

**Analyse der Vorderabschnittsmorphologie in  
Abhängigkeit von Refraktion und Achsenlänge  
mittels Pentacam<sup>®</sup> HR, IOLMaster<sup>™</sup> und Autorefrak-  
tometer bei Kindern und Jugendlichen**

**INAUGURALDISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Medizin der  
Justus-Liebig-Universität Gießen



vorgelegt von

**Reinhold, Josephin**  
aus Halle (Saale)

Gießen 2018

Aus der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde der  
Justus-Liebig-Universität Gießen

Direktorin/ Leiterin: **Prof. Dr. med. Birgit Lorenz**

1. Gutachter: Frau Prof. Dr. med. Birgit Lorenz  
2. Gutachter: Herr Prof. Dr. med. Thomas Krzizok  
Tag der Disputation: 20.04.2018

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Beweggründe und Ziele der Arbeit .....	1
1.2	Anatomie des vorderen Augenabschnitts .....	3
<b>2</b>	<b>Patienten</b> .....	<b>8</b>
2.1	Patientenpopulation.....	8
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>10</b>
3.1	Dokumentation der Datenerhebung.....	10
3.2	Bildgebende Diagnosegeräte .....	10
3.3	Statistische Datenanalyse .....	14
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>16</b>
4.1	Ergebnisse Autorefraktometer.....	19
4.2	Ergebnisse IOLMaster™ .....	30
4.3	Ergebnisse Pentacam® HR.....	40
4.4	Korrelation zwischen den Diagnosegeräten.....	55
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>60</b>
5.1	Messqualität.....	60
5.2	Sphärisches Äquivalent und Refraktionsdiagnose .....	61
5.3	Astigmatismus.....	62
5.4	Augachsenlänge.....	63
5.5	Hornhautdicke .....	64
5.6	Kammerwerte.....	68
5.7	Linsendichte .....	71
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>Summary</b> .....	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>76</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>90</b>
<b>12</b>	<b>Publikationsverzeichnis</b> .....	<b>94</b>
<b>13</b>	<b>Ehrenwörtliche Erklärung</b> .....	<b>95</b>
<b>14</b>	<b>Danksagung</b> .....	<b>96</b>

# 1 Einleitung

In den folgenden Ausführungen werden zunächst die Beweggründe zur Durchführung dieser Arbeit und die daraus abgeleiteten Ziele beschrieben. Abschließend werden die Grundlagen zur vorderen Augenabschnittsanatomie dargestellt.

## 1.1 Beweggründe und Ziele der Arbeit

Die Untersuchung von Kinderaugen zur Bestimmung der Refraktion und zur Erkennung von Erkrankungen im vorderen Augenabschnitt, wie z.B. Keratokonus, Glaukom, stellt in der klinischen Routine eine Herausforderung dar. Das Gleiche gilt auch für Voruntersuchung zur Kontaktlinsenanpassung bei jungen Patienten mit Hornhautverkrümmung und nach Katarakt. Im klinischen Alltag werden Kinderaugen in der Regel mit einer Handspaltlampe, in z.B. 10- oder 16-facher Vergrößerung, zur Erhebung des Organbefundes untersucht. Die objektive Refraktion kann mittels Autorefraktometer und Skiaskopie bestimmt werden. Um Informationen über die Vorderkammertiefe und Größe des Kammerwinkels zu gewinnen, benötigt man spezielle Untersuchungsgeräte, wie z.B. die Gonioskopie. Hierbei wird nach Lokalanästhesie das Gonioskop direkt auf die Hornhaut gesetzt. Die Hornhautdicke kann zum einen mit der Ultraschallbiometrie bestimmt werden, wobei der Schallkopf nach Applikation eines Anästhetikums kontaktierend auf das Auge gesetzt wird. Zum anderen können durch den Einsatz von nicht-invasiven Geräten, wie bspw. OCT- (optische Kohärenz-Tomographie) oder Orbscan, Informationen über die Augenvordergrund- und -hintergrundmorphologie sowie die korneale Topographie gewonnen werden.

Durch den Einsatz der Pentacam<sup>®</sup>, die mit Hilfe einer Scheimpflugkamera den vorderen Augenabschnitt kontaktfrei rekonstruiert, können schnell und bedienerfreundlich u.a. Informationen über Vorderkammertiefe, Dicke und Dichte der Linse, Pupillengröße, Hornhautmorphologie und Kammerwinkel gesammelt werden, für deren Ermittlung bisher mehrere Untersuchungsgeräte benötigt wurden. Daraus resultiert der Vorteil, dass die Entwicklung des menschlichen Auges auch im Kinder- und Jugendalter zur Früherkennung von Erkrankungen im vorderen Augenabschnitt beurteilt werden kann. In den meisten publizierten Studien wurden mit Hilfe der Pentacam<sup>®</sup> Normalwerte des vorderen Augenabschnittes für Erwachsene ermittelt. Aktuell existiert in der Literatur nur eine geringe Anzahl von Normalwerten der vorderen Augenabschnittsmorphologie im Vorschul- und Schulkindalter, die hauptsächlich an chinesischen Kinderaugen erfasst worden sind. Zur Beurteilung potentieller ethnischer Unterschiede fehlen bisher ausreichend Daten von kaukasischen Kindern und Jugendlichen.

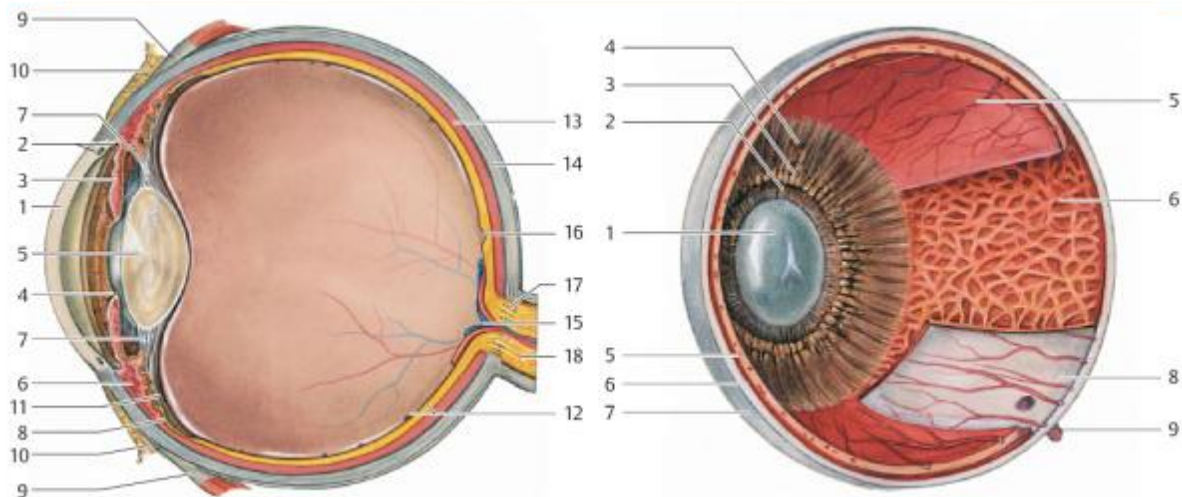
Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte eine explorative Datenauswertung der Werte des vorderen Augenabschnittes von kaukasischen Kindern und Jugendlichen im Alter von 3 bis 17 Jahren, die mit Hilfe von Pentacam<sup>®</sup> HR, IOLMaster<sup>™</sup> und Autorefraktometer NIDEK AR-610 ermit-

telt worden sind. Des Weiteren sollten die Ergebnisse der Pentacam® HR auf eine Korrelation mit den Ergebnissen des Autorefraktometers bzw. des IOLMaster™ überprüft werden. Ein weiteres Ziel bestand darin zu untersuchen, ob Faktoren wie Alter, Geschlecht und Refraktion Einfluss auf u.a. Vorderkammertiefe, Augachsenlänge und Hornhautdicke nehmen. Darüber hinaus sollte mit Hilfe der Ergebnisse eine Empfehlung gegeben werden, ab welcher Altersgruppe eine Untersuchung mit der Pentacam® HR sinnvoll ist.

Der Nutzen dieser Arbeit für die Behandlung zukünftiger Patienten besteht u.a. darin, verbesserte Kenntnisse der nicht invasiven Methoden zu erlangen, um auf invasive Untersuchungen, wie z.B. Ultraschall-Pachymetrie, verzichten und Verletzungs- und Infektionsrisiken minimieren zu können. Zusätzlich ergibt sich die Möglichkeit, in einem frühen Stadium pathologische Veränderungen bei Kindern und Jugendlichen effektiv und augenschonend identifizieren und therapieren zu können, um den Erhalt und Gewinn von Sehvermögen sicherzustellen. Ebenfalls können Krankheitsverläufe besser dokumentiert und Behandlungserfolge genauestens kontrolliert werden.

## 1.2 Anatomie des vorderen Augenabschnitts

In der Orbita, der knöchernen Augenhöhle, liegt das menschliche Auge weitestgehend geschützt vor äußeren Einwirkungen. Zu den Bestandteilen der vorderen Augenabschnittsmorphologie zählen die Augenlider, die Bindehaut (Konjunktiva), die Hornhaut (Cornea), die Augenvorderkammer, die Regenbogenhaut (Iris), die Linse (Lens) sowie die Pupille [Sachsenweger 2003], siehe Abbildung 1-1.



**Abbildung 1-1: Längsschnitt (links) und Querschnitt (rechts) durch das menschliche Auge [Sachsenweger 2003]**

### Längsschnitt:

1. Hornhaut (Kornea)
2. Kammerwinkel mit Schlemmschem Kanal
3. Regenbogenhaut (Iris) mit radiären und zirkulären Muskelfasern
4. Pupille
5. Linse
6. Ziliarkörper (Corpus ciliare) mit dem M. ciliaris
7. Zonulafasern (Zonula ciliaris, Zonula zinnii, Aufhängepaket der Linse)
8. Pars plana der Netzhaut
9. Augenmuskelansätze
10. Bindehaut (Konjunktiva)
11. Glaskörpergrenzmembran
12. Netzhaut (Retina) mit ihren Gefäßen
13. Aderhaut (Chorioidea)
14. Lederhaut (Sklera)
15. A. und V. centralis retinae
16. Makula
17. Lamina cribrosa
18. Sehnerv (Fasciculus opticus)

### Querschnitt:

1. Linse
2. Zonulafaser (Zonula ciliaris, Zonula zinnii, Aufhängepaket der Linse)
3. Ziliarkörperzotten
4. Ziliarkörper (Corpus ciliare)
5. Netzhaut (Retina)
6. Aderhaut (Chorioidea)
7. Lederhaut (Sklera)
8. Lederhaut (Sklera)
9. Vortexvene

### **Bindehaut (Konjunktiva)**

Als Conjunctiva bulbi verläuft die transparente Bindehaut vom Limbus corneae zur Fornix conjunctivae, der sogenannten Übergangsfalte zwischen Lid und Bulbus, und mündet als Conjunctiva tarsi in die Augenlidrückflächen [Kanski 2008]. Die Conjunctiva bulbi besteht aus einem unverhornten, mehrschichtigen Plattenepithel, das reich an Becherzellen ist. Hauptaufgabe der Becherzellen ist die Bildung eines merokrinen Sekrets, welches das Auge anfeuchtet und ihm eine ölig glänzende Oberfläche verleiht. So wie die Conjunctiva bulbi besteht die Conjunctiva tarsi aus einem mehrschichtigen, nicht verhornenden Zylinderepithel, das reich an Plasmazellen und Lymphozyten ist und somit das Auge vor Erregern schützt [Kaufmann 2003]. Die Lederhaut (Sklera) verläuft vom Limbus corneae bis zum Fasciculus opticus, wobei das äußere Drittel der Sklera in die Dura mater der Optikussehne übergeht. Histologisch wird die Sklera in die Episklera, Stroma und Lamina fusca gegliedert. Der vordere Anteil der Episklera mündet in das subkonjunktivale Stroma und ist gefäß- und zellreich. Im Stroma finden sich dicht gepackte, unregelmäßig verlaufende Kollagenfasern, vor allem vom Typ I und III. Das verleiht der Lederhaut eine derbe, feste, weiße Form. Bündel von Kollagenen, Makrophagen sowie Melanozyten finden sich in der Lamina fusca. Hauptaufgaben der Sklera sind der Schutz des Augapfels durch ihre derbe, ballonartige Form sowie Ansatzfläche für die extraokulären Muskeln und den Ziliarmuskel [Kaufmann 2003]. Der Ziliarkörper erstreckt sich von der Iriswurzel bis zur Ora serrata. Hauptbestandteil ist der Musculus ciliaris, der aus glatten, ringförmigen Muskelfasern besteht und am Sklerasporn ansetzt. Zu den Funktionen zählen die Regulation der Akkommodation und die Bildung von Kammerwasser in den Ziliarfortsätzen, die die Linse, Cornea, und Glaskörper ernähren sowie den intraokulären Druck aufrechterhalten [Naumann 1997].

### **Hornhaut (Cornea)**

Die Hornhaut (Cornea) übernimmt mit 43 dpt den größten Anteil der Gesamtbrechkraft des menschlichen Auges. Dies lässt sich einerseits durch ihre meniskus-artige Krümmung und andererseits durch ihre Transparenz erklären. Diese Voraussetzungen ermöglichen es, dass die Lichtstrahlen optimal auf die Retina projiziert werden können [Lang 2014]. Die Cornea besitzt bei jungen Erwachsenen einen durchschnittlichen horizontalen Durchmesser von 12,6 mm und einen vertikalen von 11,7 mm. Der periphere Anteil der Hornhaut ist mit 0,67 mm flacher und dicker im Vergleich zum sphärischen Zentrum mit 0,52 mm [Kaufmann 2003]. Zu dem histologischen Aufbau der Cornea zählen das Hornhautepithel, die Bowman-Lamelle, das Hornhautstroma, die Descemet-Membran und das Hornhautendothel. Die Hornhautoberfläche besteht aus einem mehrschichtigen, unverhornten Plattenepithel, das rasch regenerationsfähig ist und der Keimabwehr dient. Direkt an die Basalmembran angrenzend befindet sich die nicht regenerationsfähige Bowman-Membran, die 12 µm dick

ist und die Hornhaut stabilisiert. Das daran angrenzende Hornhautparenchym besteht aus multiplen Keratozyten, eingelagerten Proteoglykanen und den regelmäßig angeordneten kollagenen Fibrillen, die der Cornea die typische ovale Krümmung geben. Des Weiteren handelt es sich beim Hornhautstroma um ein bradytrophes Gewebe, das bei Schädigung unter Narbenbildung heilt. Die Descemet-Membran ist eine derbe, elastische und regenerationsfähige Membran, die das Parenchym von innen abschließt. Die Hinterfläche der Cornea ist das Hornhautendothel, das ebenfalls nicht regenerationsfähig ist und aus einer einschichtigen hexagonalen Zellschicht besteht. Bei Schädigung werden Zelldefekte durch Vergrößerung des Zellvolumens kompensiert [Kaufmann 2003]. Die Cornea wird im zweiten Embryonalmonat angelegt, wobei das Hornhautepithel ektodermalen Ursprung und die tieferen Hornhautschichten mesenchymalen Ursprung haben. Die Transparenz der Cornea wird zum einen durch die regelmäßige Schichtung der Kollagenfibrillen und den kontinuierlichen Wassergehalt im Stroma und zum anderen durch die glatte Epithel- und Endotheloberfläche sichergestellt. Insgesamt ist die Cornea nahezu gefäßfrei und zellarm. Ihre Ernährung wird hauptsächlich durch Diffusion aus den Bindehautgefäßen, dem Kammerwasser und der Tränenflüssigkeit gewährleistet. Des Weiteren ist die Cornea sehr schmerzempfindlich, weil Äste des ersten Trigeminasastes in das Hornhautstroma münden und somit auch als Schutzfunktion durch reflektorischen Lidschluss bei z.B. Berührungen, Eindringen von Noxen, dienen [Lang 2014].

### **Vorderkammer**

Hinter der Cornea liegt die Vorderkammer, wobei sie dorsal von der Iris und Linse und lateral von den Kammerwinkeln begrenzt wird. Eine flache, enge Vorderkammer findet sich häufig bei Menschen mit Hyperopie und kann das Risiko für einen Glaukomanfall erhöhen. Eine tiefe Vorderkammer zeigt sich gehäuft bei myopen Augen [Lang 2014]. Im Mittel beträgt die Vorderkammertiefe 3,65 bis 3,70 mm und nimmt mit zunehmendem Alter zwischen 30 und 50 Jahren [Calmettes 1958], [Stenström 1946], [Bleekers 1960], [Törnquist 1953] aufgrund der Volumenzunahme der Linse ab [Tsorbatzoglou 2007]. Durch einen Akkommodationsstimulus zwischen 3,0 und 9,0 dpt konnte eine Abnahme der Vorderkammertiefe festgestellt werden [Tsorbatzoglou 2007], [Lin 2014], [Li 2014].

In der Vorderkammer befindet sich das Kammerwasser. Das Kammerwasser wird im Epithel der Processus ciliares majores des Ziliarkörpers gebildet und fließt von der hinteren Augenkammer zwischen Iris und Linse in die vordere Augenkammer. Der Hauptteil des Kammerwasserabflusses erfolgt druckabhängig über das Trabekelwerk in den Schlemm-Kanal [Augustin 2007]. Von dort aus gelangt es in die episkleralen und konjunktivalen Venen. Der restliche Teil des Kammerwassers wird druckunabhängig über den uveoskleralen Weg abtransportiert. Im Allgemeinen ist der intraokuläre Druck (im Mittel 15 mmHg) von dem Verhältnis

von Kammerwasserproduktion und -abfluss abhängig. Die Produktion des Kammerwassers, deren Grundlage das Blutplasma ist, wird über Ultrafiltration, aktive Transportprozesse (wie z.B. ATPase, Adenylatzyklase, Carboanhydrase) sowie Diffusion ermöglicht. Zum einen ist die Menge des gebildeten Kammerwassers abhängig vom onkotischen Druck im Blutplasma sowie vom Blutdruck, des Weiteren unterliegt das Volumen des Kammerwassers tagesabhängigen Schwankungen und nimmt im Alter ab [Kaufmann 2003].

### **Iris**

Die Regenbogenhaut ist ca. 2 mm dick und bildet zusammen mit der Linse eine Art Diaphragma, die das Auge in einen vorderen und hinteren Augenabschnitt unterteilt. Embryonalgeschichtlich entwickeln sich das Irisepithel und die glatte Irismuskulatur des Sphincter pupillae und des Musculus dilatator pupillae, die die Pupillenweite regulieren, aus dem neuroektodermalen Blatt. Das Irisstroma entstammt dem Mesoderm. Die Iris ist sehr gefäßreich, wobei das Endothel der Regenbogenhautgefäße für die Blut-Kammerwasser-Schranke verantwortlich ist und hierüber verhindert, dass Eiweißmoleküle aus dem Blut in das Kammerwasser treten. Die Hauptaufgaben der Iris sind die Regulation der Temperatur im Auge über die Blut-Kammerwasser-Schranke sowie die Regulation des Lichteinfalls in das Auge. Die Augenfarbe des Menschen wird durch den Melaningehalt der uvealen Melanozyten, die sich im Irisstroma befinden, bestimmt. Bei Säuglingen sind die Pigmentzellen und somit der Melaningehalt noch unvollständig. Daher imponiert die Augenfarbe des Neugeborenen grau-blau. Erst im Verlauf und in Abhängigkeit der uvealen Melanozyten wird die Iris dunkler pigmentiert [Naumann 1997].

Die Pupille, auch Irisblende genannt, entspricht der zentralen Aussparung in der Regenbogenhaut. Ihre Hauptfunktion stellt die Regulation der einfallenden Lichtstrahlen auf die Retina mit Hilfe des parasympathisch innervierten Musculus sphincter pupillae und dem Musculus dilatator pupillae, der sympathisch innerviert wird, dar. Bei Neugeborenen findet sich eine eher eng gestellte Pupille, weil der Musculus dilatator pupillae noch nicht vollständig entwickelt ist. Durch den erhöhten Einfluss des Sympathicus in der Pubertät zeigt sich bei Jugendlichen eine relativ weite Pupille, die im Laufe des Lebens enger wird [Lang 2014].

### **Linse**

Als Bestandteil des Iris-Linsen-Diaphragmas liegt die in der Kindheit klare Augenlinse in der Fossa hyaloidea und trennt den vorderen vom hinteren Augenabschnitt. Die Form der Linse ist bikonvex und fokussiert das einstrahlende Licht exakt auf die Retina. Die Zonulafasern des Ziliarkörpers inserieren in die Äquatorregion der Linsenkapsel und spannen die Linse dadurch auf. In Abhängigkeit von der Akkommodation besitzt die Augenlinse einen variablen Brechwert von 10 bis 20 dpt der Gesamtbrechkraft des Auges. Bei z.B. Fokussierung auf die Nähe zieht sich der Musculus ciliaris im Ziliarkörper zirkulär zusammen mit dem Resultat,

dass sich die Zonulafasern entspannen, sich die Linse kugelig abrundet und somit die Brechkraft zunimmt. [Kanski 2008]. Die Augenlinse ist gefäß- und nervenfrei, so dass ihre Ernährung primär über Diffusion aus dem Kammerwasser gewährleistet wird. Der Linsenaufbau gliedert sich in eine Kapsel-, Rinden- und Kernregion, die Linse ist embryonalgeschichtlich ektodermaler Herkunft. Das einschichtige Linsenepithel befindet sich unter der vorderen, äquatorialen Kapsel und bildet Linsenfasern, die sich schalenartig übereinander legen. Die Wachstumsrichtung der Linsenzellen ist nicht wie in anderen Organen zentrifugal ausgerichtet, sondern entgegengesetzt. Dabei befinden sich die neuen Zellen an der Linsenoberfläche und die älteren Zellen wandern zum Linsenzentrum. Des Weiteren findet aufgrund der dichten Linsenkapsel keine Zellabstoßung statt. Dies führt zu einer lebenslangen Gewichts- und Größenzunahme der Augenlinse sowie dem Verlust an Transparenz [Kaufmann 2003].

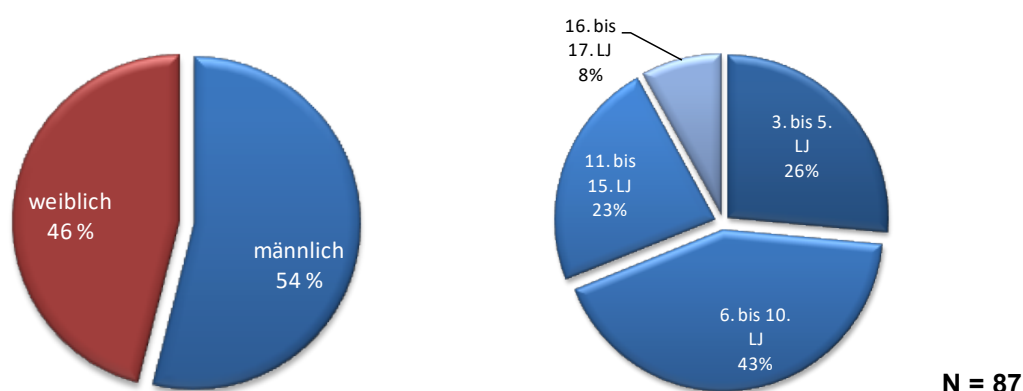
## 2 Patienten

Die Patientendaten wurden im klinischen Betrieb der Strabismus-, Kinderneuroophthalmologie- und allgemeinen Sprechstunde des Universitätsklinikums Gießen, Fachbereich Augenheilkunde, im Zeitraum von Februar bis April 2009 erhoben. Es wurden 87 Kinder und Jugendliche identifiziert, bei denen Untersuchungen mittels Pentacam® HR erfolgt sind. Die Augenklinik am Universitätsklinikum Gießen eignet sich aufgrund ihrer Schwerpunkte der Kinderaugenheilkunde, Strabologie, genetischen Augenheilkunde und Neuroophthalmologie für die Auswertung kindlicher Daten. Die retrospektive Studie wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Medizin-Informatik des Universitätsklinikums Gießen durchgeführt.

### 2.1 Patientenpopulation

Aufgrund des sehr speziellen und teuren Diagnosegerätes Pentacam® HR gibt es faktisch in Kinderarztpraxen keine vergleichenden Messungen der drei Diagnosegeräte Autorefraktometer, IOLMaster™ und Pentacam® HR, weshalb auf Daten aus der Augenklinik zurückgegriffen wurde. Die im Rahmen dieser Studie ausgewerteten Daten wurden bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 3 bis 17 Jahren erhoben, die sich teilweise aufgrund pathologischer Veränderungen des Auges in der Augenklinik vorstellten. Daraus resultierte eine Datenerhebung abweichend von einer Normalpopulation, die in dieser Arbeit durch Ein- und Ausschlusskriterien berücksichtigt wurde. Die Auswertungen erfolgten an Daten aus vergleichenden Messungen des vorderen Augenabschnittes (Korneavorder- und -rückfläche, Vorderkammer und Linse) der o.a. bildgebenden Diagnosegeräte.

Abbildung 2-1 stellt den Geschlechteranteil sowie die Altersverteilung (LJ = Lebensjahr) der Patienten dar, wobei von 87 Teilnehmern 40 weiblich und 47 männlich waren.



**Abbildung 2-1: Geschlechteranteil (links) und Altersverteilung (rechts) der Patienten**

Die Einteilung der Patienten in Altersgruppen zeigt auf, dass 26 % aller Patienten (N = 23) ein Alter zwischen 3 und 5 Jahren hatten. Die Altersgruppe von 6 bis 10 Jahren machte mit 43 % (N = 37) den größten Anteil aus. Bei 23 % aller Teilnehmer (N = 20) lag das Alter zwi-

schen 11 und 15 Jahren, 8 % (N = 7) waren zwischen 16 und 17 Jahren alt. Das durchschnittliche Alter der Patienten lag bei 8,8 Jahren  $\pm$  4,0 Jahre (SD) (Median 8,0 Jahre, von 3,0 bis 17,0 Jahre), wobei die männlichen Patienten im Durchschnitt 8,0 Jahre  $\pm$  3,3 Jahre (SD) (Median 7,0 Jahre, von 3,0 bis 17,0 Jahre) und die weiblichen 9,7 Jahre  $\pm$  4,5 Jahre (SD) (Median 9,0 Jahre, von 3,0 bis 17,0 Jahre) alt waren.

Zu den Einschlusskriterien der explorativen Analyse zählten Daten augengesunder Patienten, Patienten mit Strabismus (Phorie, Tropie, Hebungseinschränkung), Patienten mit Hyperopie und Myopie sowie Patienten mit Liderkrankungen. Des Weiteren wurden Daten von Patienten mit Erkrankungen des vorderen Augenabschnitts (Dermoid) und Erkrankungen des hinteren Augenabschnitts (Papillitis, Papillenschwellung, Makuladystrophie, Visusstörung, Hemianopsie) ausgewertet. Ausgeschlossen wurden oberflächliche Augenerkrankungen (bspw. Bindehautentzündung) und dichte Trübungen der optischen Medien, da diese eine Messung mittels Pentacam<sup>®</sup> HR qualitativ beeinflussen können [Huebscher 1999].

