2798	3738	39,74	40,52
inferior	1747	2955	3864	40,78	39,55
inferior	2022	3362	4362	43,75	42,28
inferior	1727	2741	3544	35,90	36,14
inferior	1819	3074	4048	41,88	41,52
inferior	1755	2869	3795	38,50	40,10
inferior	1644	2826	3664	40,16	37,32
inferior	1802	2971	3831	39,85	38,03
inferior	1861	3085	4032	41,16	40,74
inferior	1905	3231	4280	43,44	43,64
inferior	1923	3094	4033	39,89	40,51
inferior	1894	3292	4334	44,96	43,44
inferior	1751	2882	3829	38,95	40,71