### 3 Material und Methoden

In den folgenden Ausführungen werden die eingesetzten Materialien und Methoden beschrieben.

#### 3.1 Dokumentation der Datenerhebung

Die Datenerhebung, die als Grundlage für die retrospektive Auswertung dieser Arbeit diente, erfolgte in der klinischen Routine zur Diagnostik ophthalmologischer Erkrankungen in der Augenklinik am Universitätsklinikum Gießen. Je nach Mitarbeit der Patienten erfolgten eine oder mehrere Messungen pro Auge (rechtes und/oder linkes Auge) mit der Pentacam® HR, mit dem IOL-Master sowie dem Autorefraktometer, wobei diese stets von ein und derselben ausführenden Person betreut wurden. Die Reihenfolge der Geräte zur Untersuchung der vorderen Augenabschnittsmorphologie der Kinder und Jugendlichen wurde konstant gehalten, d.h. es erfolgten zunächst Messungen mit der Pentacam® HR, darauf folgten der IOL-Master™ und zuletzt das Autorefraktometer, wobei jeweils immer zuerst das rechte und im Anschluss daran das linke Auge vermessen wurde.

#### 3.2 Bildgebende Diagnosegeräte

Im Rahmen der Dissertation werden, wie bereits einleitend beschrieben, Untersuchungsergebnisse von drei unterschiedlichen, bildgebenden Diagnosegeräten dargestellt und diskutiert.

##### **NIDEK AR-610 Autorefraktometer**

Das Diagnosegerät Autorefraktometer AR-610 (NIDEK CO., LTD., Hiroishi) misst kontaktlos und automatisiert die objektive Brechkraft der Augen mittels Infrarotstrahlen [NIDEK 2007]. Die Refraktion wird durch Analyse der Fundusreflexion des auf das Auge fallenden Infrarotlichtes ermittelt, wobei der Median aus drei Einzelmessungen ausgegeben wird, die innerhalb von 0,3 Sekunden abgeschlossen sind.



**Abbildung 3-1: Autorefraktometer NIDEK AR-610 [NIDEK 2013]**

Mit Hilfe des Autorefraktometers wird ein Korrekturglas mit sphärischer und zylindrischer Wirkung und Zylinderachse ermittelt.

### **Carl ZEISS Meditec IOLMaster™**

Bei dem Diagnosegerät IOLMaster™ (Carl ZEISS Meditec AG, Jena, Geräteklasse IIa) handelt es sich um ein Biometriegerät, das die Augachsenlänge, Hornhautverkrümmung und Vorderkammertiefe misst, wobei jeweils die Hornhautvorderfläche als Referenz angesehen wird. Zusätzlich berechnet der IOLMaster™ aus den Daten des Auges die Stärke einer zu implantierenden Intraokularlinse. Die Messvorgänge erfolgen ebenfalls kontaktlos und automatisiert innerhalb von 0,5 Sekunden. Die Messung der Augachsenlänge beruht auf einem interferenzoptischen Verfahren, basierend auf einem Halbleiter-Diodenlaser (Wellenlänge 780 nm).



**Abbildung 3-2: IOLMaster™ Carl ZEISS Meditec AG [ZEISS 2005]**

Das Messprinzip zur Erfassung der Vorderkammertiefe erfolgt durch seitliche Spaltbeleuchtung mit einer Wellenlänge von 300 bis 400 nm. Dabei werden Schnittbilder von Kornea und Linse erzeugt, deren Abstand gemessen und bestimmt wird. Die Hornhautverkrümmung wird bestimmt, indem auf die Kornea mehrere Punkte durch eine Lumineszenz-Diode (LED, 880 nm Wellenlänge) projiziert werden und der Abstand dieser Punktmarken gemessen wird [ZEISS 2005].

### **OCULUS Pentacam® HR**

Als weiteres Diagnosegerät wird die Pentacam® HR (OCULUS Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Medizinprodukt der Klasse IIa) verwendet, bei dem es sich um ein bildgebendes Verfahren handelt, wobei eine automatisch rotierende Scheimpflugkamera mit einer Spaltbeleuchtung kombiniert wird. Dabei emittiert eine LED blaues Licht (475 nm Wellenlänge) und beleuchtet die Kornea. Die Kamera ist in Scheimpflugposition ausgerichtet, ein Verfahren aus der Photographie, und ermöglicht ein scharfes Bild der beleuchteten Hornhautvorder- und rückfläche sowie der Vorderkammertiefe. Diese Kombination aus Scheimpflugkamera und Spaltbe-



In Tabelle 3-1 sind abschließend die wichtigsten technischen Daten der drei verwendeten Diagnosegeräte gegenübergestellt.

**Tabelle 3-1: Technische Spezifikationen der bildgebenden Diagnosegeräte [NIDEK 2007, OCULUS 2015, ZEISS 2005]**

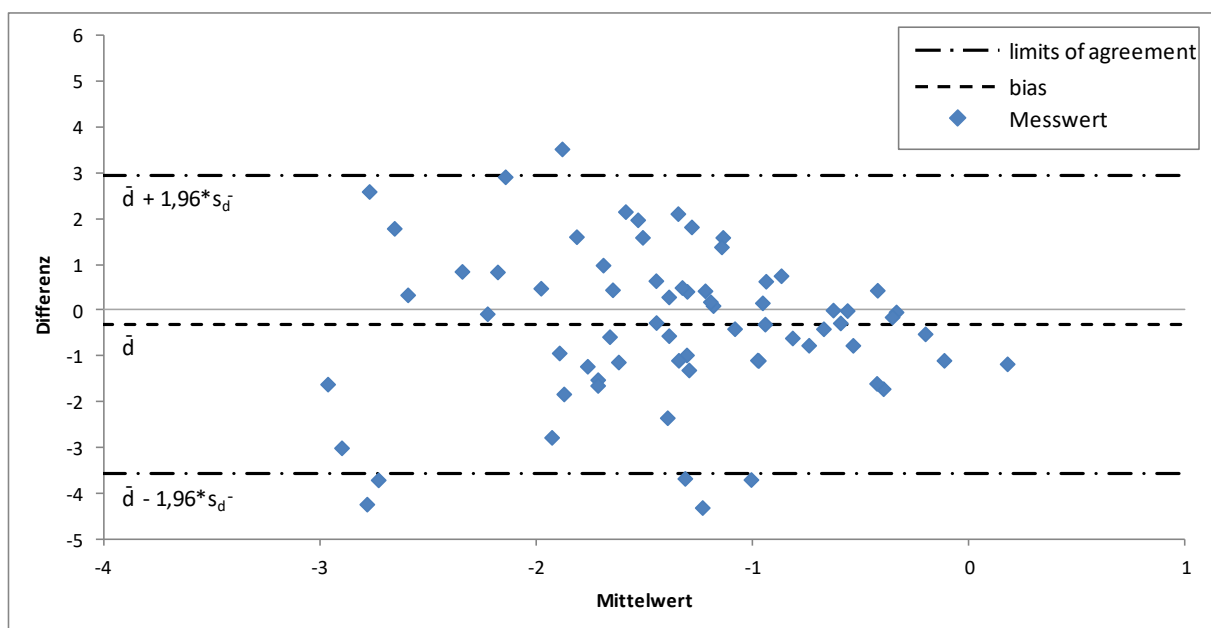
	<b>Autorefraktometer</b>	<b>IOLMaster™</b>	<b>Pentacam® HR</b>
<b>Hersteller</b>	NIDEK Inc.	Carl ZEISS Meditec AG	OCULUS Optikgeräte GmbH
<b>Typ</b>	AR-610	IOLMaster™	70900
<b>Messung</b>	kontaktlos, automatisiert	kontaktlos, automatisiert	kontaktlos, automatisiert
<b>Messprinzip</b>	Fundusreflex-Methode	Achslänge: Interferenz-optisches Verfahren Hornhautverkrümmung: Ausmessung von projizierten Punktmarken Vorderkammertiefe: seitliche Spaltbeleuchtung	Scheimpflugkamera mit Spaltbeleuchtung, rotierend
<b>Messbereich</b>	Sphärisch: -20 bis + 23 dpt Zylindrisch: ± 12,0 dpt Achse: 0 bis 180°	Achslänge: 14 bis 40 mm Keratometer: 5 bis 10 mm Vorderkammertiefe: 1,5 bis 6,5 mm	Krümmung: 3 bis 38 mm, 9 bis 99 dpt
<b>Messareal</b>	Hornhaut, Vorderkammer, Linse, Netzhaut	Hornhaut, Vorderkammer, Linse	Hornhaut, Vorderkammer, Linse
<b>Messdauer [sek]</b>	0,3	0,5	2,0
<b>Anzahl Messungen</b>	3	Achslänge: 5 Keratometer: 5 Vorderkammertiefe: 5	100 (mit je 500 Höhendaten)
<b>Genauigkeit</b>	Sphärisch: ≤ ± 0,5 dpt Zylindrisch: ≤ ± 0,5 dpt Achse: ≤ ± 10°	Achslänge: ± 0,0256 mm Keratometer: ± 0,0129 mm Vorderkammertiefe: ± 0,0334 mm	± 0,1 dpt

### 3.3 Statistische Datenanalyse

Für die explorative Analyse der in Kapitel 3.2 beschriebenen Diagnosegeräte wurden die Daten der identifizierten Patienten in einer Excel-Tabelle gesammelt und einander gegenübergestellt. Zum Teil erfolgte eine Normierung der auszuwertenden Parameter, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Messverfahren überprüfen zu können. Dabei wurden, soweit vorhanden, die Daten beider Augen für die Auswertung der bildgebenden Diagnosegeräte herangezogen.

Zunächst erfolgte eine statistische Auswertung der Messgrößen der einzelnen Verfahren mit Hilfe der Software Tools Microsoft Excel und IBM SPSS Statistics (Version 23) zur Überprüfung der Korrelation mittels zweiseitigem Pearson-Koeffizienten. Die Darstellung und Bewertung der Übereinstimmung der Messwerte der verschiedenen Diagnosegeräte erfolgte in dieser Arbeit nach dem Verfahren von Bland und Altman. Dabei handelt es sich um eine deskriptive Analysemethode, mit Hilfe derer die Übereinstimmung der mit zwei diagnostischen Messverfahren bestimmten Messwerte graphisch beschrieben werden kann [Bland 1986].

Bei dieser Methode wird die Differenz der ermittelten Messwerte für jeden Patienten berechnet und gegen den Mittelwert der Messwertpaare aufgetragen [Bland 1999], siehe Abbildung 3-5.



**Abbildung 3-5: Darstellung und Messgrößen eines Bland-Altman-Plots**

Der Mittelwert der Differenzen wird als mittlere Differenz (bias) bezeichnet, die 95 % Übereinstimmungsgrenzen (limits of agreement) werden nach folgender Formel berechnet:

$$L_{1,2} = \bar{d} \pm 1,96 * s_{\bar{d}} \quad (3-1)$$

- $L_{1,2}$ : Übereinstimmungsgrenzen (limits of agreement)  
 $\bar{d}$ : mittlere Differenz (bias)  
 $s_{\bar{d}}$ : Standardabweichung der Differenzen

In den Bland-Altman-Plots lassen sich visuell Ausmaße und Muster der individuellen Unterschiede zwischen den Diagnosegeräten ablesen [Grouven 2007]. Systematische Abweichungen bzw. Fehler lassen sich dabei an einer Verschiebung der mittleren Differenz von der Null-Linie, d.h. kleiner null oder größer null, sowie an einer Abhängigkeit der Differenz von der Größe der Werte erkennen. Die Quantifizierung des Unterschiedes der Messmethoden erfolgt anhand der Übereinstimmungsgrenzen, deren Interpretation allerdings keine statistische sondern eine klinische Fragestellung darstellt, die einer sachwissenschaftlichen Bewertung bedarf. In diesem Zusammenhang ist eine Einschätzung notwendig, ob der Bereich zwischen den Übereinstimmungsgrenzen von einer klinischen Bedeutung ist oder nicht [Grouven 2007].

In dieser Arbeit erfolgte die Berechnung der Differenz der ermittelten Messwerte immer mittels Subtraktion des Messwerts der Vergleichsmethode (Pentacam<sup>®</sup> HR) von dem Messwert der Referenzmethode, um eine Vergleichbarkeit sicherzustellen und Fehlinterpretationen aufgrund von Vorzeichenfehlern auszuschließen.

## 4 Ergebnisse

In den folgenden Ausführungen werden die Untersuchungsergebnisse der in Kapitel 2.1 beschriebenen Patienten dargestellt.

Ohne Berücksichtigung der bereits beschriebenen Ausschlusskriterien sind alle Befunde der Patienten in Tabelle 4-1 aufgeführt, wobei diese anhand der Häufigkeit sortiert worden sind.

**Tabelle 4-1: Befunde bzw. Diagnosen der Patienten (Mehrfachnennung möglich)**

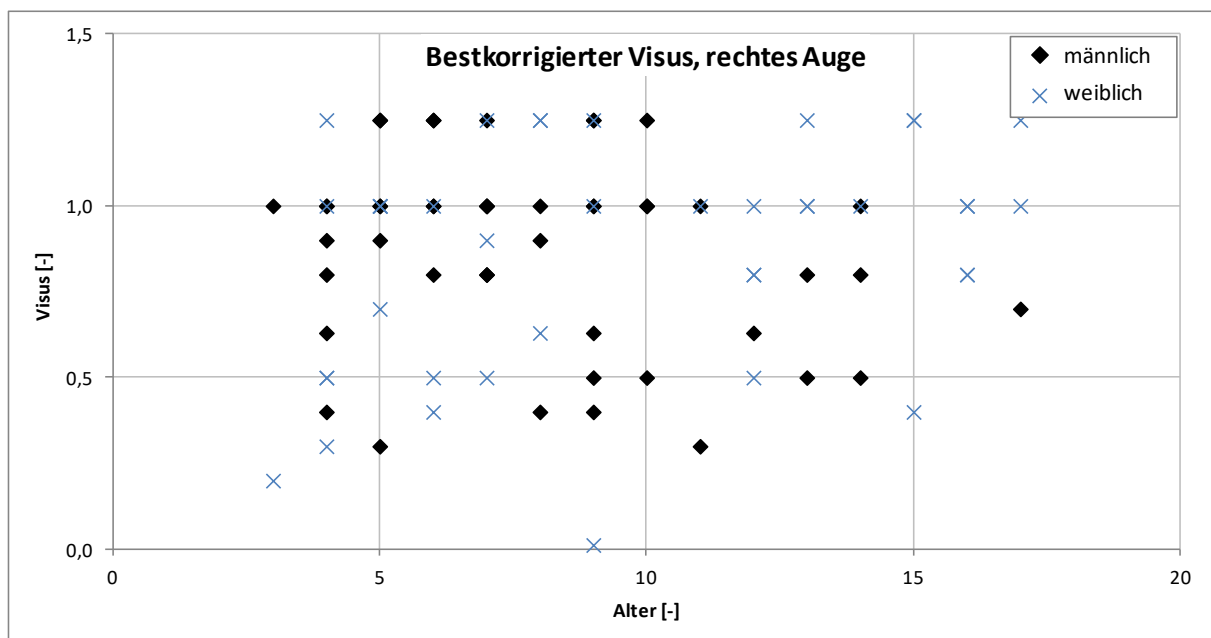
Diagnose	Rechtes Auge	Linkes Auge	Beide Augen	Absolute Häufigkeit [-]	Relative Häufigkeit [%]
Strabismus	14	21	18	53	28,0
Hyperopie	1		39	40	21,2
Astigmatismus	4		31	35	18,5
Normaler Vorderabschnittsbefund	3	1	24	28	14,8
Amblyopie	3	5	1	9	4,8
Myopie		1	4	5	2,6
Ptosis	1	4		5	2,6
Nystagmus			4	4	2,1
Abduzensparese	1	1	2	4	2,1
Retraktionssyndrom		2		2	1,1
Dermoid	1			1	0,5
Okulärer Albinismus			1	1	0,5
Bindehautentzündung			1	1	0,5
Z. n. penetrierender Hornhaut-Iris-Verletzung		1		1	0,5

Die Befunde wurden zwischen linkem und rechtem Auge sowie beiden Augen unterschieden und die absolute sowie relative Häufigkeit angegeben, wobei mehrere Befunde je Patient zugelassen wurden. Aufgrund dieser Mehrfachnennungen ergaben sich 189 Befunde bei 174 Augen. Die Gegenüberstellung zeigt auf, dass bei 53 Patienten ein Strabismus (Exo- und Esotropie inklusive Konvergenzexzess, Mikrostrabismus, Strabismus divergens intermittens, Strabismus sursoadductorius, dissoziierte Vertikaldivergenz, Hypo- und Hypertropie) gegeben war. 40 Patienten bekamen eine Hyperopie diagnostiziert, gefolgt vom Astigmatismus mit 35 Nennungen. Ein normaler Vorderabschnittsbefund wurde bei 28 Patienten diagnostiziert. Zu diesem zählten retinale Erkrankungen wie Papillitis, Makuladystrophie, Optikusatrophie, Neuroretinitis mit Papillitis, Aderhautosteom, Sehnervenschwellung und Netzhautdegeneration, cerebrale Problematiken wie Astrozytom im Thalamusbereich, unklare Visusminderung, Hemianopsie, Migräne ophthalmique und nukleäre Visusstörung sowie Phorie (Eso- und Exophorie) und Akkomodationsschwäche. Darüber hinaus gab es weitere Befunde mit einer geringen Anzahl an Nennungen. Unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien wurden im Rahmen dieser Arbeit die Daten der Patienten, die infolge ihrer Befunde (z.B. Binde-

hautentzündung, Nystagmus) keine Normwerte erwarten lassen oder Messungen ungenau machen, gezielt aus der Auswertung ausgeschlossen.

Die Pupille befand sich zum Zeitpunkt der Untersuchungen bei 39 Patienten im Zustand der medikamentösen Mydriasis und bei 48 in Miosis.

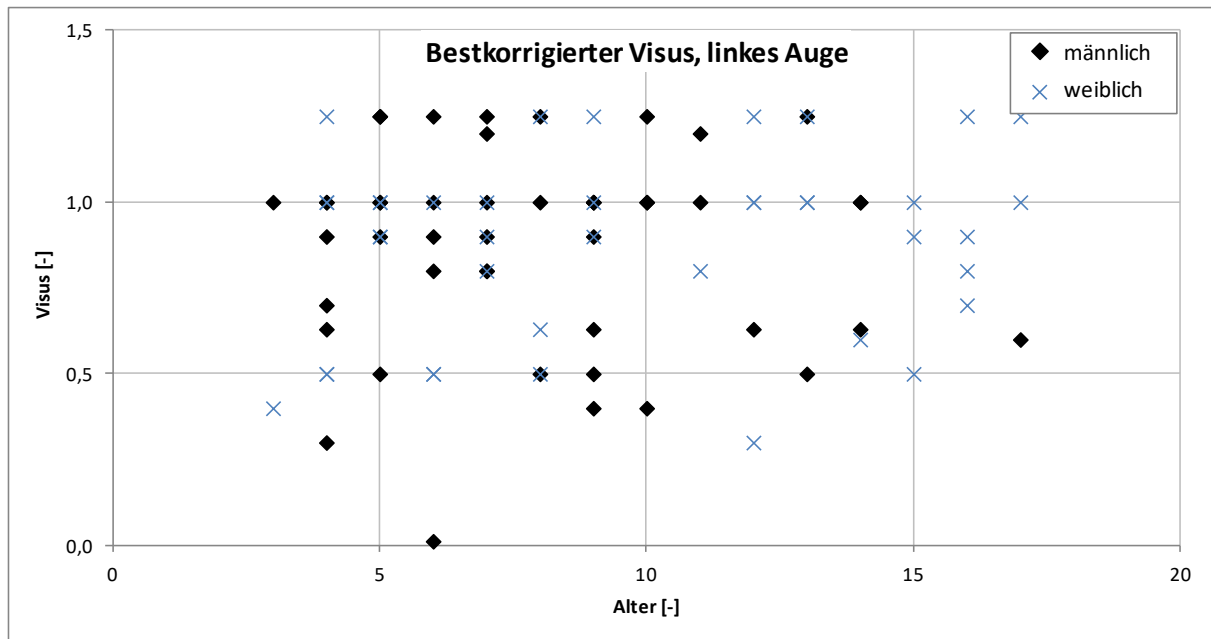
Bei 43 Kindern lag ein korrigierter Visus und bei 44 Kindern ein nicht korrigierter Visus vor. Abbildung 4-1 stellt graphisch den bestkorrigierten Visus vom rechten Auge in Abhängigkeit des Alters dar. Abhängig vom Alter und vom Entwicklungsstand der Kinder erfolgte die Visusprüfung mit LEA-Tafeln oder Zahlen-Optotypen. Die Visuswerte sind aufgrund von ophthalmologischen Erkrankungen, eingeschränkter Mitarbeit oder noch nicht ausgeglichener Refraktionsfehler herabgesetzt. Der Visus wurde im Rahmen dieser Auswertung lediglich miterfasst. Eine Wertung oder Korrelation war nicht vorgesehen.



**Abbildung 4-1: Bestkorrigierter Visus, rechtes Auge**

Bei 52 Kindern lag der bestkorrigierte Visus des rechten Auges zwischen 0,90 und 1,25, lediglich bei zwei Kindern wurde ein Visus zwischen 0,01 und 0,20 diagnostiziert. Der Median des bestkorrigierten Visus des rechten Auges lag bei 1,00 (von 0,01 bis 1,25).

In Abbildung 4-2 ist der bestkorrigierte Visus des linken Auges aller Patienten dargestellt.



**Abbildung 4-2: Bestkorrigierter Visus, linkes Auge**

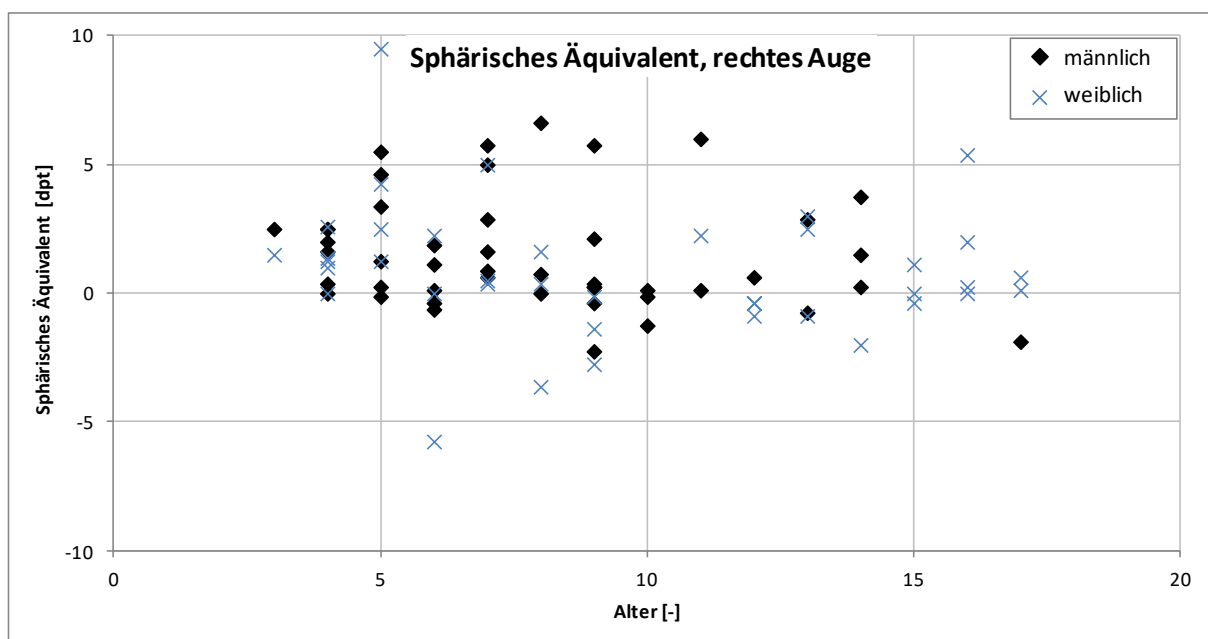
Bei 45 Kindern lag der bestkorrigierte Visus des linken Auges zwischen 1,00 und 1,25 und bei drei Teilnehmern zwischen 0,01 und 0,30. Der Median betrug 1,00 (von 0,01 bis 1,25).

Abhängig vom Alter wurden unterschiedliche Tests zur Visusbestimmung durchgeführt, anhand derer festgestellt werden konnte, dass in den höheren Altersgruppen der Visuswert tendenziell höher liegt als bei den niedrigen. Eine Geschlechtsabhängigkeit konnte nicht festgestellt werden.

#### 4.1 Ergebnisse Autorefraktometer

Insgesamt wurden die Ergebnisse des Autorefraktometers von 174 Augen ausgewertet, wobei u.a. die Durchführbarkeit der Messungen beurteilt wurde. Bei 64 Kindern war die Mitarbeit während der Messung des rechten Auges mit gut und bei 20 Kindern mit mittelmäßig zu bewerten. Lediglich bei 3 Patienten, deren Alter bei 4, 6 und 15 Jahren lag, war keine Durchführbarkeit aufgrund mangelnder Compliance oder Vorerkrankungen gegeben. Die Durchführbarkeit der Messungen am linken Auge wurde bei 61 Kindern mit gut bewertet, eine ausreichende Mitarbeit zeigte sich bei 23 Teilnehmern. Bei ebenfalls 3 Kindern konnten aufgrund mangelnder Compliance oder Vorerkrankungen keine Messungen durchgeführt werden, diese Patienten waren in zwei Fällen 4 und einmal 6 Jahre alt. In Summe ließ sich eine statistisch signifikante Verbesserung der Messqualität mit steigendem Alter feststellen (RA:  $r = -0,264$ ,  $p = 0,05$ ).

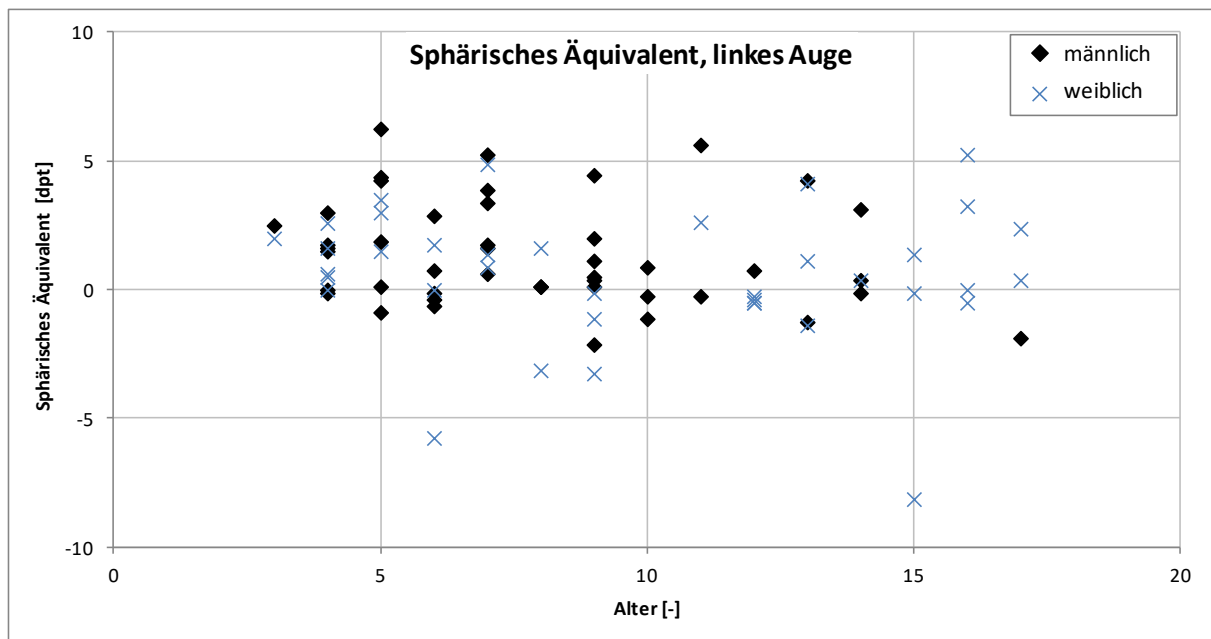
Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4 geben die Auswertung des sphärischen Äquivalents wieder. In der Darstellung sind zwei Ausreißer durch die Skalierung der Ordinate nicht dargestellt, die sich auf eine Myopia magna zurückführen ließen (Werte von ca. -16,00 dpt beider Augen bei einem 10-jährigen männlichen Patienten sowie ein Wert von -16,50 dpt bei einem 8-jährigen Mädchen beim linken Auge).



**Abbildung 4-3: Sphärisches Äquivalent mittels Autorefraktometer, rechtes Auge**

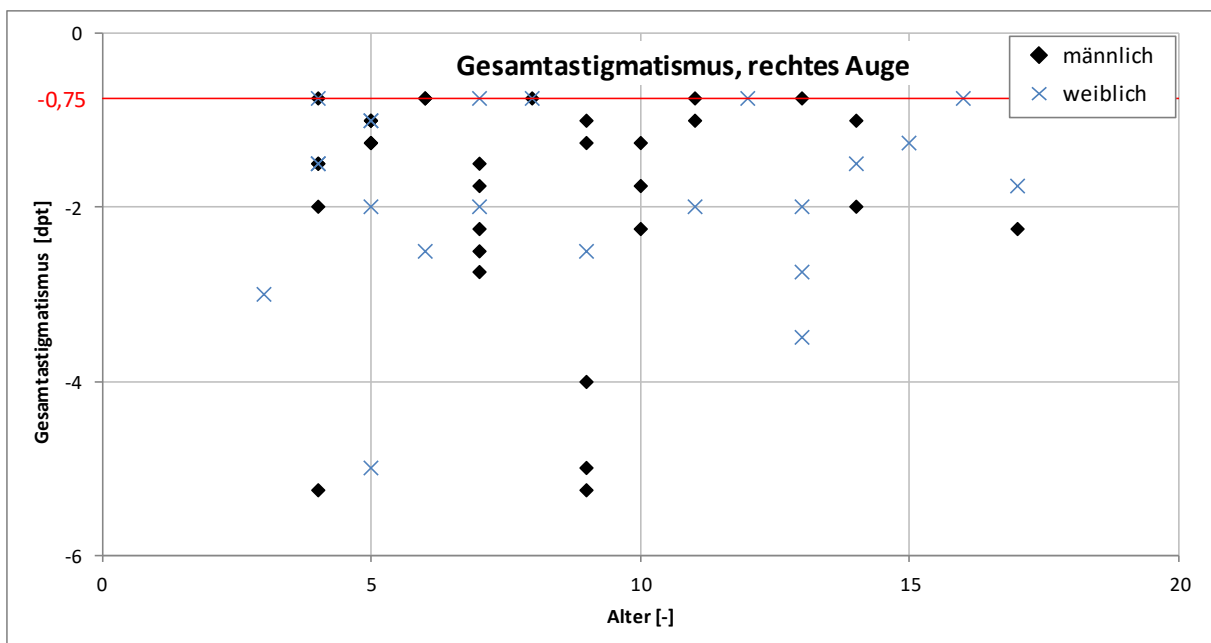
Der durchschnittliche Wert betrug für das rechte Auge  $+1,04 \text{ dpt} \pm 3,04 \text{ dpt}$  (SD) (Median  $+0,69 \text{ dpt}$ , von  $-16,13$  bis  $+9,50 \text{ dpt}$ ), und für das linke Auge  $+0,84 \text{ dpt} \pm 3,78 \text{ dpt}$  (SD) (Median  $+0,81 \text{ dpt}$ , von  $-16,50$  bis  $+10,25 \text{ dpt}$ ). Bei der Auswertung des sphärischen Äquivalents zeigten die männlichen Patienten sowohl für das rechte als auch das linke Auge höhere Dioptrien-Werte, beim rechten Auge lagen diese um ca. 26 % (Differenz von  $0,31 \text{ dpt}$ ) und

beim linken Auge um ca. 67 % (Differenz von 0,8 dpt) höher, siehe Tabelle 4-2 (nicht statistisch signifikant). Geschlechtsunabhängig ließ sich jedoch eine geringfügige Abnahme des sphärischen Äquivalents mit steigendem Alter feststellen (nicht statistisch signifikant).



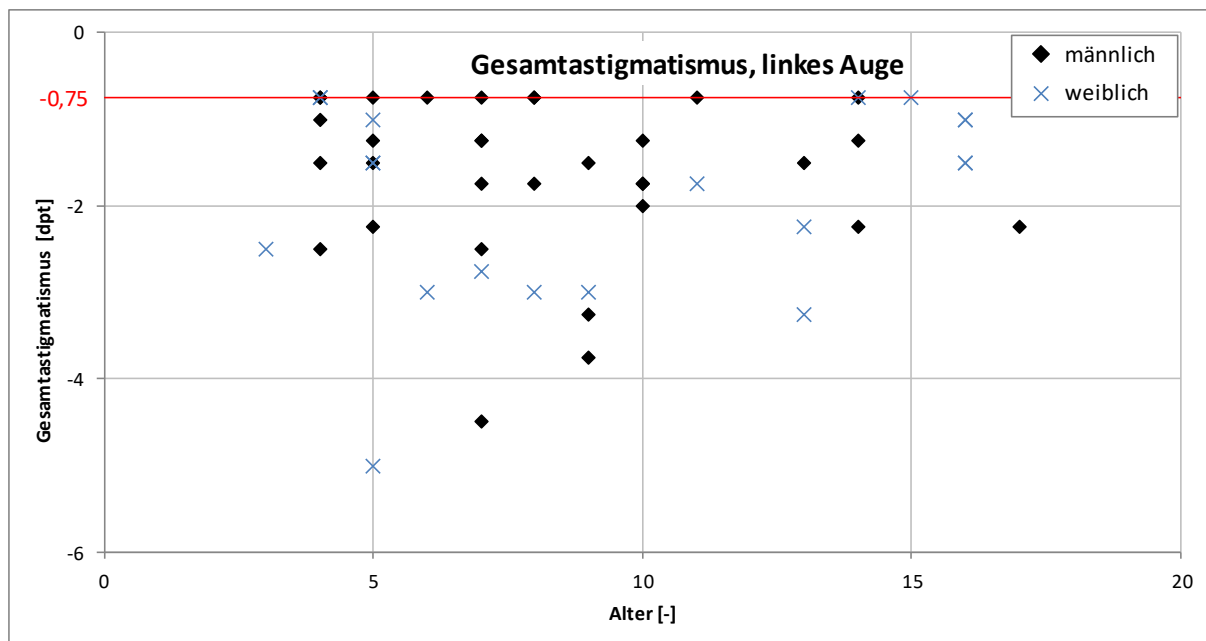
**Abbildung 4-4: Sphärisches Äquivalent mittels Autorefraktometer, linkes Auge**

Im Folgenden wird der Gesamtastigmatismus (kornealer und lentikulärer Astigmatismus) der untersuchten Augen dargestellt. Bei 53 Kindern wurde sowohl im rechten als auch im linken Auge ein Gesamtastigmatismus diagnostiziert, d.h. der Gesamtastigmatismus ist kleiner oder gleich  $-0,75$  dpt, siehe Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6.



**Abbildung 4-5: Gesamtastigmatismus in Dioptrie mittels Autorefraktometer, rechtes Auge**

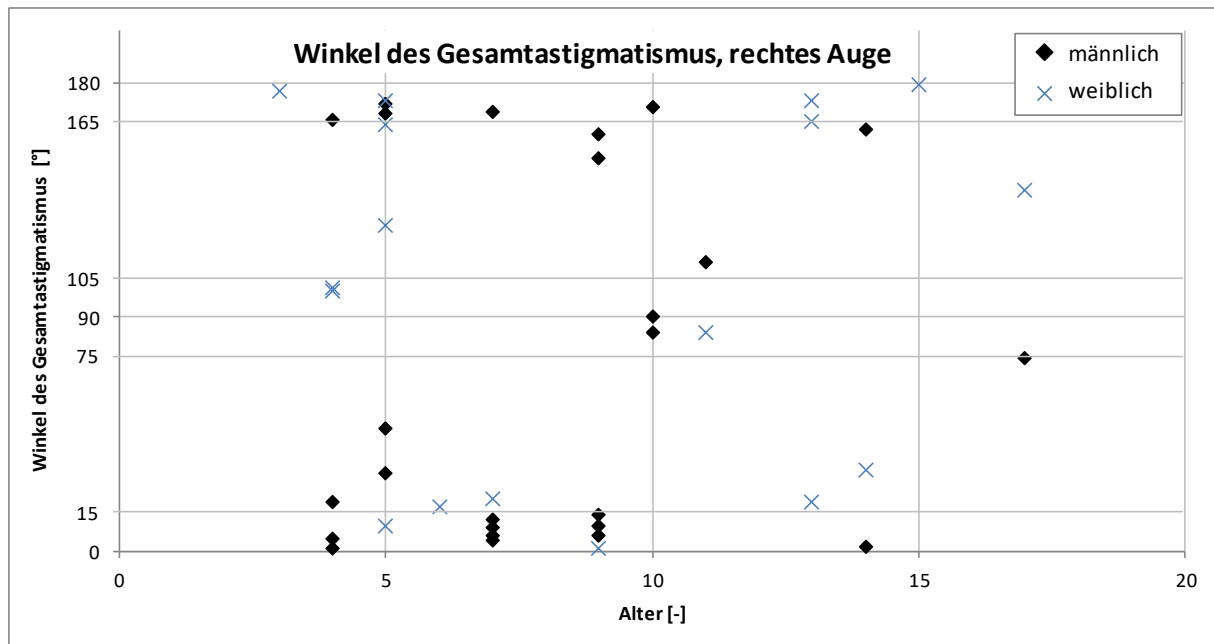
Als Mittelwert des Gesamastigmatismus im rechten Auge ergab sich ein Wert von  $-1,86 \text{ dpt} \pm 1,21 \text{ dpt}$  (SD) (Median  $-1,50 \text{ dpt}$ , von  $-5,25$  bis  $-0,75 \text{ dpt}$ ) und im linken Auge von  $-1,73 \text{ dpt} \pm 1,01 \text{ dpt}$  (SD) (Median  $-1,50 \text{ dpt}$ , von  $-5,00$  bis  $-0,75 \text{ dpt}$ ).



**Abbildung 4-6: Gesamastigmatismus in Dioptrie mittels Autorefraktometer, linkes Auge**

Die Auswertung in Abhängigkeit des Geschlechts ergab keinen nennenswerten Unterschied beim rechten Auge (Differenz von  $0,03 \text{ dpt}$  entspricht ca.  $2 \%$ ), beim linken Auge ließ sich ein ca.  $15 \%$  höherer Wert bei den weiblichen Patienten (Differenz von  $0,24 \text{ dpt}$ ) ohne statistische Signifikanz feststellen, siehe Tabelle 4-2. Eine Abhängigkeit des Gesamastigmatismus vom Alter konnte geschlechtsunabhängig nicht konstatiert werden.

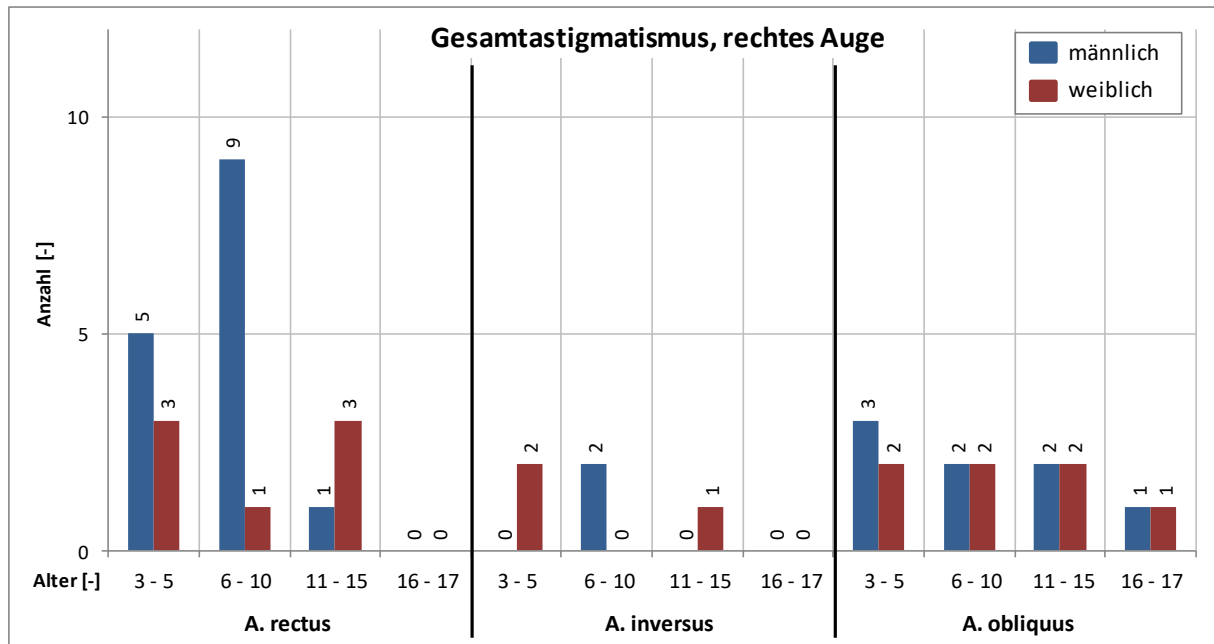
In Abbildung 4-7 und Abbildung 4-10 sind die Winkel des Gesamastigmatismus dargestellt.



**Abbildung 4-7: Winkel des Gesamtastigmatismus mittels Autorefraktometer, rechtes Auge**

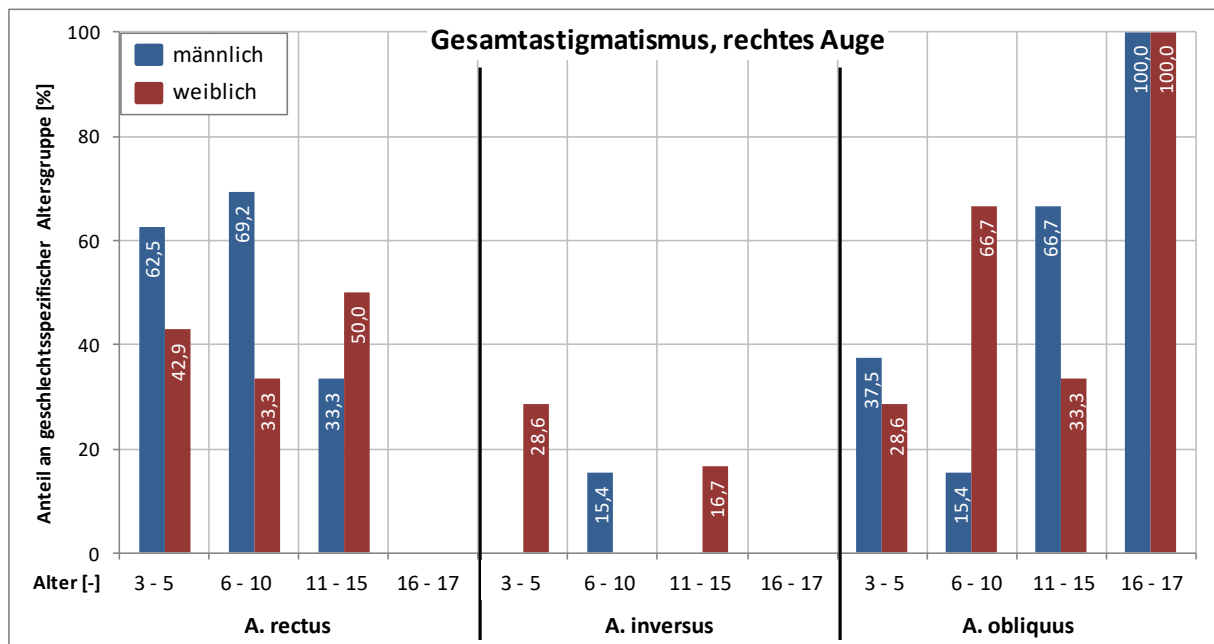
In der Abbildung 4-8 und Abbildung 4-11 werden jeweils die absoluten Zahlen der Formen des Gesamtastigmatismus geschlechter- und altersabhängig angegeben.

Dabei wird zwischen 3 Formen des Gesamtastigmatismus unterschieden: Erstens dem Astigmatismus nach der Regel (Astigmatismus rectus), der bei Winkeln von  $0^\circ$  bzw.  $180^\circ \pm 15^\circ$  vorliegt, zweitens dem Astigmatismus gegen die Regel (Astigmatismus inversus) bei Winkeln von  $90^\circ \pm 15^\circ$ . Als dritte Form existiert der schräge Astigmatismus (Astigmatismus obliquus), wobei unter diese Diagnose alle Winkel fallen, die weder dem Astigmatismus rectus noch inversus zuzuordnen sind.



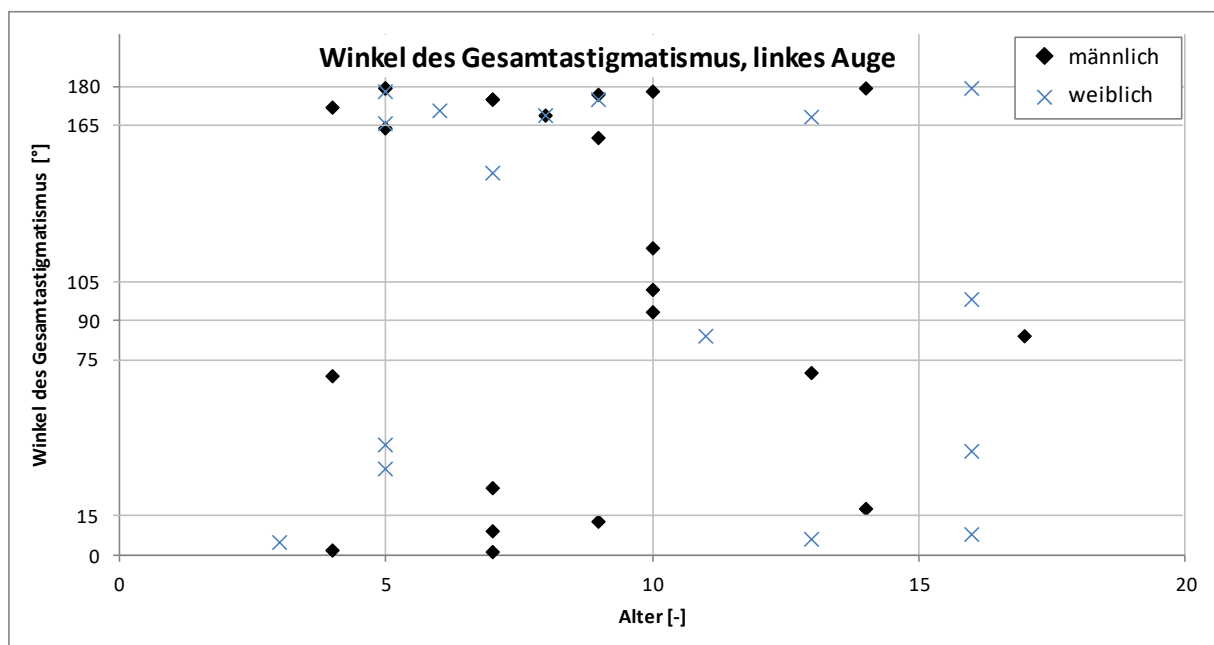
**Abbildung 4-8: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge**

Bei 52,4 % der Patienten (N = 22) wurde ein Astigmatismus rectus, bei 12,0 % (N = 5) ein Astigmatismus inversus und bei 35,7 % (N = 15) ein Astigmatismus obliquus diagnostiziert. Aufgrund der in den 4 Altersgruppen unterschiedlichen Anzahl an männlichen und weiblichen Patienten erfolgt im Folgenden eine auf die Altersgruppen bezogene prozentuale Auswertung, siehe Abbildung 4-9.



**Abbildung 4-9: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung des Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge**

Die geschlechtsabhängige Auswertung der Gesamtastigmatismen ergab, dass in der Altersgruppe von 3 bis 5 Jahren 62,5 % (N = 5) der männlichen Patienten gegenüber 42,9 % (N = 3) der weiblichen Patienten einen Astigmatismus rectus aufwiesen, in der Altersgruppe von 6 bis 10 Jahren wurde bei neun von 13 männlichen Patienten (69,2 %) ein Astigmatismus rectus diagnostiziert, wo hingegen nur eine von drei weiblichen Patienten (33,3 %) in dieser Altersgruppe eine identische Diagnose erhielt. In dieser Patientenpopulation zeigte sich ab dem 11. Lebensjahr eine Häufung des Astigmatismus rectus bei den weiblichen Patienten (50 %, N = 3) gegenüber den männlichen Patienten (33,3%, N = 1). Eine Geschlechter- oder Altersabhängigkeit konnte beim Astigmatismus inversus nicht festgestellt werden. Die Auswertung des Astigmatismus obliquus zeigte, dass mit zunehmendem Alter diese Form des Astigmatismus im rechten Auge geschlechtsunabhängig tendenziell zunimmt.



**Abbildung 4-10: Winkel des Gesamtastigmatismus mittels Autorefraktometer, linkes Auge**

Die prozentuale Auswertung des Gesamtastigmatismus im linken Auge zeigte eine mit dem rechten Auge vergleichbare Verteilung der Formen des Astigmatismus (59,0 % Astigmatismus rectus, N = 23; 12,8 % Astigmatismus inversus, N = 5; Astigmatismus obliquus 28,2 %, N = 11).

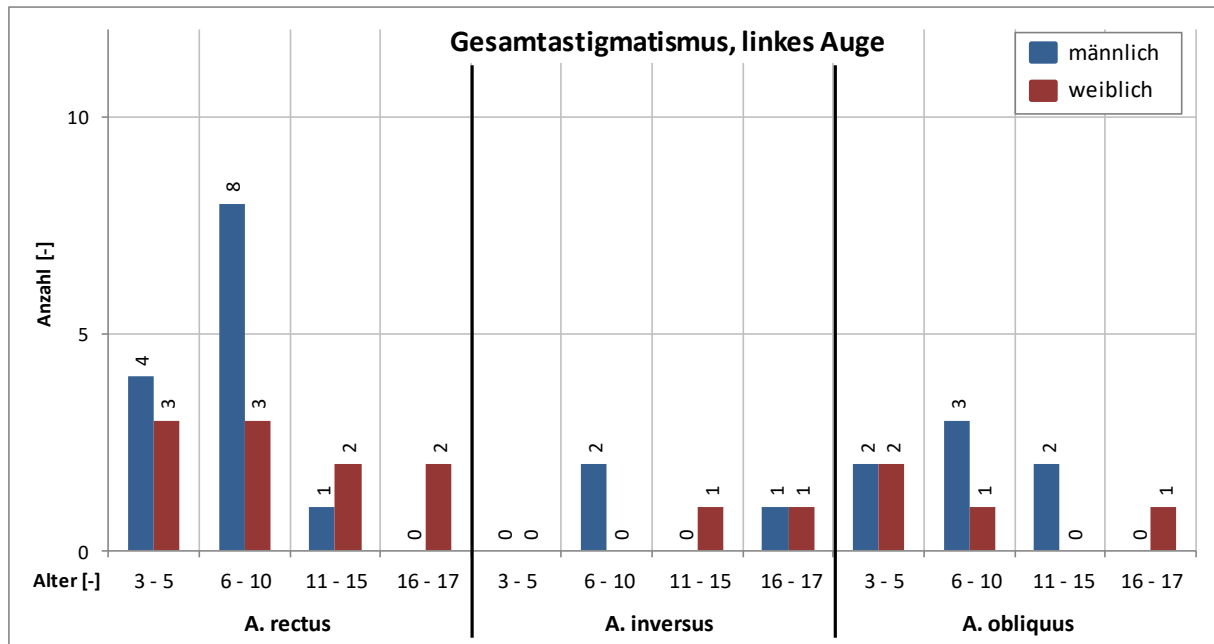


Abbildung 4-11: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, linkes Auge

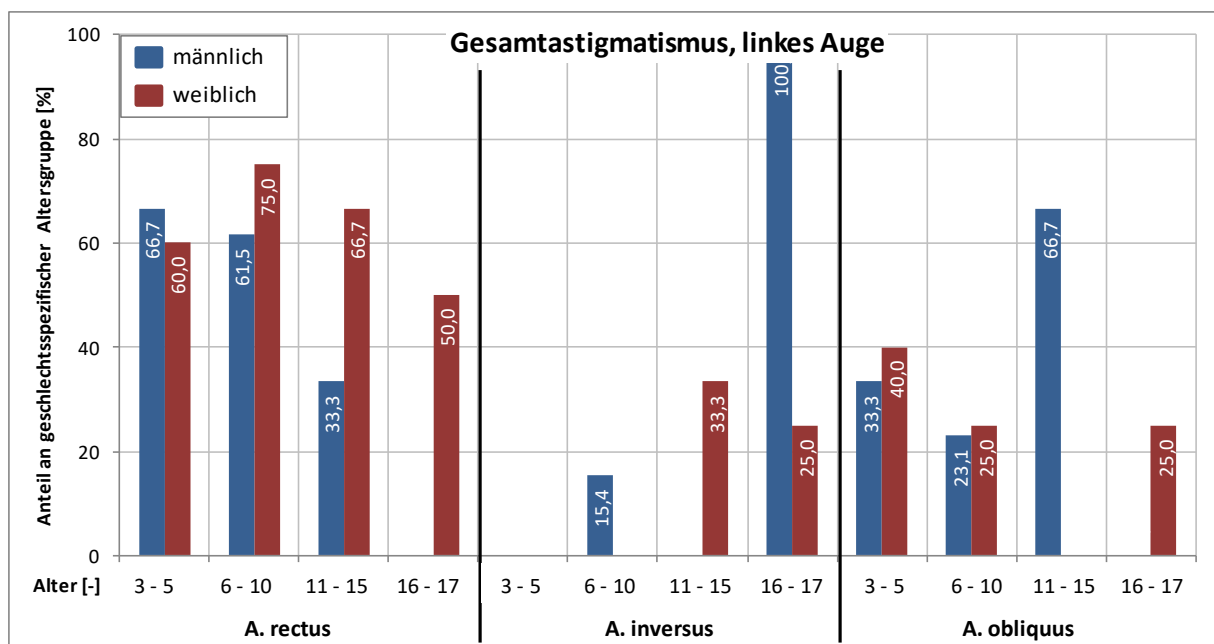
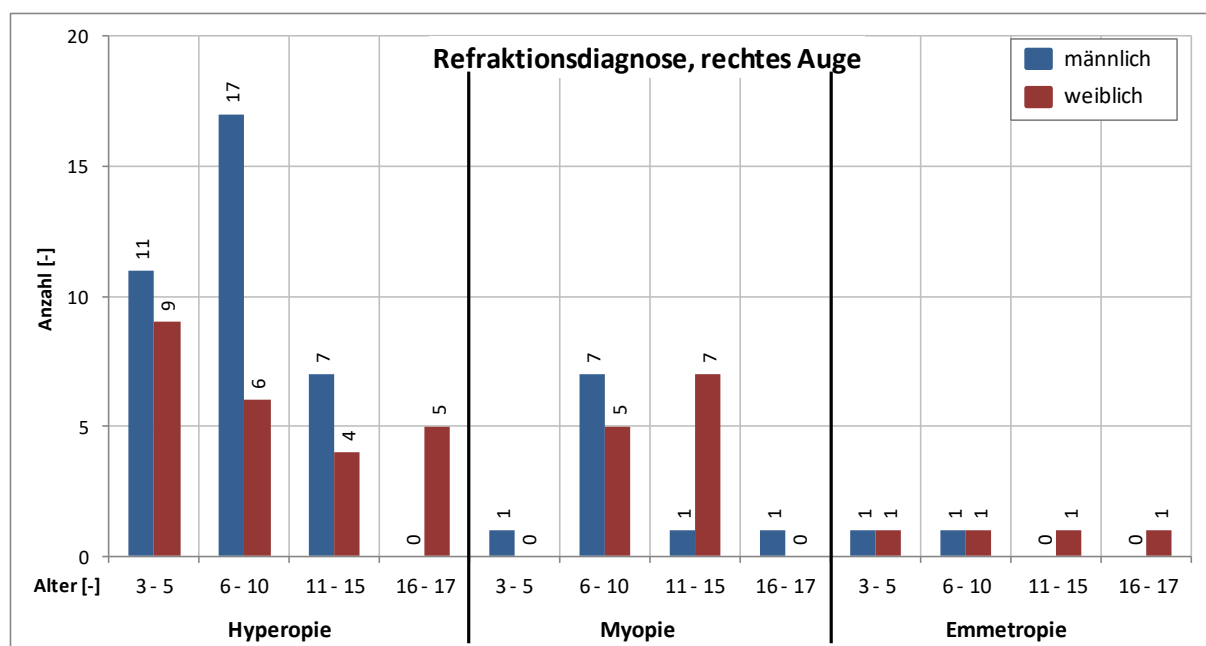


Abbildung 4-12: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, linkes Auge

Gegenüber der Auswertung der Gesamtastigmatismen des rechten Auges ließ sich in der Altersgruppe von 3 bis 5 Jahren keine Geschlechtsabhängigkeit des Astigmatismus rectus am linken Auge feststellen, bei 66,6 % (N = 4) der männlichen gegenüber 60 % (N = 3) der weiblichen Patienten wurde dieser diagnostiziert. Ab einem Alter von 6 Jahren wuchs der

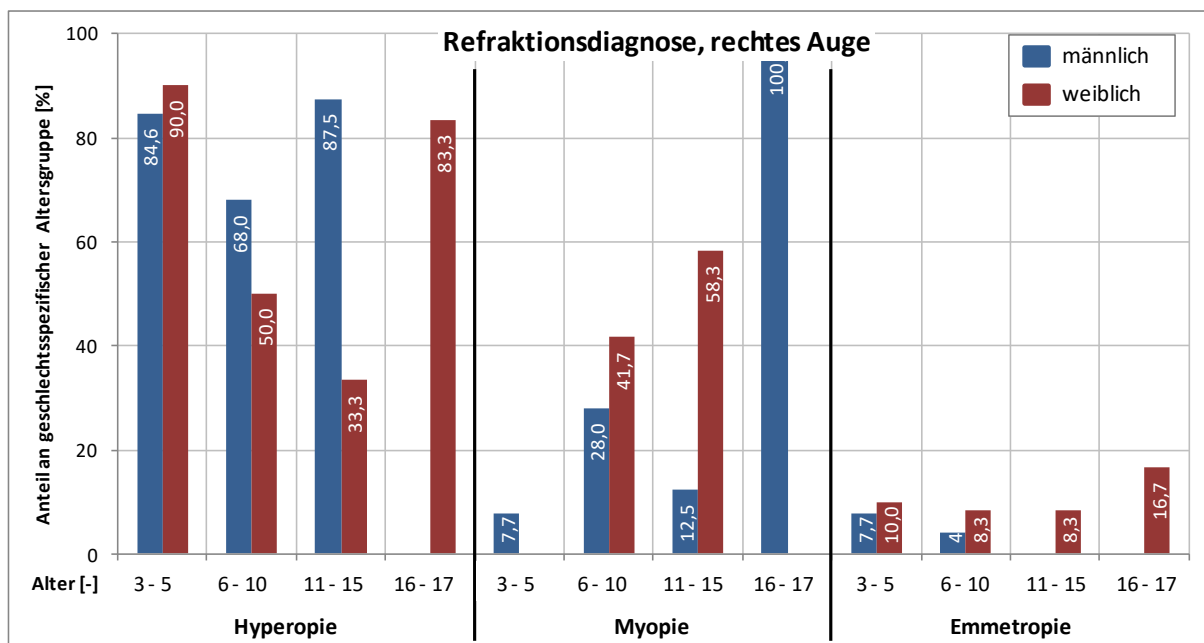
Anteil der weiblichen Patienten (75 %, N = 3) mit einem Astigmatismus rectus stärker als bei den männlichen Patienten (61,5 %, N = 8), diese Tendenz ließ sich ebenfalls bei den älteren Patienten feststellen (Altersgruppe 11 bis 15 Jahre: 33,3 % der männlichen Patienten, N = 1, 66,7 % der Weiblichen, N = 2; Altersgruppe 16 bis 17 Jahre: 0 % der männlichen Patienten, 50 % der Weiblichen, N = 2). Entgegen der Auswertung des rechten Auges wurde bei den höheren Altersgruppen auch ein Astigmatismus inversus diagnostiziert, der bei den männlichen Patienten älter 16 Jahre die einzige Form des Astigmatismus darstellt, wobei in dieser Altersgruppe ausschließlich ein männlicher Patient untersucht wurde. Die Auswertung des Astigmatismus obliquus zeigte bis zu einem Alter von 10 Jahren keine Abhängigkeit vom Geschlecht auf. Bei den männlichen Patienten in der Altersgruppe von 11 bis 15 Jahren machte diese Form des Astigmatismus 66,7 % (N = 2) der Diagnosen aus, wohingegen bei den weiblichen Patienten in dieser Altersgruppe kein Astigmatismus obliquus diagnostiziert wurde. In der Altersgruppe von 16 bis 17 Jahren waren 25 % der weiblichen Patienten (N = 1) von einem Astigmatismus obliquus betroffen.

Abbildung 4-13 und Abbildung 4-15 stellen die absolute Häufigkeit der Refraktionsdiagnosen am rechten und linken Auge dar (47 männliche und 40 weibliche Patienten). Eine Hyperopie im rechten Auge lag bei 67,8 % (N = 59) und im linken Auge bei 64,4 % (N = 56) der Patienten vor, eine Myopie wurde an 25,3 % (N = 22) der rechten und 31,0 % (N = 27) der linken Augen diagnostiziert sowie in 6,9 % (N = 6) der rechten und 4,6 % (N = 4) der linken Augen eine Emmetropie, so dass von einer vergleichbaren Verteilung der Refraktionsdiagnosen zwischen rechtem und linkem Auge ausgegangen werden kann.

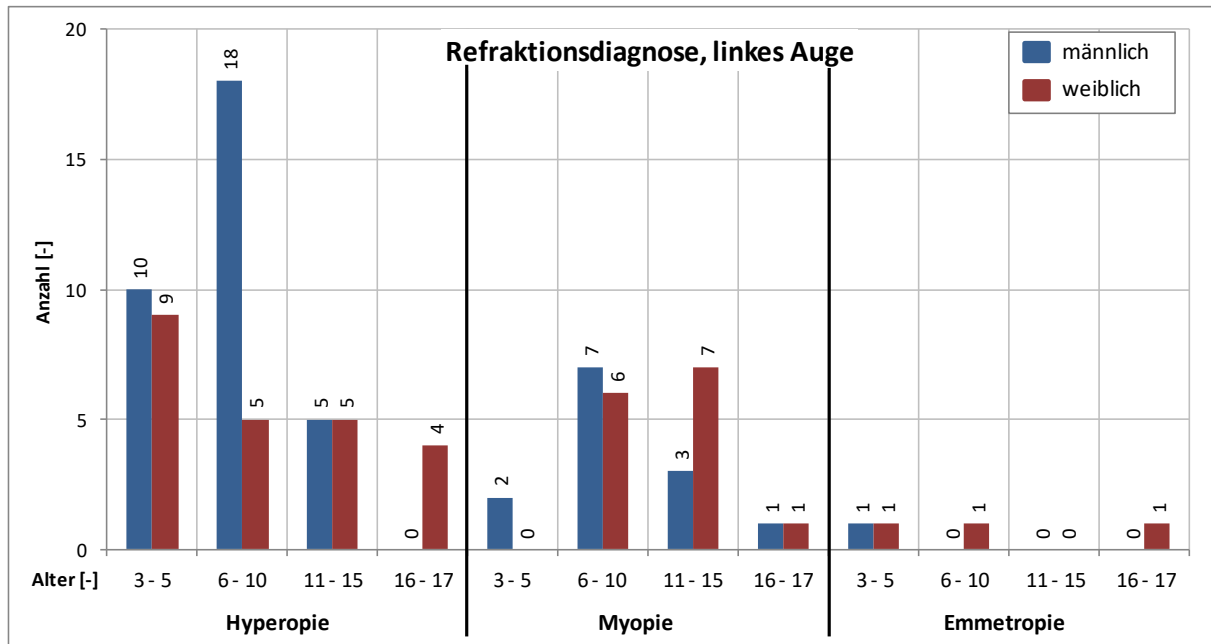


**Abbildung 4-13: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge**

In der Altersgruppe von 3 bis 5 Jahren konnte keine nennenswerte Geschlechtsabhängigkeit der Refraktionsdiagnose Hyperopie im rechten Auge festgestellt werden, allerdings waren in dieser Altersgruppe 84,6 % (N = 11) der männlichen Patienten und 90 % (N = 9) der weiblichen Patienten von einer Weitsichtigkeit betroffen. Bei den weiblichen Patienten nahm der Anteil der Diagnose Hyperopie mit zunehmendem Alter ab (50 %, N = 6, zwischen 6 und 10 Jahren; 33,3 %, N = 4, zwischen 11 und 15 Jahren), allerdings zeigte sich in dieser Arbeit bei 83,3 % (N = 5) der weiblichen Patienten zwischen 16 und 17 Jahren eine Hyperopie. In dieser Altersgruppe lagen jedoch nur Daten von sechs weiblichen Patienten vor. Bei den männlichen Patienten sank der Anteil der Diagnose Hyperopie im Alter von 6 bis 10 Jahren auf 68 % (N = 17), wobei in der Altersgruppe von 11 bis 15 Jahren der Anteil auf 87,5 % (N = 7) stieg. In der Altersgruppe von 16 bis 17 Jahren war nur ein männlicher Patient vertreten, bei dem eine Myopie diagnostiziert wurde. Mit zunehmendem Alter stieg der Anteil der männlichen Patienten von 7,7 % (N = 1) über 28 % (N = 7) auf 12,5 % (N = 1). Bei den weiblichen Patienten ließ sich bis zur Altersgruppe von 11 bis 15 Jahren ein Anstieg der Diagnose Myopie von 0% über 41,7 % (N = 5) auf 58,3 % (N = 7) feststellen, in der Altersgruppe von 16 bis 17 Jahren wurde diese Diagnose nicht gestellt. Eine Geschlechts- oder Altersabhängigkeit ließ sich bei der Diagnose Emmetropie nicht feststellen.

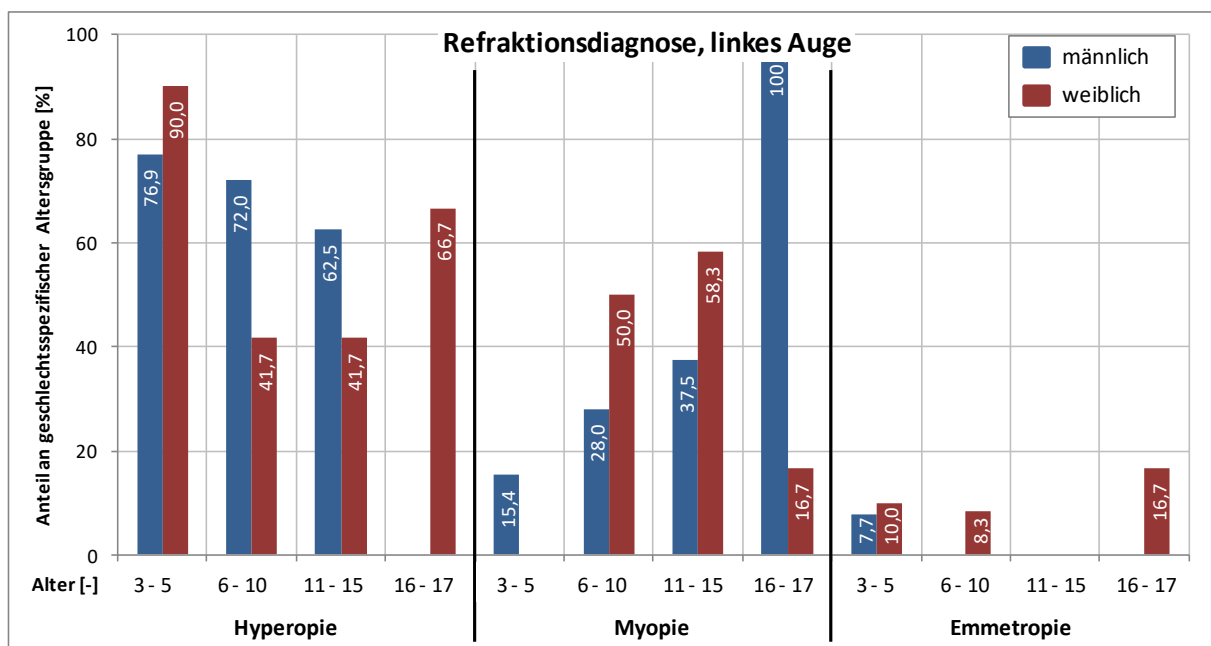


**Abbildung 4-14: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge**



**Abbildung 4-15: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, linkes Auge**

Die Auswertung der Refraktionsdiagnosen des linken Auges zeigte eine ähnliche Verteilung und Entwicklung wie am rechten Auge, siehe Abbildung 4-16.



**Abbildung 4-16: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, linkes Auge**

Tabelle 4-2 stellt die mit Hilfe des Autorefraktometers ermittelten statistischen Messgrößen gegenüber, wobei zwischen den Geschlechtern der Patienten unterschieden wird.

**Tabelle 4-2: Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen des Autorefraktometers**

			Rechtes Auge		Linkes Auge	
			♂	♀	♂	♀
<b>Sphärisches Äquivalent</b>	dpt	MW	+1,15	+0,84	+1,18	+0,38
		SD	±3,36	±2,54	±3,43	±4,04
		MD	+0,75	+0,44	+0,75	+0,56
		min	-16,13	-5,75	-15,88	-16,50
		max	+6,63	+9,50	+9,13	+10,25
<b>Gesamtastigmatismus</b>	dpt	MW	-1,87	-1,84	-1,63	-1,87
		SD	±1,32	±1,07	±0,92	±1,14
		MD	-1,50	-1,63	-1,50	-1,50
		min	-5,25	-5,00	-4,50	-5,00
		max	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75

## 4.2 Ergebnisse IOLMaster™

In den folgenden Ausführungen werden die Ergebnisse des IOLMaster™ beschrieben, mit dem bei 174 Augen die Augachsenlänge, die Vorderkammertiefe, der vordere korneale Astigmatismus sowie der Winkel des oberflächlichen Astigmatismus (d.h. vorderer kornealer Astigmatismus) ermittelt wurden. Analog dem Autorefraktometer wurde zunächst die Durchführbarkeit bewertet, wobei beim rechten Auge bei 82 Patienten diese als gut und bei 3 Patienten als mittelmäßig bewertet wurde. Lediglich bei zwei Patienten (6 und 15 Jahre alt) konnten aufgrund mangelnder Compliance oder Vorerkrankungen die o.a. Messgrößen des rechten Auges nicht bestimmt werden. Für das linke Auge konnte bei 80 Patienten die Durchführbarkeit als gut und ebenfalls bei 3 Patienten als mittelmäßig bewertet werden. Ebenfalls wegen mangelnder Compliance oder Vorerkrankungen konnten bei 4 Patienten die Untersuchungen des linken Auges nicht ausgewertet werden, die in drei Fällen 4 und einmal 6 Jahre alt waren. Vergleichbar zu den Ergebnissen des Autorefraktometers konnte ebenfalls eine statistisch signifikante Verbesserung der Messqualität mit zunehmendem Alter konstatiert werden (RA:  $r = -0,331$ ,  $p = 0,01$ ; LA:  $r = -0,280$ ,  $p = 0,05$ ).

Die durchschnittliche Augachsenlänge im rechten Auge betrug  $22,49 \text{ mm} \pm 1,46 \text{ mm}$  (SD) (Median  $22,46 \text{ mm}$ , von  $19,62$  bis  $30,58 \text{ mm}$ ), siehe Abbildung 4-17, und im linken Auge  $22,61 \text{ mm} \pm 1,59 \text{ mm}$  (SD) (Median  $22,48 \text{ mm}$ , von  $19,40$  bis  $30,58 \text{ mm}$ ), siehe Abbildung 4-18.

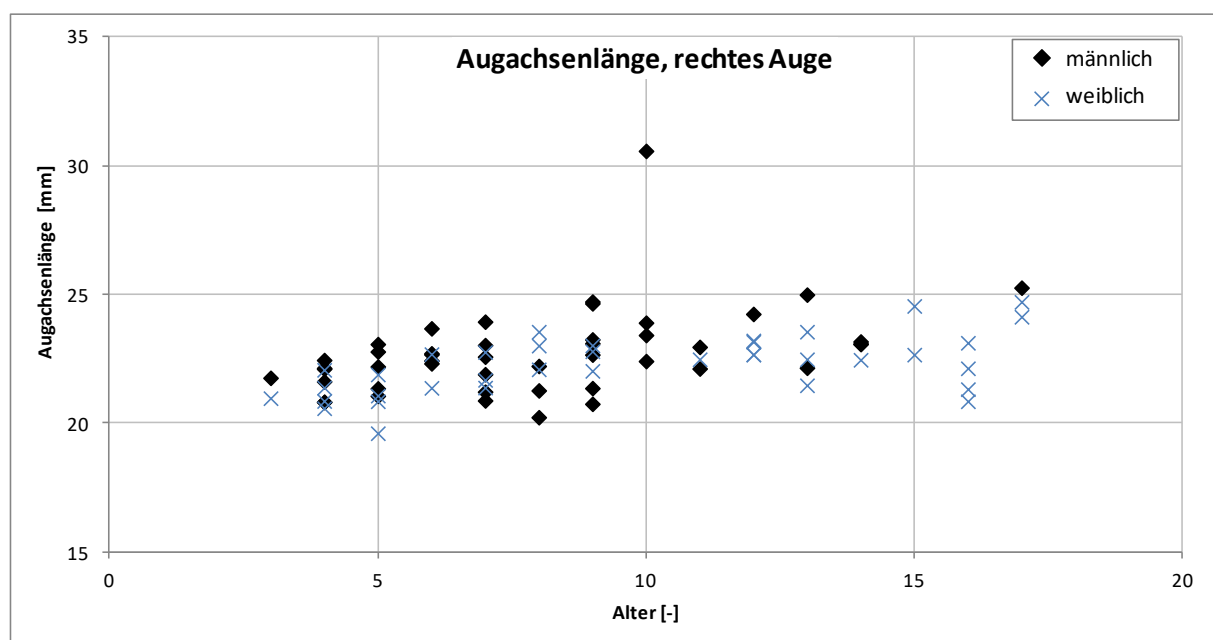
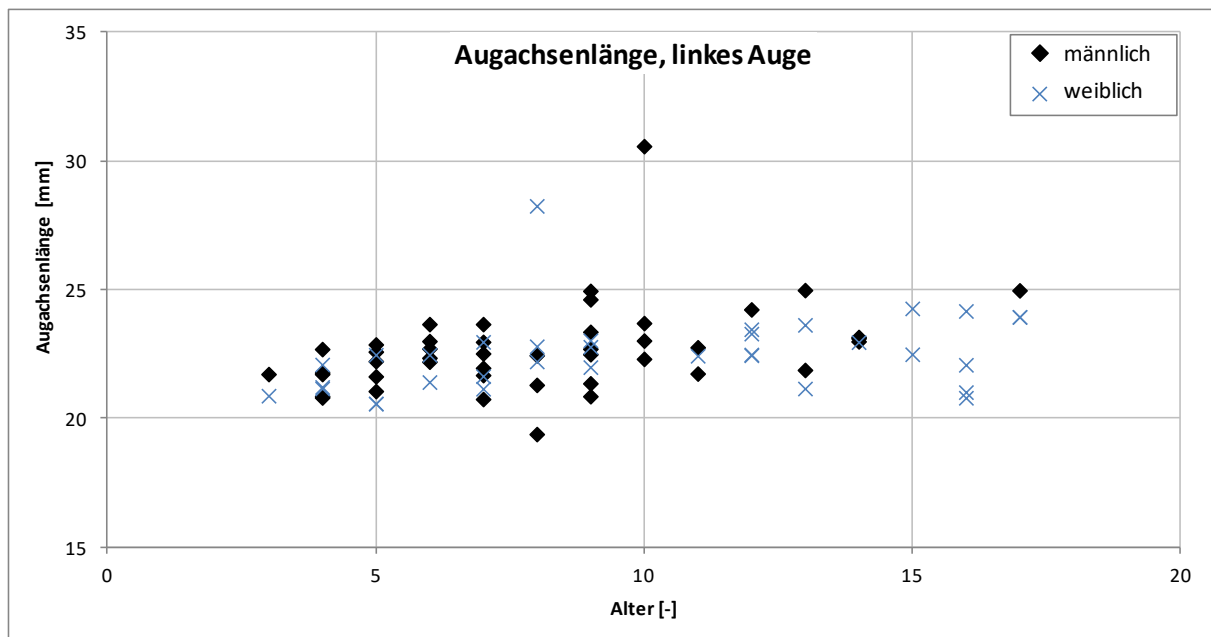


Abbildung 4-17: Augachsenlänge mittels IOLMaster™, rechtes Auge

Mit einer Augachsenlänge von größer 30,0 mm in beiden Augen fielen der zehnjährige, männliche Patient sowie die achtjährige Patientin mit ca. 28,0 mm Augachsenlänge im linken Auge bei der Myopia magna auf.



**Abbildung 4-18: Augachsenlänge mittels IOLMaster™, linkes Auge**

Eine Geschlechtsabhängigkeit konnte bei der Augachsenlänge nicht festgestellt werden, siehe Tabelle 4-3. Dem gegenüber ließ sich geschlechtsunabhängig eine statistisch signifikante Zunahme der Augachsenlänge mit steigendem Alter ermitteln (RA:  $r = 0,594$ ,  $p = 0,01$ ; LA:  $r = 0,344$ ,  $p = 0,05$ ).

Abbildung 4-19 und Abbildung 4-20 zeigen die Auswertung der Vorderkammertiefe. Der durchschnittliche Wert der Vorderkammertiefe (VKT) des rechten Auges lag bei  $3,48 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$  (SD) (Median  $3,51 \text{ mm}$ , von  $2,89$  bis  $4,01 \text{ mm}$ ). Der Durchschnittswert der VKT im linken Auge betrug  $3,48 \text{ mm} \pm 0,30 \text{ mm}$  (SD) (Median  $3,49 \text{ mm}$ , von  $2,76$  bis  $4,22 \text{ mm}$ ).

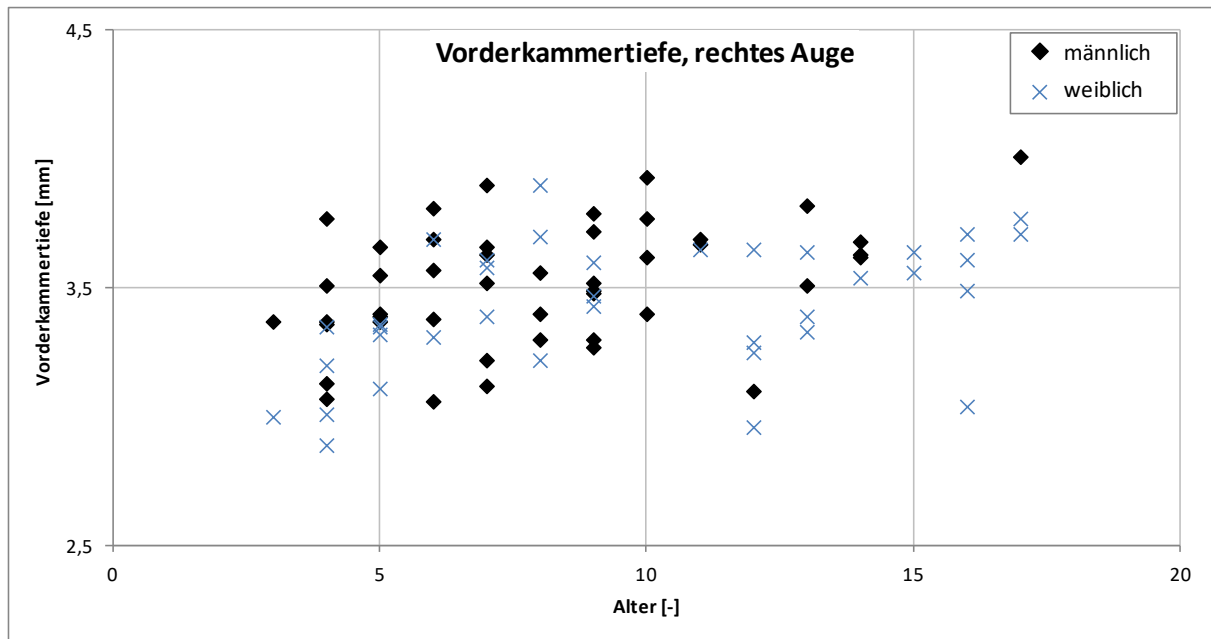


Abbildung 4-19: Vorderkammertiefe mittels IOLMaster™, rechtes Auge

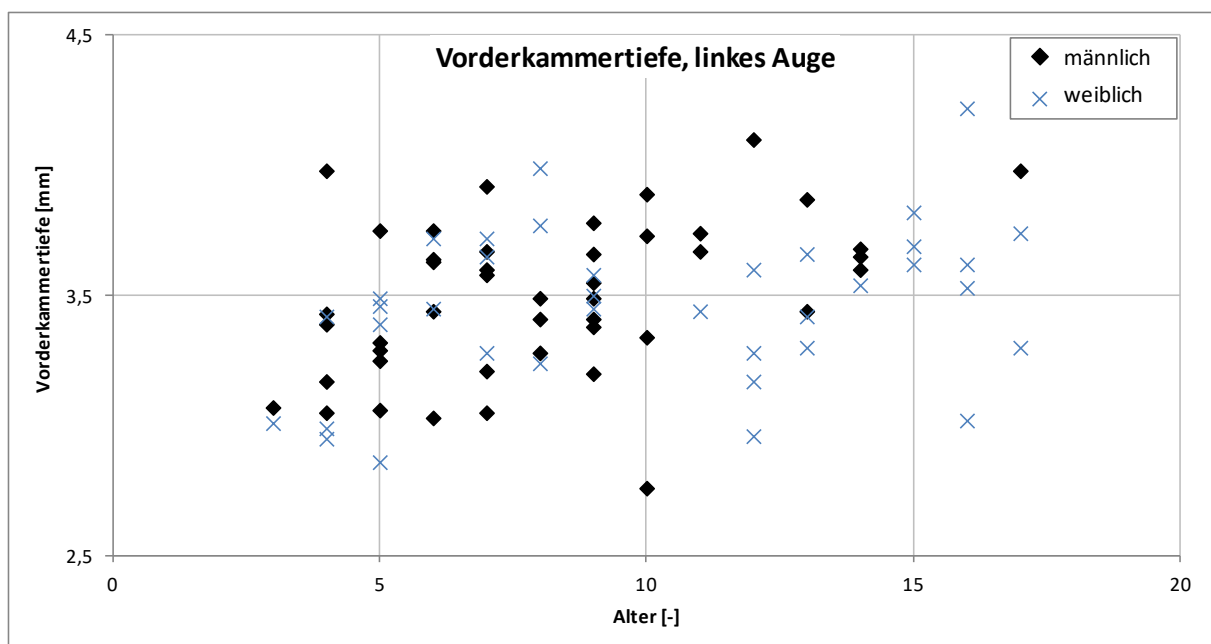
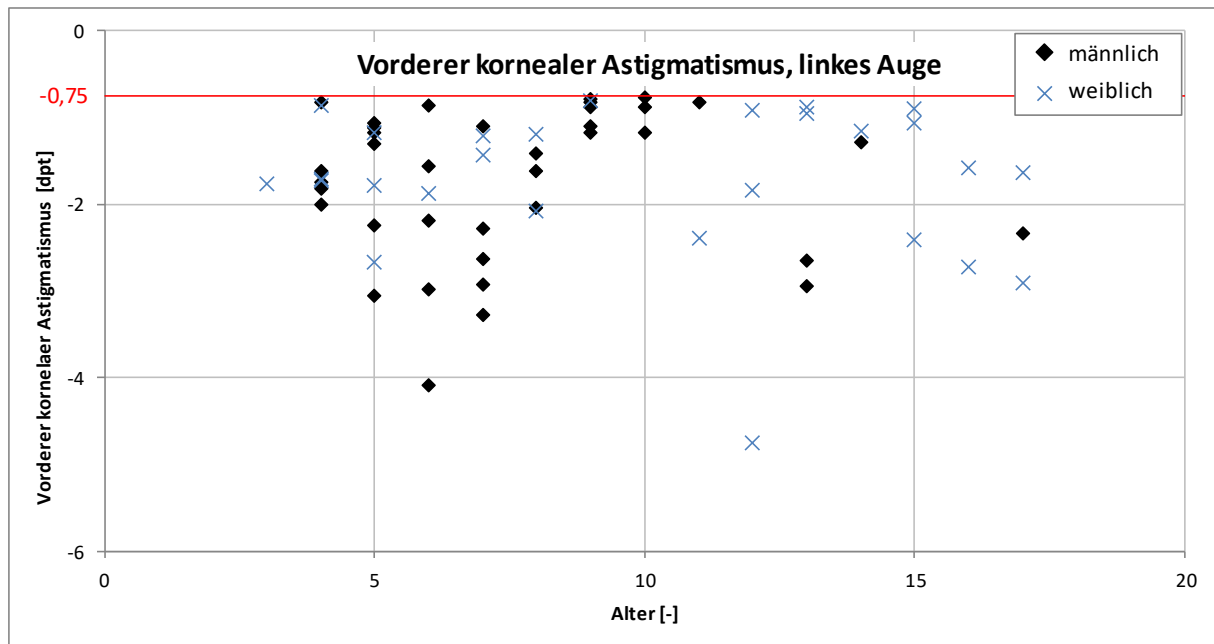


Abbildung 4-20: Vorderkammertiefe mittels IOLMaster™, linkes Auge

Ähnlich wie bei der Augachsenlänge konnte auch bei der Vorderkammertiefe kein geschlechtsspezifischer Einfluss bestimmt werden, siehe Tabelle 4-3. In Analogie zur Augachsenlänge nimmt die Vorderkammertiefe unabhängig vom Geschlecht ebenfalls statistisch signifikant (RA:  $r = 0,427$ ,  $p = 0,01$ ; LA:  $r = 0,329$ ,  $p = 0,05$ ) mit steigendem Alter zu.

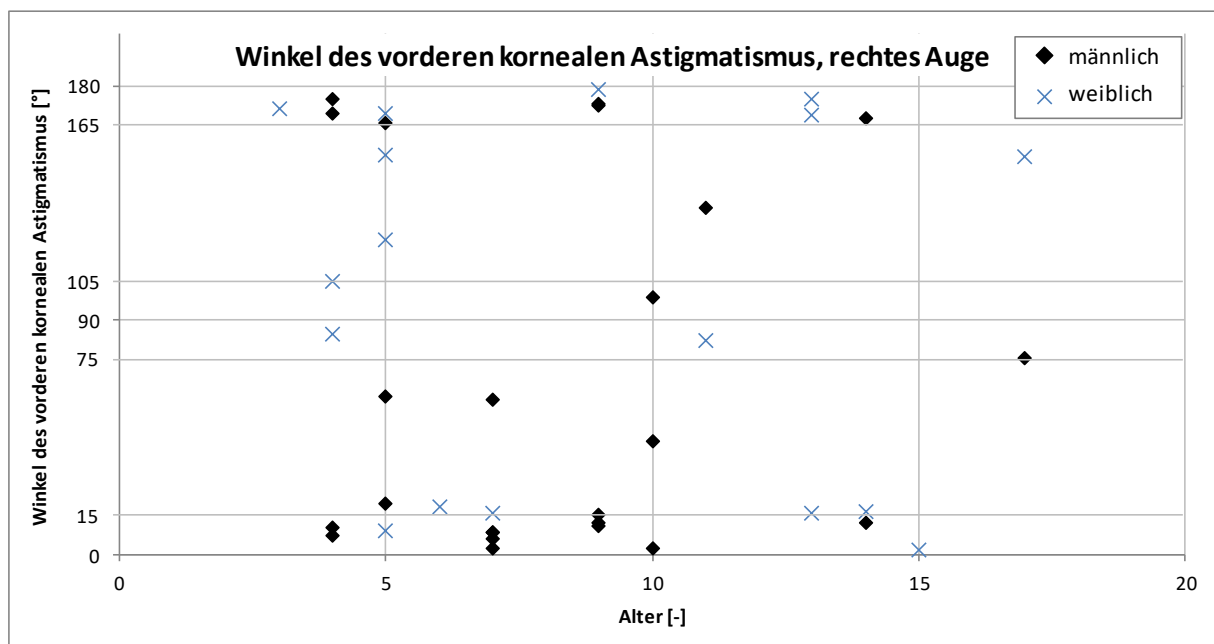
In Abbildung 4-21 und Abbildung 4-22 ist der vordere korneale Astigmatismus ausgewertet. Durchschnittlich ergab sich für das rechte Auge ein Wert von  $-1,85 \text{ dpt} \pm 0,97 \text{ dpt}$  (SD) (Me-



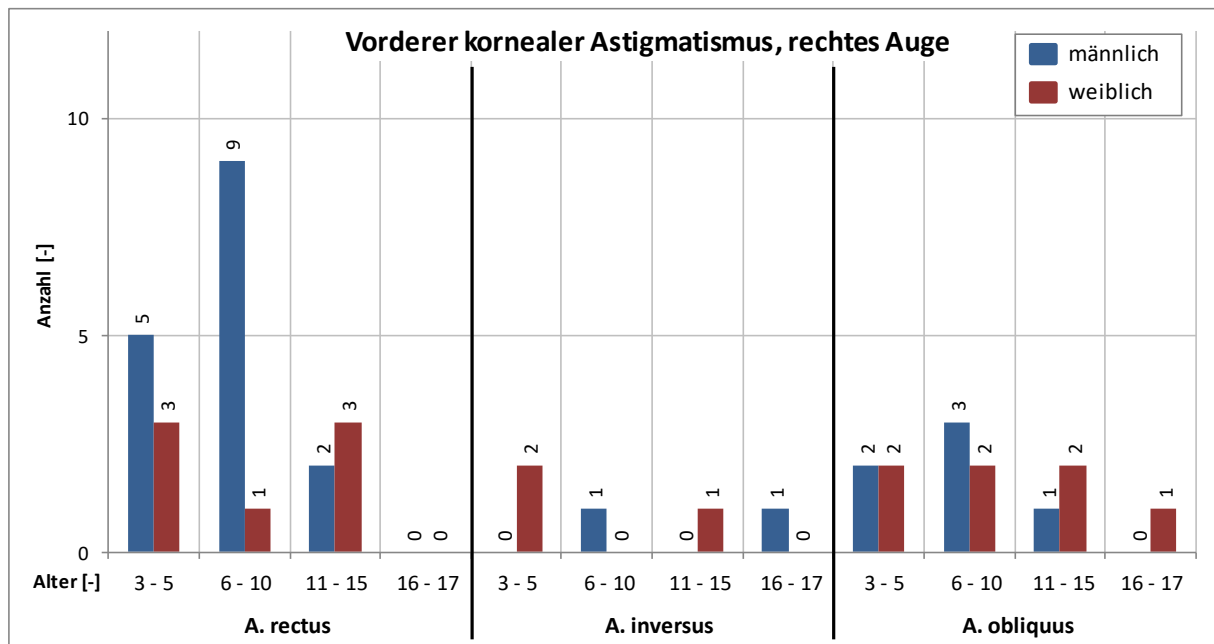


**Abbildung 4-22: Vorderer kornealer Astigmatismus in Dioptrie mittels IOLMaster™, linkes Auge**

In Analogie zur Auswertung des Winkels des oberflächlichen Astigmatismus beim Autorefraktometer erfolgte auch bei den mittels IOLMaster™ gewonnenen Ergebnissen zunächst eine Darstellung der Werte des rechten Auges in Abbildung 4-23, wobei in Abbildung 4-24 die absolute Anzahl der drei Formen des Astigmatismus in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter ausgewertet dargestellt sind.

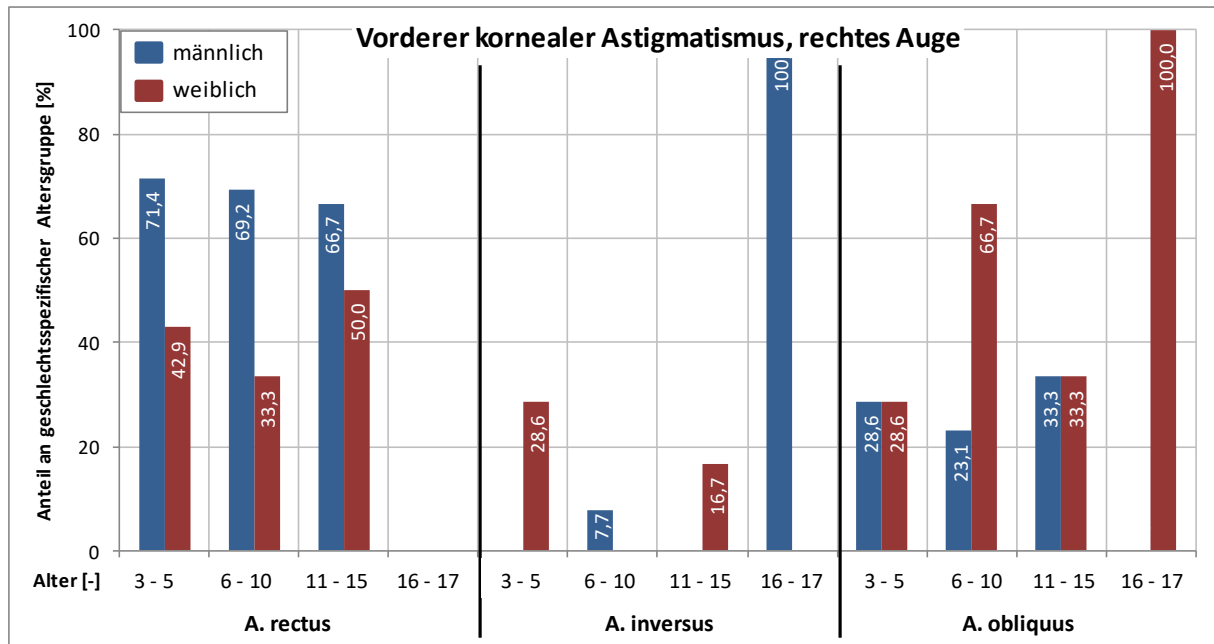


**Abbildung 4-23: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels IOLMaster™, rechtes Auge**



**Abbildung 4-24: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, rechtes Auge**

Für das rechte Auge konnte bei 56,1 % (N = 23) aller Patienten ein Astigmatismus rectus, bei 12,2 % (N = 5) ein Astigmatismus inversus und bei 31,7 % (N = 13) ein Astigmatismus obliquus diagnostiziert werden. Aufgrund der ungleichmäßig verteilten Patientenpopulation erfolgte auch beim IOLMaster™ eine geschlechtsspezifische Auswertung für jede Altersgruppe, siehe Abbildung 4-25.



**Abbildung 4-25: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, rechtes Auge**

Unter Berücksichtigung der absoluten Zahlen ließ sich für die männlichen Patienten mit steigendem Alter eine leichte Abnahme des Astigmatismus rectus von 71,4 % (N = 5) auf 66,7 % (N = 2) im Alter von 11 bis 15 Jahren feststellen, wobei dies die mit großem Abstand dominierende Diagnose in dieser Altersgruppe darstellt. Bei den weiblichen Patienten ließ sich eine Altersabhängigkeit nicht beobachten, wobei auch hier der Astigmatismus rectus auf einem niedrigeren Niveau die vorherrschende Diagnose bildet. Für den Astigmatismus obliquus ließ sich unter Berücksichtigung des Stichprobenumfangs keine Geschlechtsabhängigkeit feststellen.

Die Abbildung 4-26 zeigt die Auswertung des Winkels des vorderen kornealen Astigmatismus des linken Auges, in Abbildung 4-27 sind die Formen des vorderen kornealen Astigmatismus alters- und geschlechtsspezifisch ausgewertet dargestellt.

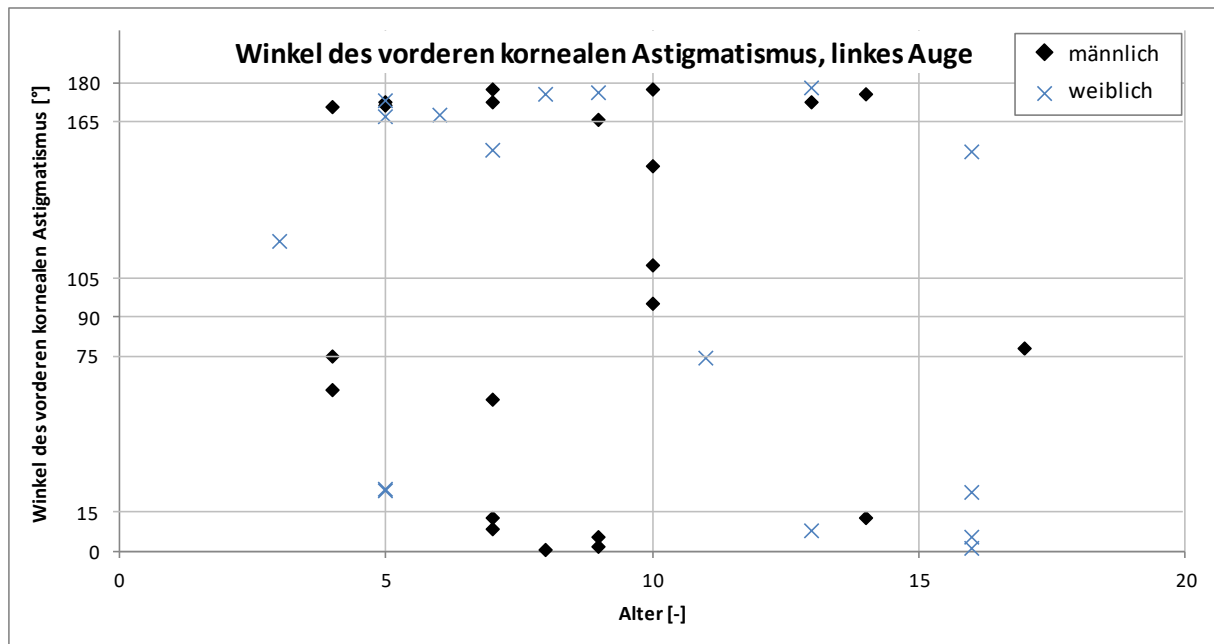


Abbildung 4-26: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels IOLMaster™, linkes Auge

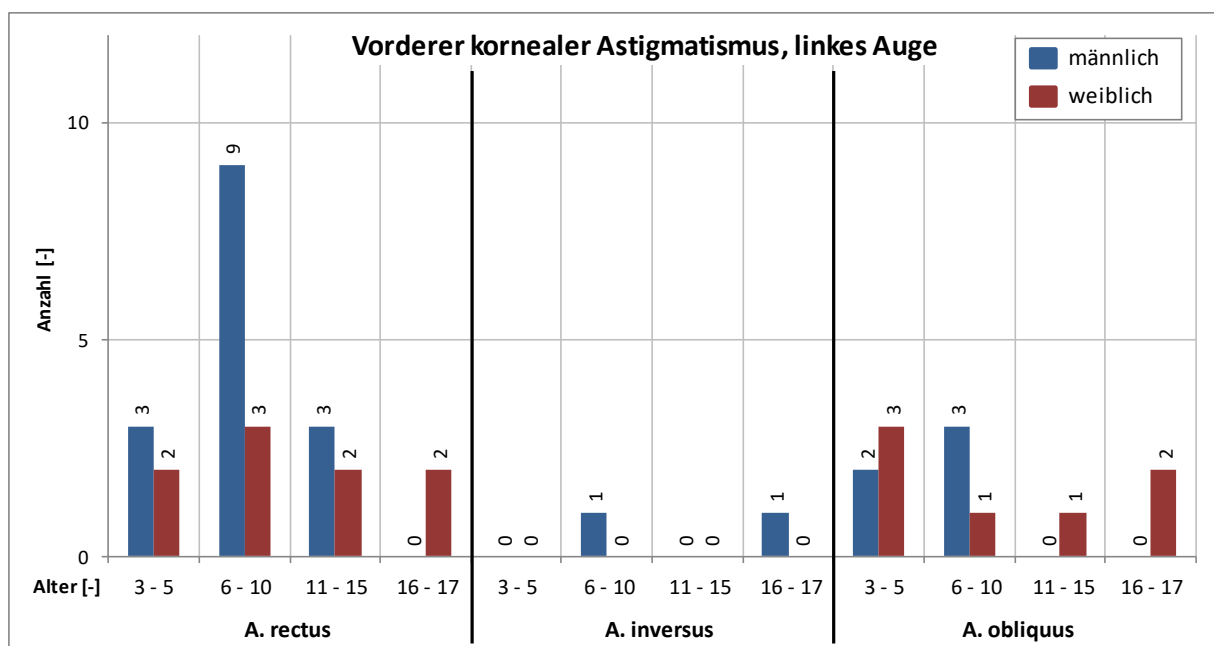
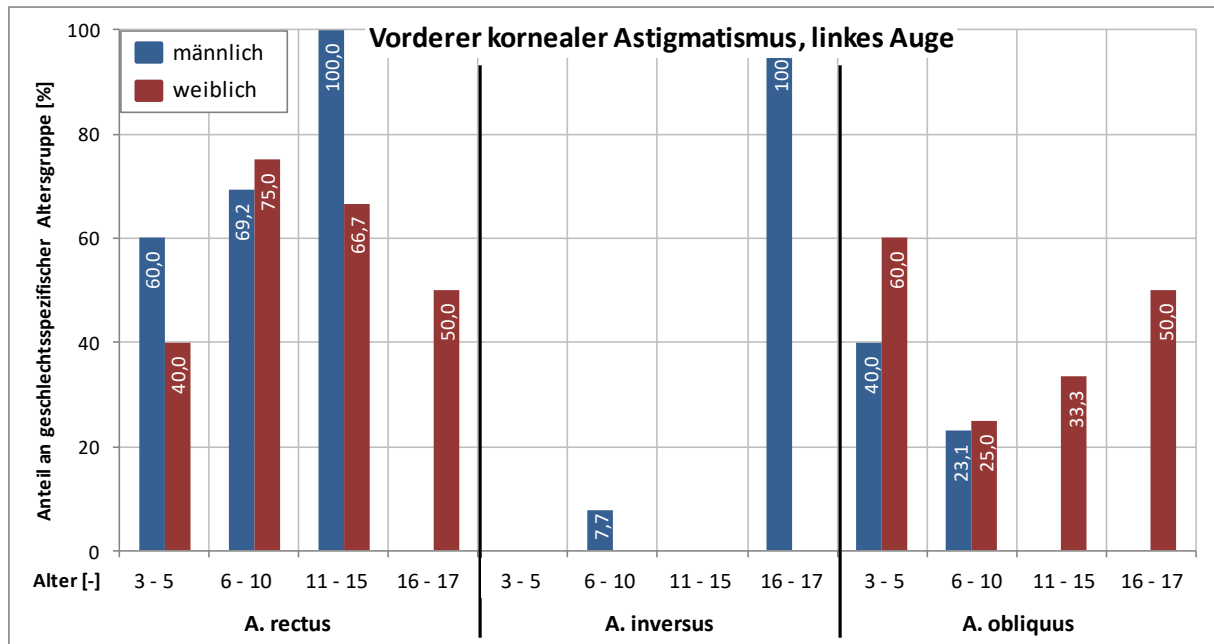


Abbildung 4-27: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, linkes Auge

Im linken Auge konnte bei 63,1 % (N = 24) der Patienten ein Astigmatismus rectus, bei 5,3 % (N = 2) ein Astigmatismus inversus sowie bei 31,6 % (N = 12) ein Astigmatismus obliquus festgestellt werden.



**Abbildung 4-28: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, linkes Auge**

Vergleichbar zur Auswertung der vorderen kornealen Astigmatismen des rechten Auges stellte ein Astigmatismus rectus auch beim linken Auge bis zu einem Alter von 15 Jahren geschlechtsunabhängig die dominierende Diagnose dar. Bis zu einem Alter von zehn Jahren konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede für einen Astigmatismus obliquus beobachtet werden, wobei sich für die weiblichen Patienten eine Tendenz zu einem Anstieg dieser Diagnose mit steigendem Alter konstatieren ließ. Im linken Auge konnte ein Astigmatismus inversus ausschließlich bei zwei männlichen Patienten festgestellt werden.

Die Tabelle 4-3 stellt die mit Hilfe des IOLMaster™ ermittelten statistischen Messgrößen gegenüber, wobei zwischen den Geschlechtern der Patienten unterschieden wird.

Tabelle 4-3: Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen des IOLMaster™

			Rechtes Auge		Linkes Auge	
			♂	♀	♂	♀
<b>Augachsenlänge</b>	mm	MW	22,73	22,26	22,68	22,49
		SD	±1,67	±1,13	±1,70	±1,47
		MD	22,53	22,47	22,53	22,47
		min	20,24	19,62	19,40	20,58
		max	30,58	24,72	30,58	28,26
<b>Vorderkammertiefe</b>	mm	MW	3,52	3,42	3,50	3,46
		SD	±0,24	±0,25	±0,30	±0,30
		MD	3,52	3,43	3,49	3,46
		min	3,06	2,89	2,76	2,86
		max	4,01	3,90	4,10	4,22
<b>Vorderer kornealer Astigmatismus</b>	dpt	MW	-1,96	-1,72	-1,74	-1,72
		SD	±0,89	±1,06	±0,86	±0,87
		MD	-1,83	-1,44	-1,56	-1,63
		min	-4,36	-4,86	-4,09	-4,76
		max	-0,76	-0,77	-0,76	-1,63

### 4.3 Ergebnisse Pentacam® HR

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Diagnosegeräts Pentacam® HR beschrieben, wobei zunächst die Durchführbarkeit der Untersuchungen diskutiert wird. Vergleichbar zum Autorefraktometer und zum IOLMaster™ wurde bei allen Patienten mit der Pentacam® HR zunächst das rechte und im Anschluss daran das linke Auge untersucht, so dass in Summe 174 Ergebnisse für die Auswertung vorlagen. Für das rechte Auge konnte bei 61 Patienten die Durchführbarkeit als gut und in 6 Fällen als mittelmäßig bewertet werden. Bei 8 Patienten wurde die Durchführbarkeit als schlecht bewertet, und bei 12 Patienten konnten keinerlei Messwerte erfasst werden, wobei diese über alle Altersgruppen verteilt waren. Die Untersuchungen am linken Auge konnten in 25 Fällen mit gut und zweimal mit mittelmäßig bewertet werden. Bei 4 Patienten wurde eine schlechte Durchführbarkeit ermittelt, und bei 56 Patienten konnten keine Messwerte erfasst werden.

Abbildung 4-29 und Abbildung 4-30 zeigen die Auswertung der Hornhautdicke an der dünnsten Stelle.

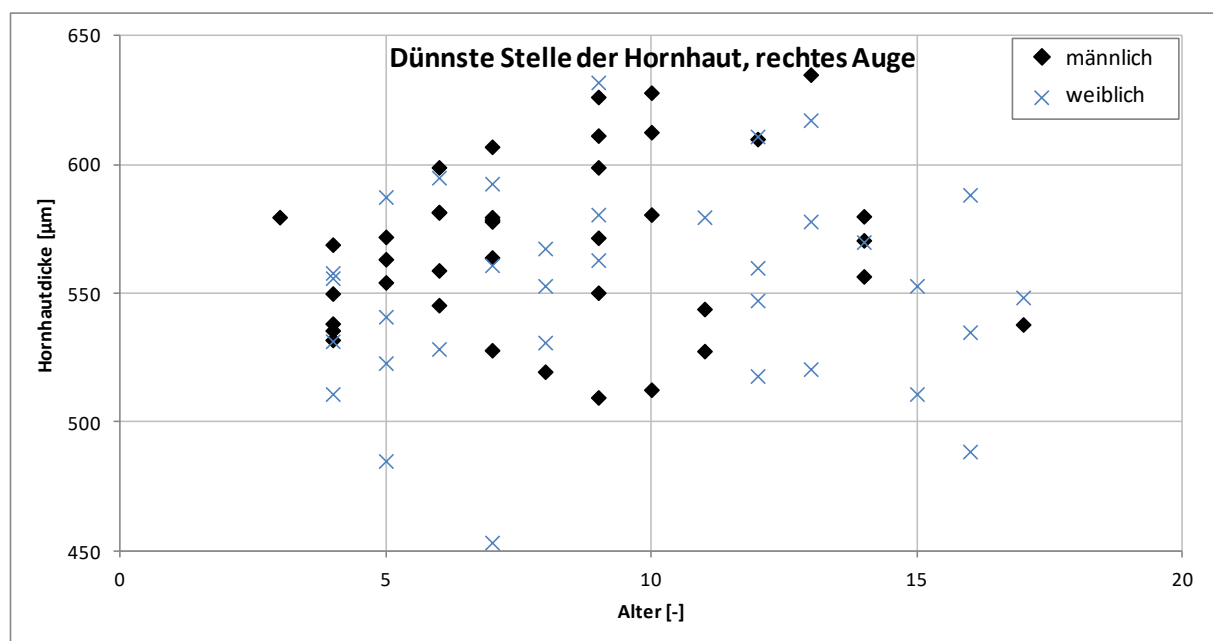
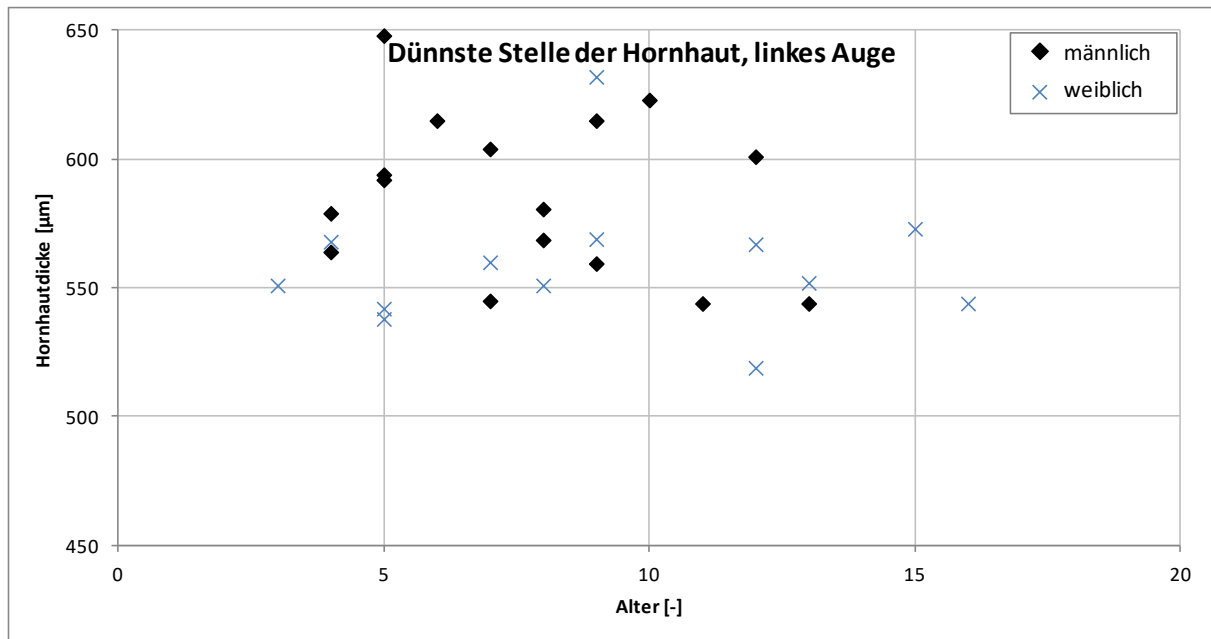


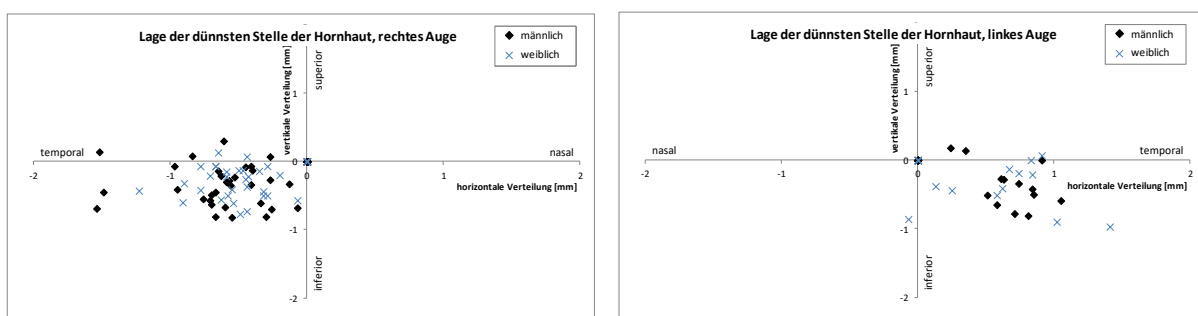
Abbildung 4-29: Dünnsste Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR, rechtes Auge



**Abbildung 4-30: Dünkste Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR, linkes Auge**

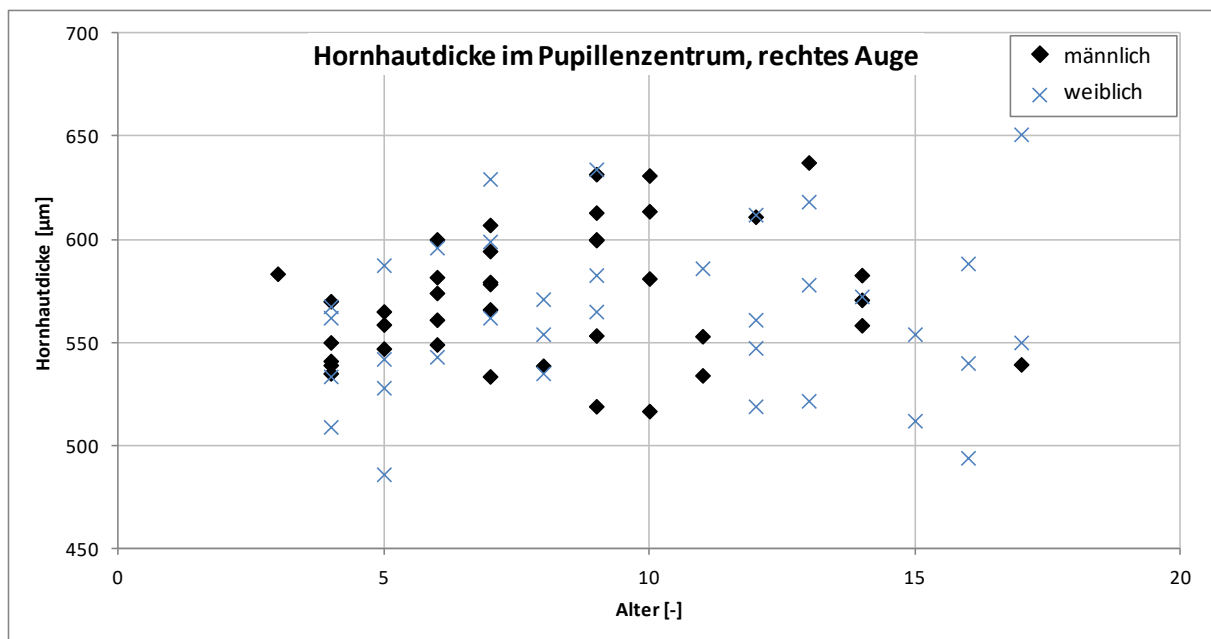
Als Mittelwert der dünnsten Stelle der Hornhaut im rechten Auge ergab sich ein Wert von  $561,89 \mu\text{m} \pm 36,72 \mu\text{m}$  (SD) (Median  $562,00 \mu\text{m}$ , von  $453,33$  bis  $635,00 \mu\text{m}$ ) und im linken Auge von  $573,89 \mu\text{m} \pm 31,68 \mu\text{m}$  (SD) (Median  $568,00 \mu\text{m}$ , von  $519,00$  bis  $648,00 \mu\text{m}$ ). Die geschlechterspezifische Auswertung ließ geringfügig kleinere Hornhautdicken bei den weiblichen Patienten erkennen, diese lagen 2,5 % beim rechten und 4,6 % beim linken Auge niedriger als die der männlichen, siehe Tabelle 4-4. Im rechten Auge ließ sich geschlechtsunabhängig eine deutliche Zunahme der Hornhautdicke mit steigendem Alter feststellen, im linken Auge konnte bei den weiblichen Patienten keine Altersabhängigkeit feststellen, bei den männlichen dem gegenüber wurde eine tendenzielle Abnahme mit steigendem Alter diagnostiziert.

Abbildung 4-31 beschreibt die Lage der dünnsten Stelle der Hornhaut, d.h. den horizontalen und vertikalen Abstand vom Pupillenzentrum [mm].



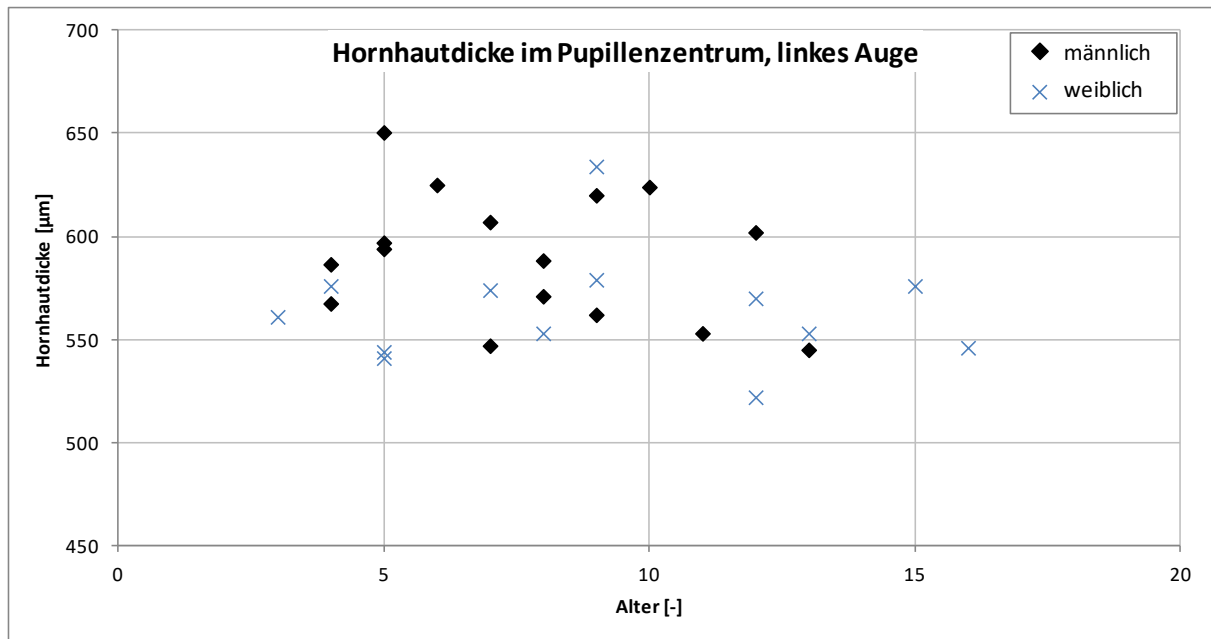
**Abbildung 4-31: Lage der dünnsten Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR, rechtes und linkes Auge**

Die dünnste Stelle der Hornhaut des rechten Auges lag bei 90,3 % (N = 56) der Patienten im inferior temporalen Quadranten und bei 9,7 % (N = 6) der Patienten im superior temporalen Quadranten. Im inferior nasalen sowie superior nasalen Quadranten lagen beim rechten Auge keine Messwerte vor. Beim linken Auge zeigte sich die dünnste Stelle zu 84 % (N = 21) im inferior temporalen Quadranten, zu 12 % (N = 3) im superior temporalen sowie zu 4 % (N = 1) im inferior nasalen Quadranten. Im superior nasalen Quadranten lag kein Ergebnis. Die Untersuchungsergebnisse zur Hornhautdicke im Pupillenzentrum sind in Abbildung 4-32 und Abbildung 4-33 dargestellt.



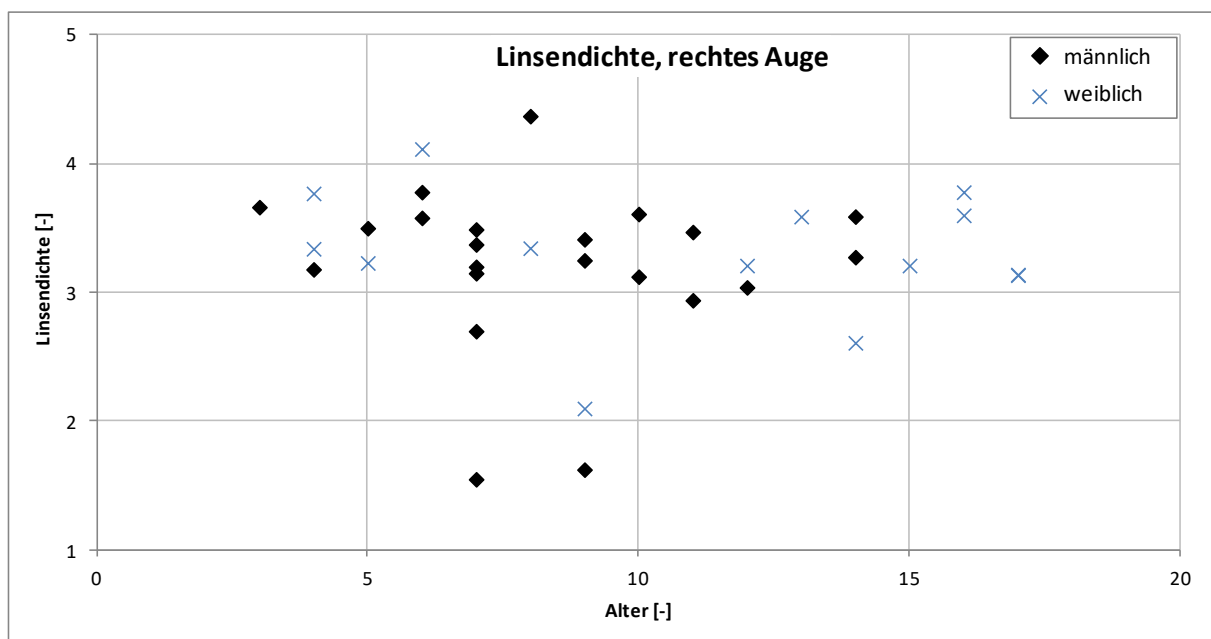
**Abbildung 4-32: Hornhautdicke im Pupillenzentrum mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**

Der durchschnittliche Wert der Hornhautdicke im Pupillenzentrum des rechten Auges lag bei  $567,41 \mu\text{m} \pm 35,49 \mu\text{m}$  (SD) (Median  $565,00 \mu\text{m}$ , von  $486,00$  bis  $651,00 \mu\text{m}$ ), im linken Auge betrug dieser  $578,24 \mu\text{m} \pm 31,68 \mu\text{m}$  (SD) (Median  $574,00 \mu\text{m}$ , von  $522,00$  bis  $650,50 \mu\text{m}$ ). Vergleichbar zur dünnsten Stelle der Hornhautdicke ließen sich ebenfalls bei den weiblichen Patienten im Mittel um 1,6 % beim rechten Auge und 4,4 % beim linken Auge niedrigere Werte feststellen, siehe Tabelle 4-4. Analog konnte auch im Pupillenzentrum des rechten Auges geschlechtsunabhängig eine Zunahme der Hornhautdicke mit dem Alter diagnostiziert werden, im linken Auge war diese bei den weiblichen Patienten konstant und bei den männlichen abnehmend. Allerdings waren die geschlechts- und altersspezifischen Zusammenhänge zur Hornhautdicke (dünnste Stelle sowie im Pupillenzentrum) statistisch nicht signifikant.



**Abbildung 4-33: Hornhautdicke im Pupillenzentrum mittels Pentacam® HR, linkes Auge**

Als weitere Messgröße der Pentacam® HR wurde die Linsendichte (entspricht dem Trübungswert) ausgewertet, siehe Abbildung 4-34 und Abbildung 4-35. Diese dimensionslose Messgröße wurde mit Hilfe der Software Pentacam HR Nucleus Staging Software (PNS) als Trübung der Linse ermittelt. Laut dem Hersteller werden PNS-Werte ab 2 als abnormal und Werte größer 3 als pathologisch eingestuft [OCULUS 2015]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Grenzwerte von Oculus für Erwachsene ermittelt worden sind und nicht mit kindlichen Werten verglichen werden können.



**Abbildung 4-34: Linsendichte mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**

Die durchschnittliche Linsendichte im rechten Auge betrug  $3,25 \pm 0,58$  (SD) (Median 3,31, von 1,55 bis 4,37), und im linken Auge  $2,98 \pm 0,76$  (SD) (Median 3,30, von 1,42 bis 3,77).

Die geschlechtsspezifische Auswertung zeigte für das rechte Auge eine um 2,4 % höhere und für das linke Auge eine um 4,6 % niedrigere Linsendichte der weiblichen Patienten, siehe Tabelle 4-4. Sowohl bei den männlichen als auch weiblichen Patienten konnte eine leichte Tendenz zur Abnahme der Linsendichte mit steigendem Alter festgestellt werden.

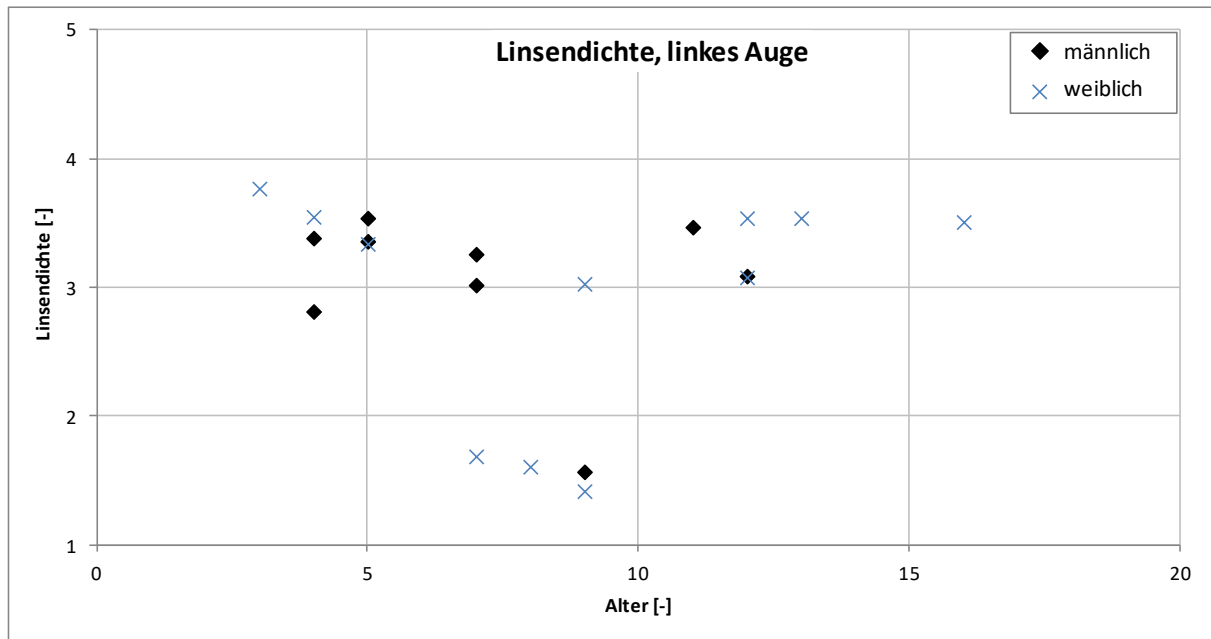


Abbildung 4-35: Linsendichte mittels Pentacam® HR, linkes Auge

Die Auswertung des Kammervolumens ist in Abbildung 4-36 und Abbildung 4-37 dargestellt.

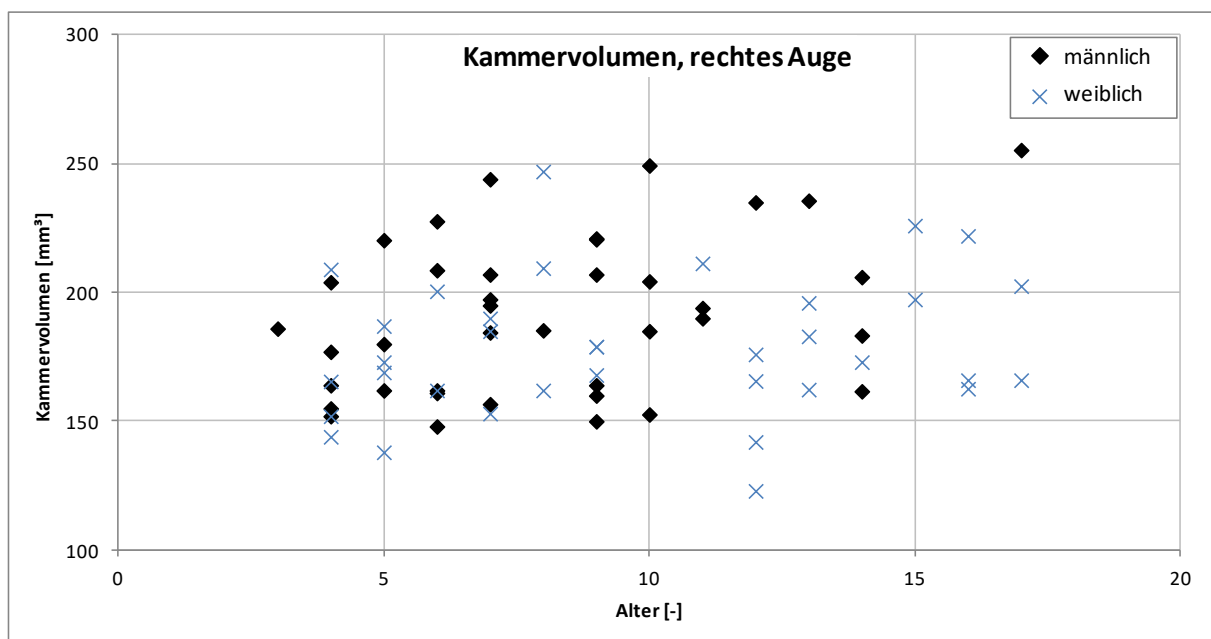
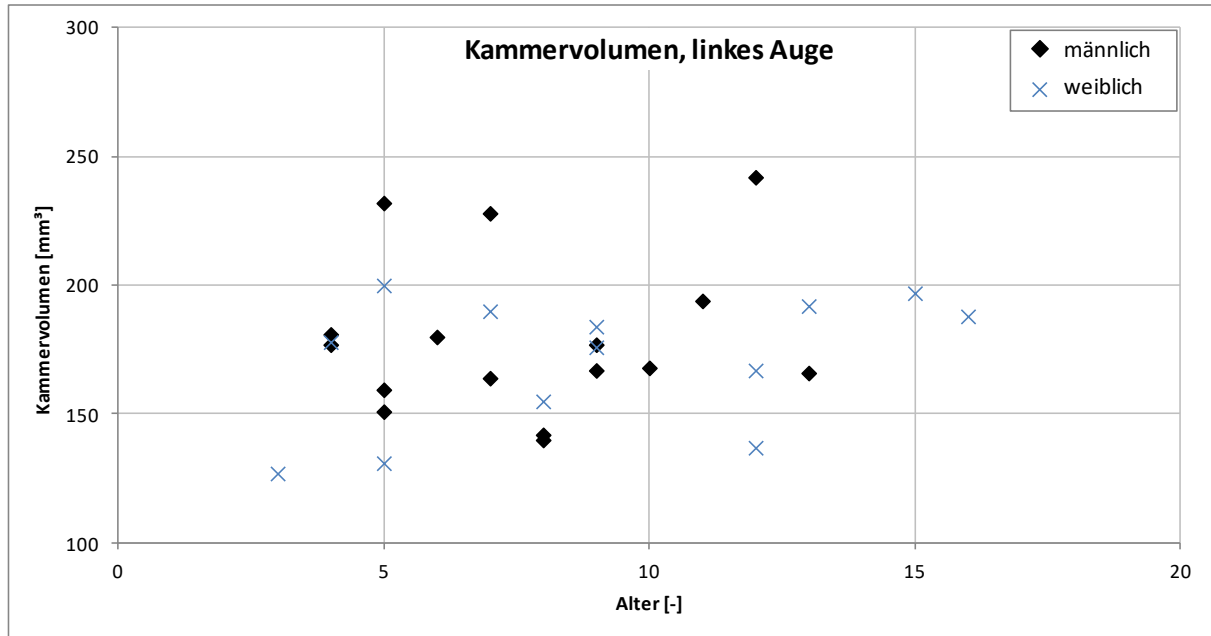


Abbildung 4-36: Kammervolumen mittels Pentacam® HR, rechtes Auge

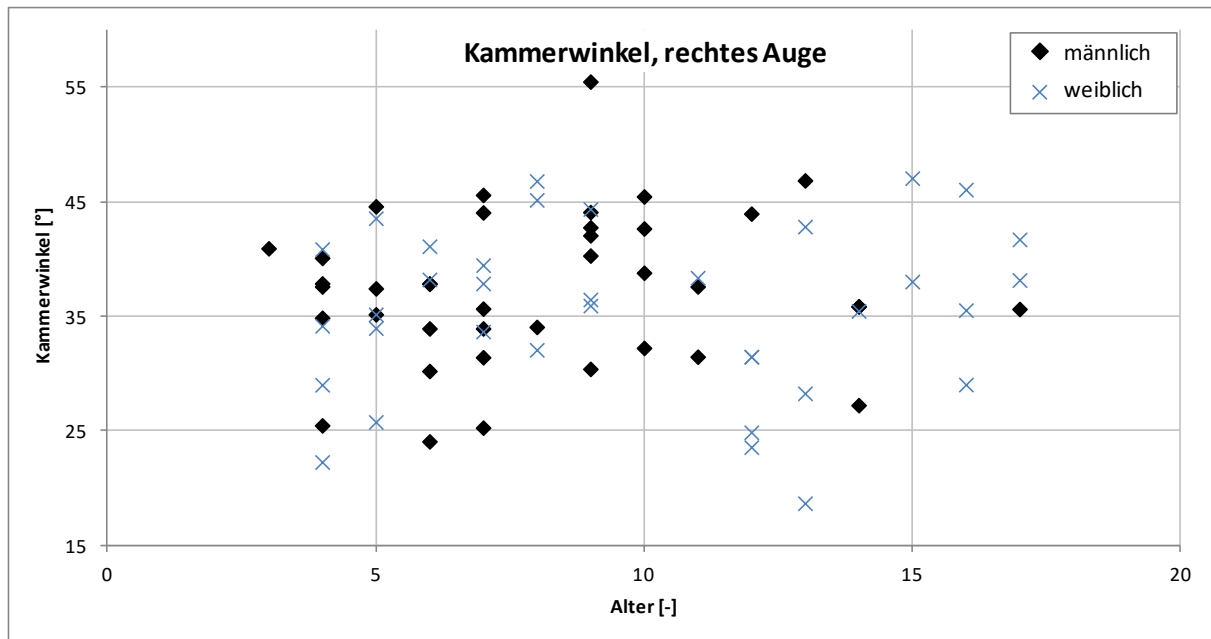
Der Mittelwert des Kammervolumens des rechten Auges belief sich auf  $185,13 \text{ mm}^3 \pm 29,23 \text{ mm}^3$  (SD) (Median  $183,17 \text{ mm}^3$ , von  $123,00$  bis  $255,33 \text{ mm}^3$ ), und im linken Auge auf  $175,53 \text{ mm}^3 \pm 28,31 \text{ mm}^3$  (SD) (Median  $177,00 \text{ mm}^3$ , von  $127,00$  bis  $242,00 \text{ mm}^3$ ).



**Abbildung 4-37: Kammervolumen mittels Pentacam® HR, linkes Auge**

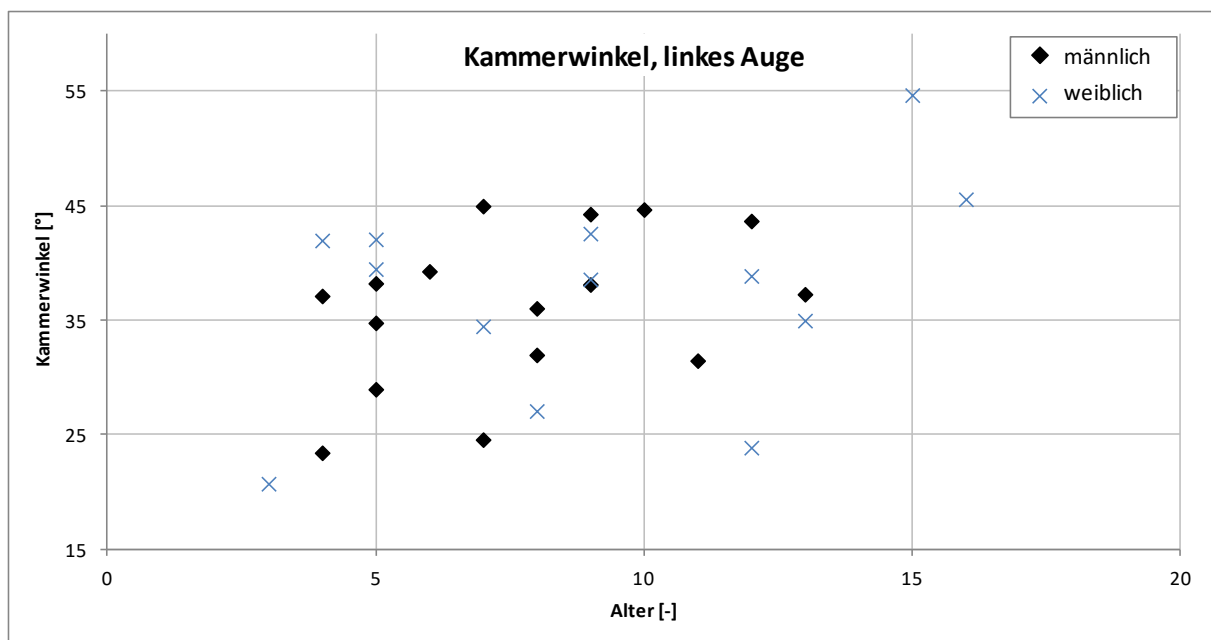
Im Mittel ließ sich bei den weiblichen Patienten ein um 6,6 % (rechtes Auge) bzw. 4,7 % (linkes Auge) kleineres Kammervolumen feststellen. Unabhängig vom Geschlecht ließ sich eine Zunahme des Kammervolumens mit steigendem Alter feststellen, die allerdings statistisch nicht signifikant war.

Die Auswertung des Kammerwinkels des rechten Auges ergab einen Mittelwert von  $36,56^\circ \pm 6,96^\circ$  (SD) (Median  $36,98^\circ$ , von  $18,70$  bis  $55,53^\circ$ ), siehe Abbildung 4-38.



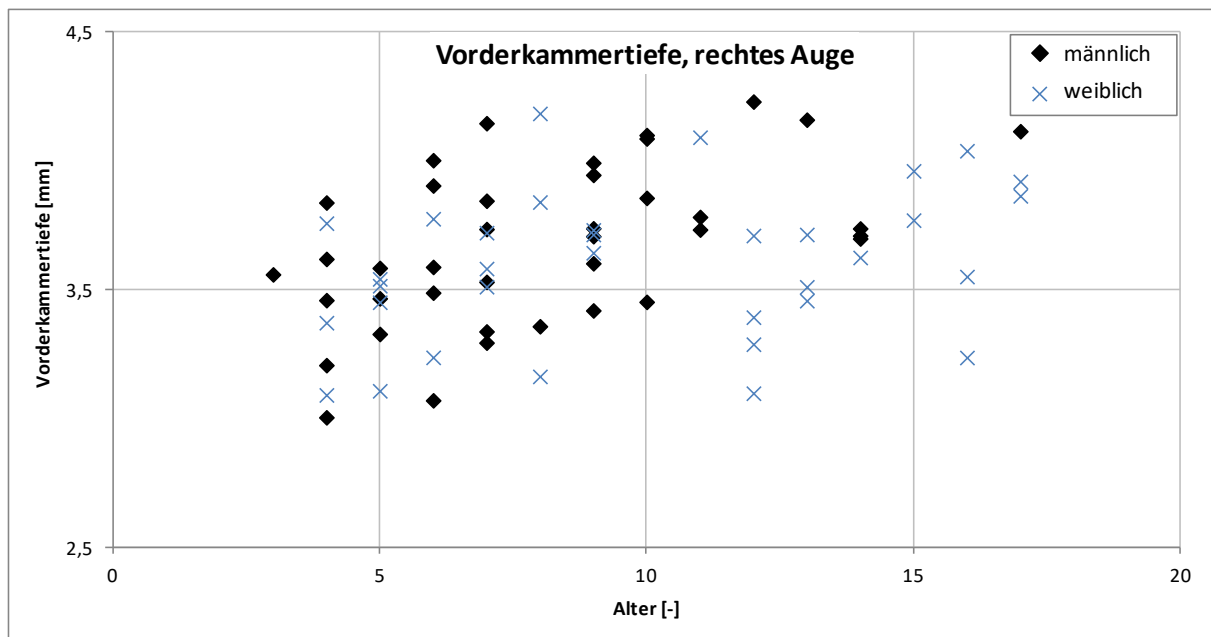
**Abbildung 4-38: Kammerwinkel mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**

Für das linke Auge wurde ein Mittelwert von  $36,71^\circ \pm 7,83^\circ$  (SD) (Median  $38,15^\circ$ , von  $20,75$  bis  $54,70^\circ$ ) ermittelt, siehe Abbildung 4-39. Eine Geschlechtsabhängigkeit konnte nicht konstatiert werden, im linken Auge lag der Kammerwinkel der weiblichen Patienten um 4,7 % niedriger, im rechten Auge um 3,1 % höher als bei den männlichen Patienten, siehe Tabelle 4-4. Die Untersuchungen beider Augen zeigten keine statistisch signifikante Abhängigkeit des Kammerwinkels vom Alter.



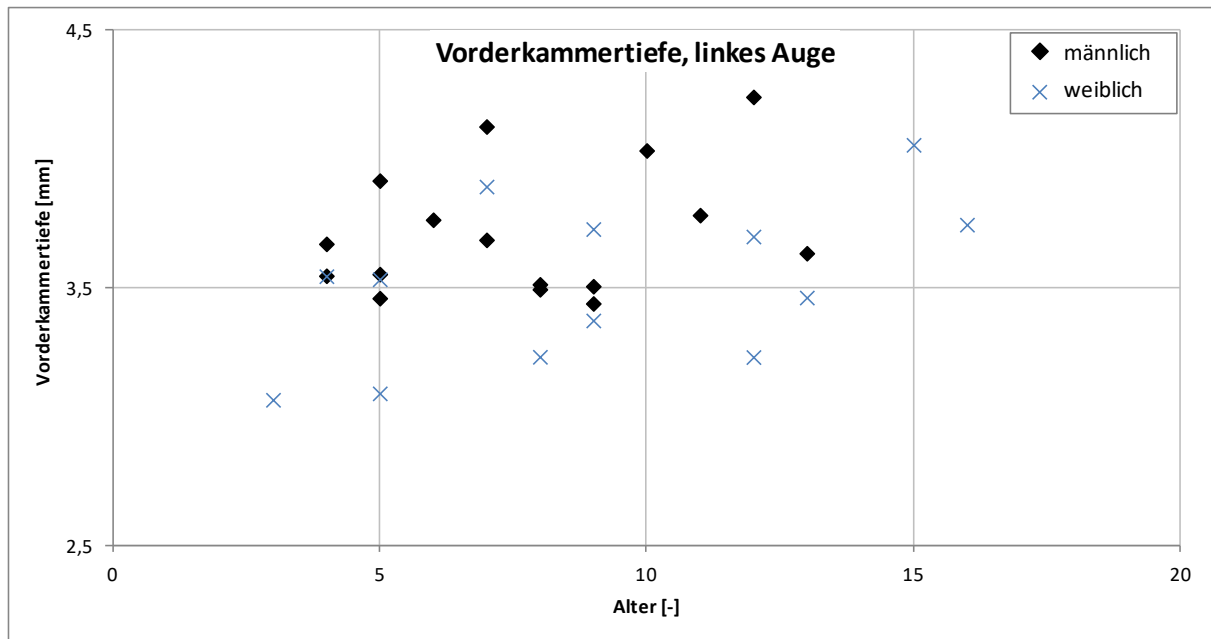
**Abbildung 4-39: Kammerwinkel mittels Pentacam® HR, linkes Auge**

Abbildung 4-40 und Abbildung 4-41 geben die Vorderkammertiefe gemessen mittels Pentacam® HR wieder, wobei die Messungen vom Hornhautepithel bis zur Linsenvorderfläche ausgewertet wurden.



**Abbildung 4-40: Vorderkammertiefe mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**

Der durchschnittliche Wert der Vorderkammertiefe (VKT) des rechten Auges lag bei  $3,59 \text{ mm} \pm 0,41 \text{ mm}$  (SD) (Median  $3,63 \text{ mm}$ , von  $1,51$  bis  $4,23 \text{ mm}$ ). Hier ist ebenfalls ein statistisch signifikanter Trend der Zunahme mit dem Alter zu erkennen. Ein im Diagramm nicht dargestellter Ausreißer mit einer Vorderkammertiefe von  $1,51 \text{ mm}$  bei einem vierjährigen Mädchen lässt sich auf die diagnostizierte Hyperopie zurückführen.

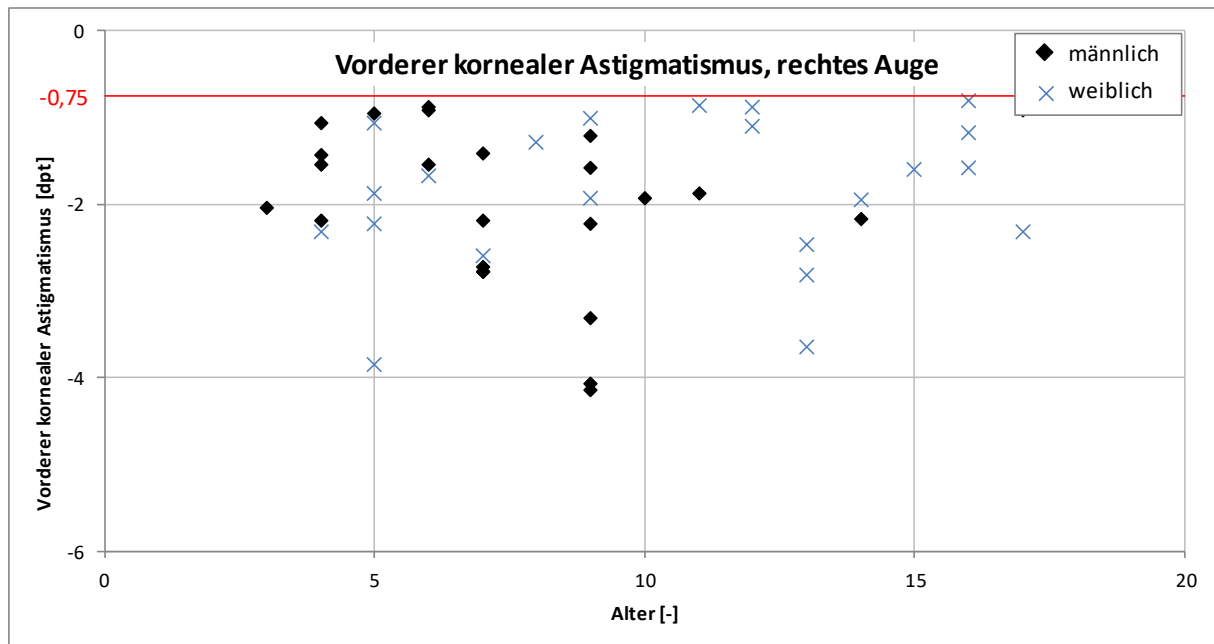


**Abbildung 4-41: Vorderkammertiefe mittels Pentacam® HR, linkes Auge**

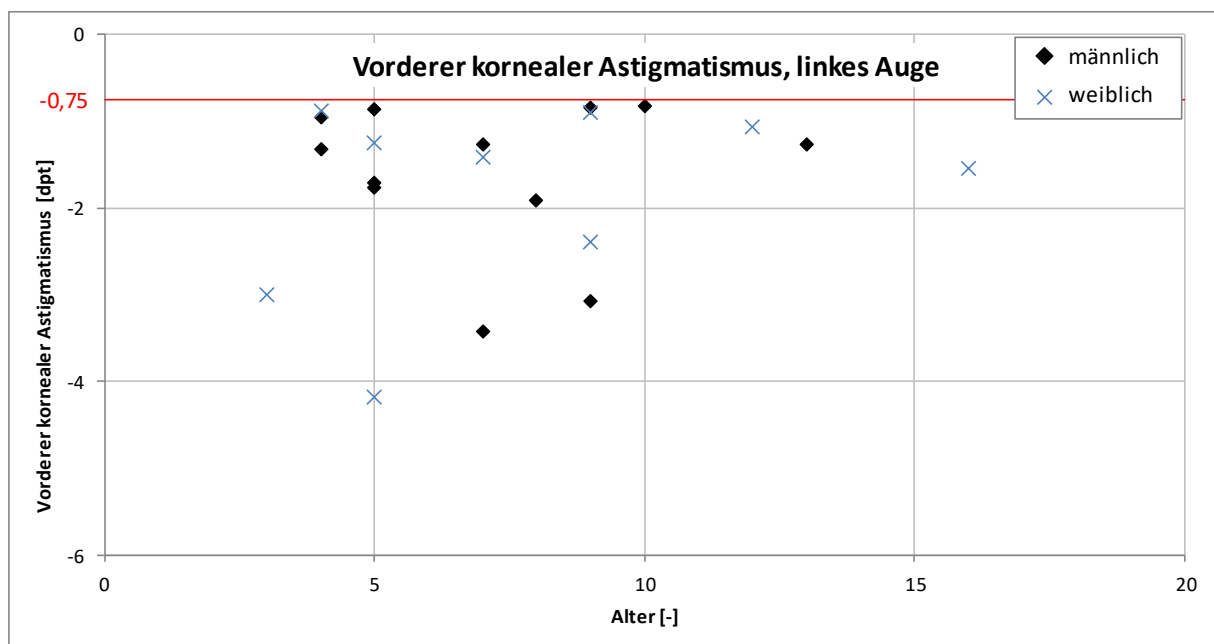
Im linken Auge wurde ein durchschnittlicher Wert der Vorderkammertiefe (VKT) von  $3,62 \text{ mm} \pm 0,29 \text{ mm}$  (SD) (Median 3,55 mm, von 3,07 bis 4,24 mm) ermittelt.

Vergleichbar zu den Ergebnissen der Vorderkammertiefe, die mittels IOLMaster™ ermittelt worden sind, ließ sich ebenfalls mit der Pentacam® HR eine statistisch signifikante Zunahme (RA:  $r = 0,422$ ,  $p = 0,05$ ) der Vorderkammertiefe mit steigendem Alter für beide Geschlechter feststellen. Die Vorderkammertiefe der weiblichen Patienten war im Mittel um 4,8 % (rechtes Auge) bzw. 5,4 % (linkes Auge) kleiner als die der männlichen Patienten, wobei keine statistische Signifikanz vorlag.

Grundsätzlich kann mittels Pentacam® HR der korneale Astigmatismus der Vorder- wie auch Rückfläche gemessen werden. In den folgenden Auswertungen wurden zwecks Vergleichbarkeit mit dem IOLMaster™ ausschließlich die Werte der kornealen Vorderfläche ausgewertet. Durchschnittlich ergab sich ein vorderer kornealer Astigmatismus für das rechte Auge von  $-1,91 \text{ dpt} \pm 0,90 \text{ dpt}$  (SD) (Median  $-1,87 \text{ dpt}$ , von  $-4,14$  bis  $-0,80 \text{ dpt}$ ), für das linke Auge von  $-1,71 \text{ dpt} \pm 0,96 \text{ dpt}$  (SD) (Median  $-1,32 \text{ dpt}$ , von  $-4,18$  bis  $-0,82 \text{ dpt}$ ), siehe Abbildung 4-42 und Abbildung 4-43.



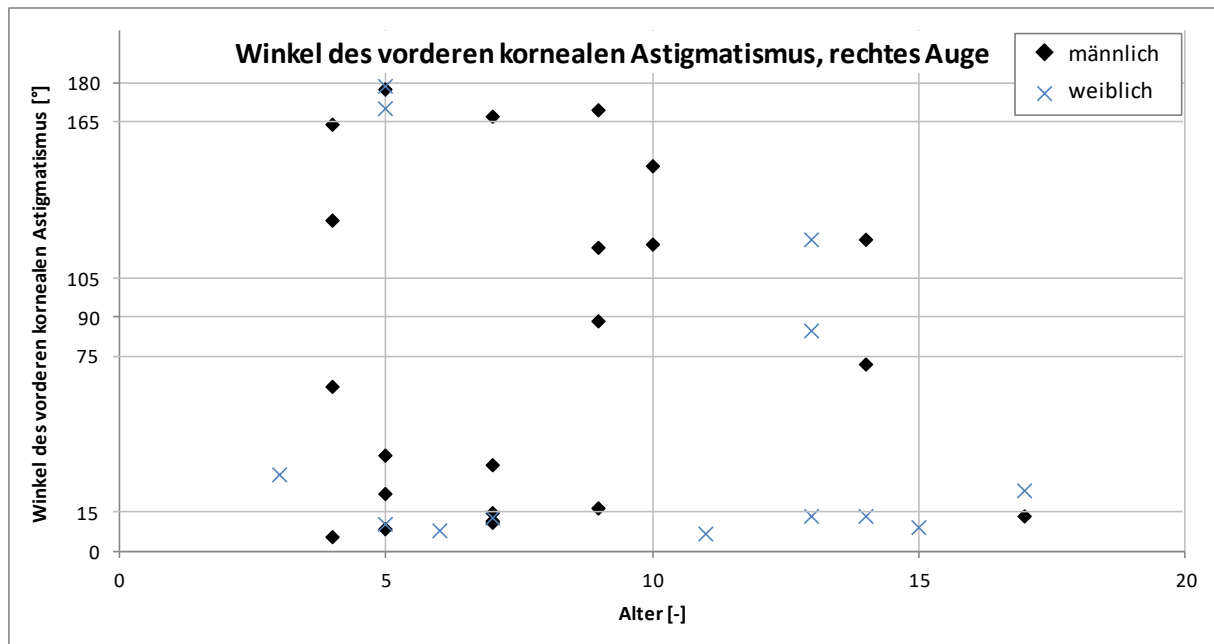
**Abbildung 4-42: Vorderer kornealer Astigmatismus in Dioptrie mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**



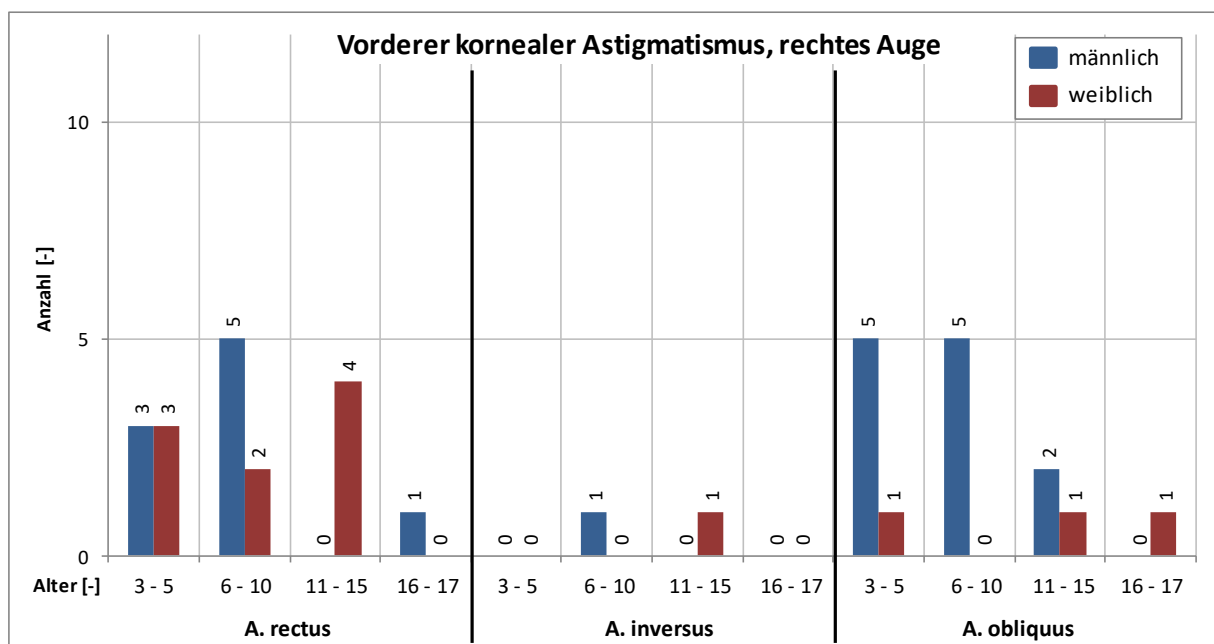
**Abbildung 4-43: Vorderer kornealer Astigmatismus in Dioptrie mittels Pentacam® HR, linkes Auge**

Die Auswertung des vorderen kornealen Astigmatismus zeigte keine statistisch signifikante Alters- oder Geschlechtsabhängigkeit.

In Abbildung 4-44 sind die Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus des rechten Auges, die mit Hilfe der Pentacam® HR ermittelt worden sind, dargestellt.

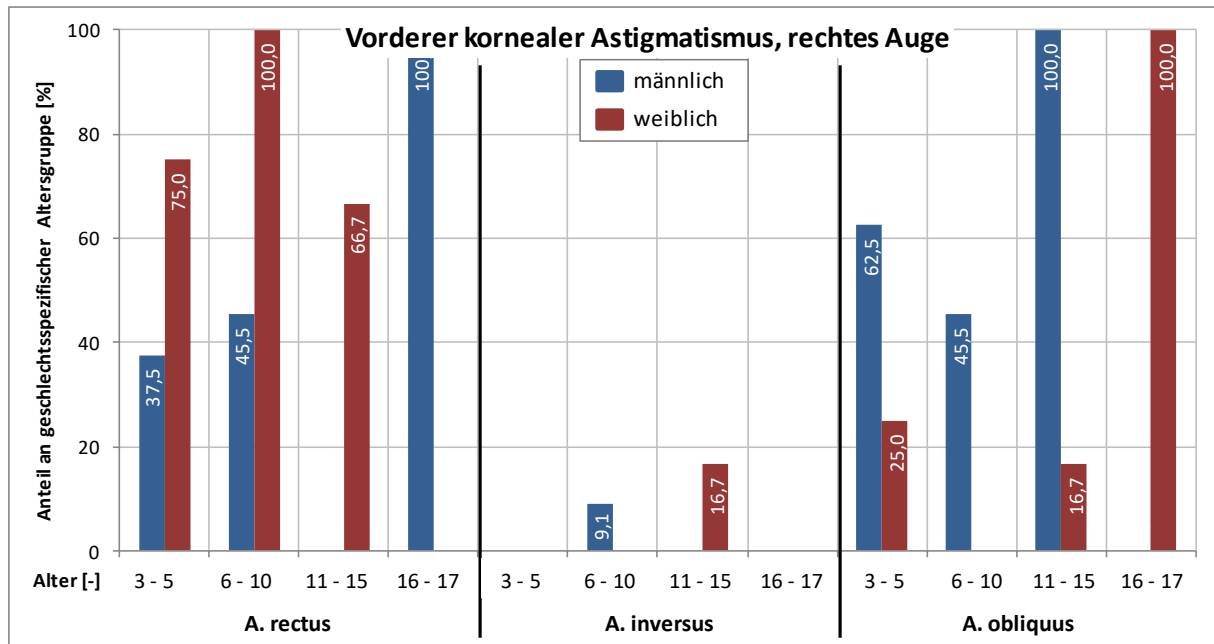


**Abbildung 4-44: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**



**Abbildung 4-45: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an vorderen kornealen Astigmatismen mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**

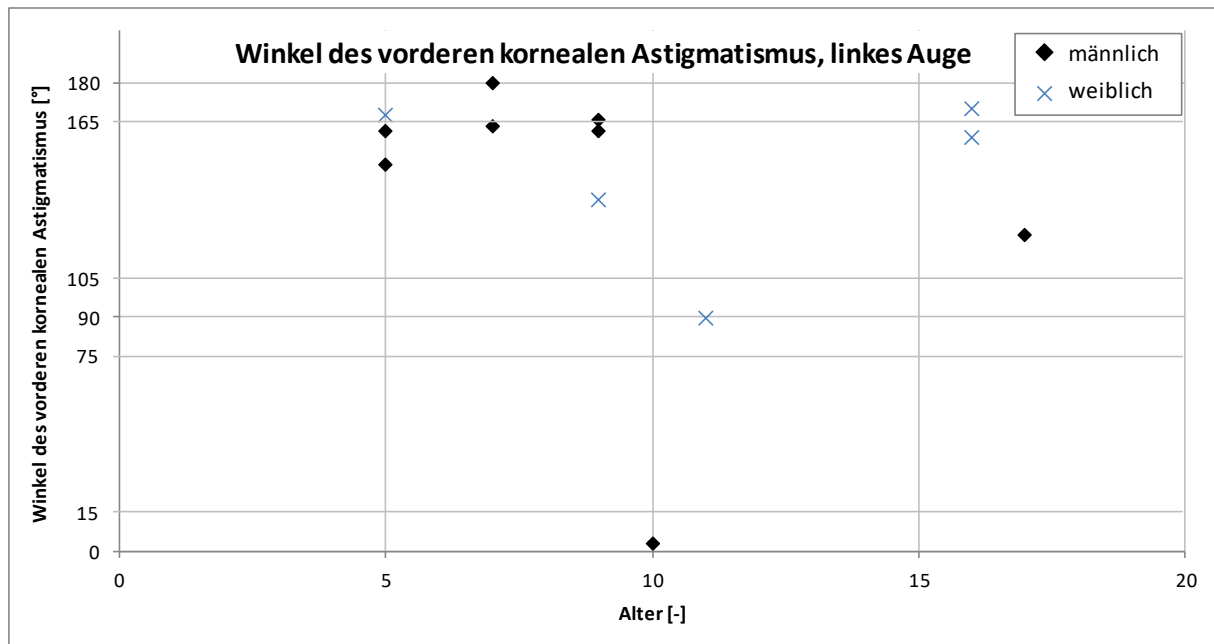
Bei 51,4 % (N = 18) der Patienten konnte im rechten Auge ein Astigmatismus rectus, bei 5,7 % (N = 2) ein Astigmatismus inversus und bei 42,9 % (N = 15) ein Astigmatismus obliquus diagnostiziert werden, siehe Abbildung 4-45.



**Abbildung 4-46: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der vorderen kornealen Astigmatismen mittels Pentacam® HR, rechtes Auge**

Mit Hilfe der alters- und geschlechtsspezifischen Auswertung konnte aufgezeigt werden, dass ein Trend zu einer Zunahme des Astigmatismus rectus mit steigendem Alter bis 10 Jahre feststellbar war. Dabei war diese Form des Astigmatismus bei den weiblichen Patienten mit mehr als 66,7 % (N = 9) häufiger vertreten, als dies bei den männlichen Patienten mit max. 45,5 % (N = 8) der Fall war, wenn der bei dem einzigen männlichen Patienten in der Altersgruppe von 16 bis 17 Jahren diagnostizierte Astigmatismus rectus nicht berücksichtigt wird. Bei den männlichen Patienten ließ sich dem gegenüber bis zu einem Alter von 15 Jahren ein deutlich größerer Anteil an Diagnosen mit einem Astigmatismus obliquus im Gegensatz zu den weiblichen Patienten feststellen. Der Astigmatismus inversus ist mit jeweils einer Nennung je Geschlecht bei dieser Patientenpopulation vernachlässigbar klein.

In Abbildung 4-47 sind die Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus im linken Auge dargestellt.



**Abbildung 4-47: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels Pentacam® HR, linkes Auge**

Da für die Auswertung nur von ca. 15 % der Patienten Messwerte des linken Auges zur Verfügung standen und daraus bei der geschlechts- und altersspezifischen Auswertung zum Teil nur ein Patient je Gruppe resultierte, ist eine Interpretation dieser Daten aus statistischer Sicht nicht zielführend.

Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5 stellen die mit Hilfe der Pentacam® HR ermittelten statistischen Messgrößen gegenüber, wobei zwischen den Geschlechtern der Patienten unterschieden wird.

**Tabelle 4-4: Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen der Pentacam® HR (I/II)**

			Rechtes Auge		Linkes Auge	
			♂	♀	♂	♀
<b>Dünns-te Stelle der Hornhautdicke</b>	µm	MW	568,73	554,26	586,05	558,92
		SD	±32,46	±40,05	±30,89	±26,62
		MD	570,67	556,00	586,33	552,00
		min	509,67	453,33	544,00	519,00
		max	635,00	632,00	648,00	632,00
<b>Hornhautdicke im Pupillenzentrum</b>	µm	MW	571,72	562,61	589,99	563,77
		SD	±31,68	±39,21	±30,93	±27,11
		MD	570,00	562,00	591,17	561,00
		min	516,67	486,00	545,00	522,00
		max	637,33	651,00	650,50	634,00
<b>Linsendichte</b>	-	MW	+3,22	+3,30	+3,06	+2,92
		SD	±0,63	±0,50	±0,60	±0,89
		MD	+3,32	+3,29	+3,26	+3,34
		min	+1,55	+2,10	+1,57	+1,42
		max	+4,37	+4,12	+3,54	+3,77
<b>Kammervolumen</b>	mm <sup>3</sup>	MW	191,09	178,50	179,28	170,92
		SD	±30,39	±26,77	±30,69	±25,52
		MD	186,00	173,00	172,50	178,00
		min	148,00	123,00	140,00	127,00
		max	255,33	247,00	242,00	200,00

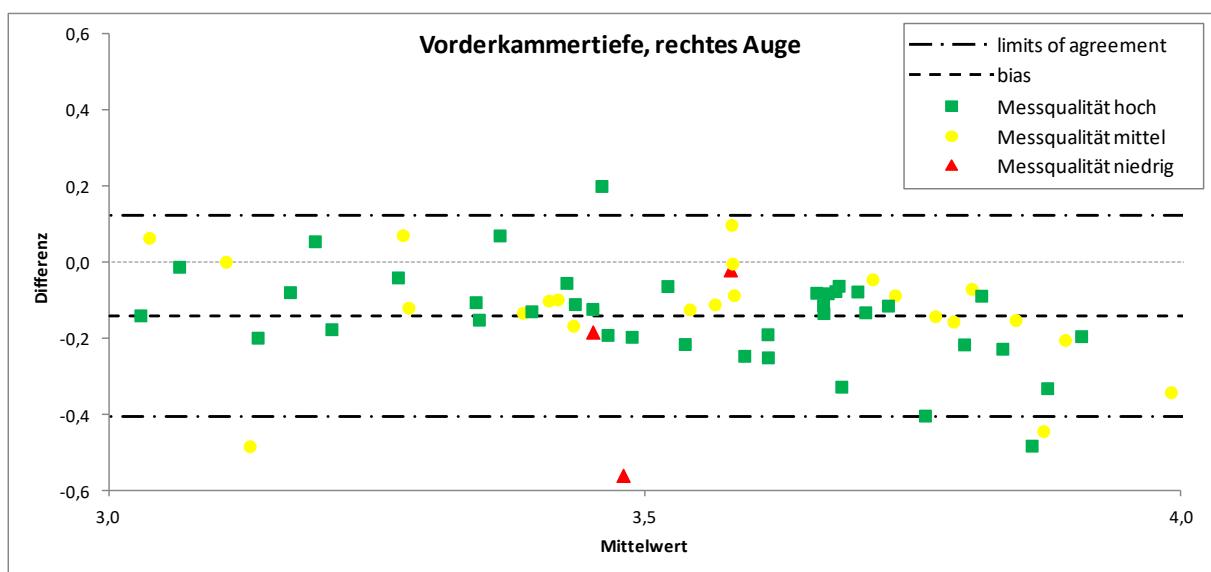
Tabelle 4-5: Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen der Pentacam® HR (II/II)

			Rechtes Auge		Linkes Auge	
			♂	♀	♂	♀
<b>Kammerwinkel</b>	°	MW	37,39	35,65	36,20	37,33
		SD	±6,63	±7,30	±6,74	±9,24
		MD	37,63	35,97	37,23	38,90
		min	24,10	18,70	23,45	20,75
		max	55,53	47,10	45,00	54,70
<b>Vorderkammertiefe</b>	mm	MW	3,68	3,50	3,71	3,51
		SD	±0,31	±0,48	±0,25	±0,31
		MD	3,71	3,57	3,65	3,53
		min	3,01	1,51	3,44	3,07
		max	4,23	4,19	4,24	4,06
<b>Vorderer kornealer Astigmatismus</b>	dpt	MW	-1,99	-1,82	-1,60	-1,85
		SD	±0,93	±0,87	±0,86	±1,13
		MD	-1,91	-1,68	-1,30	-1,42
		min	-4,14	-3,85	-3,43	-4,18
		max	-0,87	-0,80	-0,82	-0,87

#### 4.4 Korrelation zwischen den Diagnosegeräten

In den folgenden Ausführungen werden die mit Hilfe der unterschiedlichen Diagnosegeräte ermittelten Untersuchungsergebnisse miteinander verglichen. Dabei wurden identische Messgrößen mittels Bland-Altman-Plots direkt auf eine Wechselbeziehung zueinander überprüft. Dazu erfolgte zunächst eine Bereinigung der Daten um Ausreißer, die u.a. auf Messfehler, ungenügende Mitarbeit des Patienten) und/oder Vorerkrankungen (bspw. Lichtempfindlichkeit) zurückzuführen waren, vergleiche Kapitel 4.1, 4.2 und 4.3.

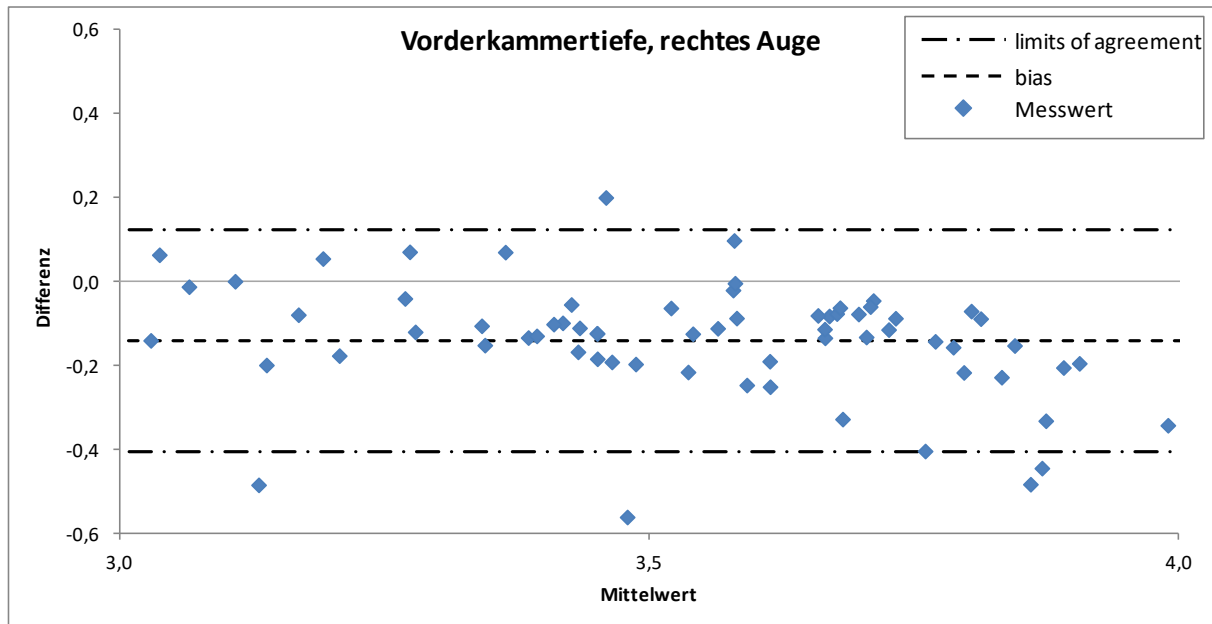
Zunächst wurden die von den Diagnosegeräten ermittelten Messqualitäten in die Betrachtung der Bland-Altman-Plots mit einbezogen, in Abbildung 4-48 wurde diese Auswertung am Beispiel der Vorderkammertiefe des rechten Auges exemplarisch dargestellt.



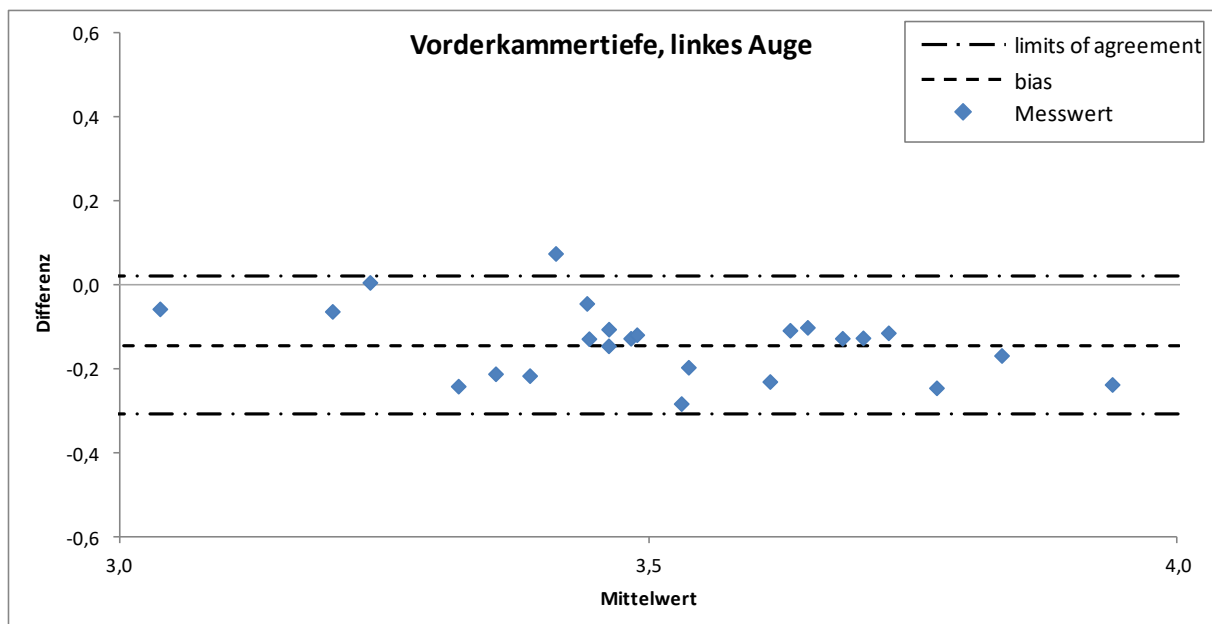
**Abbildung 4-48: Qualität der Messergebnisse am Beispiel der Vorderkammertiefe, rechtes Auge**

Die Auswertung belegt, dass die Qualität der Messungen (Abstufungen hoch, mittel, niedrig) keinen Einfluss auf die Übereinstimmung der Messwerte nimmt, vielmehr sind die Messwerte unabhängig von der Messqualität ähnlich verteilt. Da dieses Ergebnis für alle betrachteten Parameter- bzw. Diagnosegerätekombinationen Gültigkeit besitzt, wird in den folgenden Darstellungen der Bland-Altman-Plots auf eine zusätzliche Differenzierung nach der Messqualität verzichtet.

In Abbildung 4-49 und Abbildung 4-50 sind die Bland-Altman-Plots zur Vorderkammertiefe der beiden Diagnosegeräte IOLMaster™ und Pentacam® HR dargestellt. Der direkte Vergleich der Messwerte dieser Geräte war aufgrund der Messeinstellung der Pentacam® HR „bis epithelial“ möglich.



**Abbildung 4-49: Bland-Altman-Plot der Vorderkammertiefe von IOLMaster™ und Pentacam® HR, rechtes Auge**



**Abbildung 4-50: Bland-Altman-Plot der Vorderkammertiefe von IOLMaster™ und Pentacam® HR, linkes Auge**

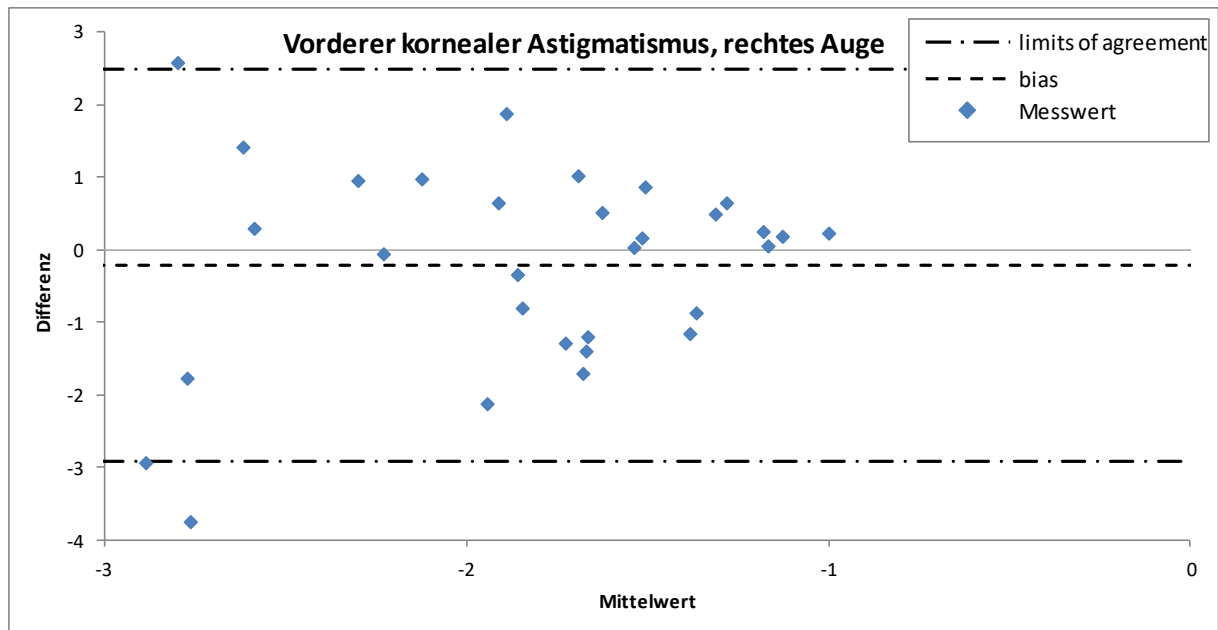
Wie an der Auswertung zu erkennen ist, lieferte die Pentacam® HR minimal größere Messwerte, was an der Verschiebung der mittleren Differenz zu -0,14 beim rechten und beim linken Auge erkennbar ist. Für Vorderkammertiefen > 3,4 mm ließ sich eine noch höhere Übereinstimmungsgüte der beiden Messverfahren erkennen. Die Übereinstimmungsgrenzen lagen für die Untersuchungen des linken Auges enger zusammen. Der im rechten Auge festgestellte Messwert von -0,56 mm, der außerhalb der Übereinstimmungsgrenzen liegt, ließ sich auf eine ungenügende Mitarbeit der vierjährigen Patientin zurückführen.

In Tabelle 4-6 sind die statistischen Messgrößen zu den Untersuchungen der Vorderkammertiefe quantitativ gegenübergestellt, wobei in den folgenden Zusammenfassungen jeweils auf zwei Nachkommastellen gerundet wurde.

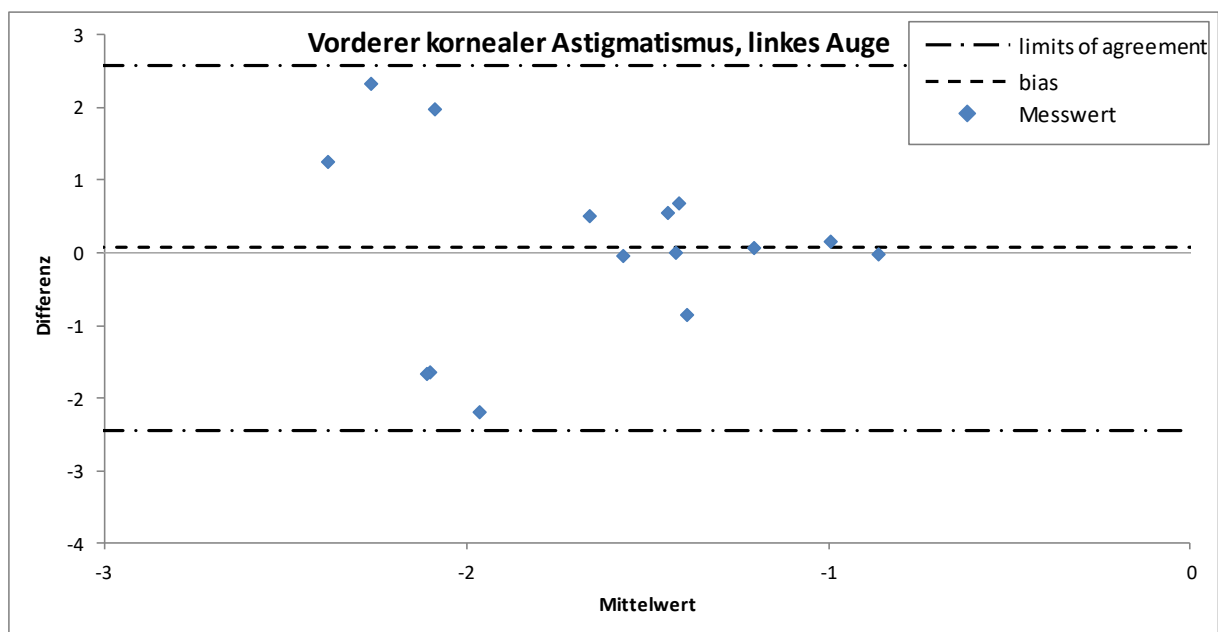
**Tabelle 4-6: Gegenüberstellung der ermittelten statistischen Messgrößen zur Vorderkammertiefe von IOLMaster™ und Pentacam® HR**

		Rechtes Auge	Linkes Auge
<b>Messgröße</b>		Vorderkammertiefe [mm]	
<b>(auswertbarer) Stichprobenumfang</b>		71	27
<b>Differenzen</b>	min	- 0,56	- 0,28
	max	+ 0,20	+ 0,08
<b>Mittlere Differenz <math>\bar{d}</math></b>		- 0,14	- 0,14
<b>Standardabweichung der Differenzen <math>s_d</math></b>		± 0,14	± 0,08
<b>Übereinstimmungsgrenzen</b>	$L_1 = \bar{d} - 1,96 * s_d$	- 0,41	- 0,31
	$L_2 = \bar{d} + 1,96 * s_d$	+ 0,12	+ 0,02

Abbildung 4-51 und Abbildung 4-52 zeigen die Bland-Altman-Plots zum Astigmatismus der Diagnosegeräte IOLMaster™ und Pentacam® HR. Bei beiden Geräten wurde der vordere korneale Astigmatismus bestimmt, somit ist eine Vergleichbarkeit gegeben.



**Abbildung 4-51: Bland-Altman-Plot des vorderen kornealen Astigmatismus von IOLMaster™ und Pentacam® HR, rechtes Auge**



**Abbildung 4-52: Bland-Altman-Plot des vorderen kornealen Astigmatismus von IOLMaster™ und Pentacam® HR, linkes Auge**

Die Auswertung der Bland-Altman-Plots zeigte, dass die Pentacam® HR geringfügig größere Messwerte im rechten Auge ermittelt hat, was an der Verschiebung der mittleren Differenz um  $-0,22$  dpt zu erkennen ist. Eine Verschiebung um ca.  $-0,20$  dpt entspricht einer Differenz zwischen den beiden Diagnosegeräten von ca. 15 %. Dem gegenüber wurden mittels Pentacam® HR im linken Auge marginal kleinere Messwerte ermittelt (mittlere Differenz  $+0,07$  dpt). Die im rechten Auge außerhalb der Übereinstimmungsgrenzen liegenden Messwerte ließen sich bei Patienten mit cerebralen Problematiken wie Astrozytom im Thalamusbereich und unklarer Visusminderung nicht weiter erklären.

In Tabelle 4-7 sind die statistischen Messgrößen zu den Untersuchungen des Astigmatismus quantitativ gegenübergestellt.

**Tabelle 4-7: Gegenüberstellung der ermittelten statistischen Messgrößen zum vorderen kornealen Astigmatismus von IOLMaster™ und Pentacam® HR**

		Rechtes Auge	Linkes Auge
<b>Messgröße</b>		Vorderer kornealer Astigmatismus [dpt]	
<b>(auswertbarer) Stichprobenumfang</b>		31	15
<b>Differenzen</b>	min	- 3,76	- 2,19
	max	+ 2,55	+ 2,34
<b>Mittlere Differenz <math>\bar{d}</math></b>		- 0,22	+ 0,07
<b>Standardabweichung der Differenzen <math>s_d</math></b>		$\pm 1,38$	$\pm 1,28$
<b>Übereinstimmungsgrenzen</b>	$L_1 = \bar{d} - 1,96 * s_d$	- 2,92	- 2,19
	$L_2 = \bar{d} + 1,96 * s_d$	+ 2,49	+ 2,34

## 5 Diskussion

In den folgenden Ausführungen werden die in Kapitel 4 beschriebenen Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert, die aus ophthalmologischen Daten der Diagnosegeräte Autorefraktometer, IOLMaster™ und Pentacam® HR von 87 Patienten im Alter von 3 bis 17 Jahren ermittelt worden sind. Neben einer geschlechtsspezifischen Auswertung (54 % männlich und 46 % weiblich) wurden die Patienten zusätzlich in vier Altersgruppen eingeteilt, wobei die Gruppen nicht von gleicher Größe waren. Das durchschnittliche Alter der Patienten lag bei 8,8 Jahren, wobei die männlichen Patienten im Durchschnitt 8,0 Jahre, die weiblichen 9,7 Jahre alt waren.

### 5.1 Messqualität

Die Auswertung der Messqualität bei allen 3 Diagnosegeräten ließ eine statistisch signifikante Altersabhängigkeit bei der Durchführbarkeit erkennen. Die Auswertung der Messqualität der Pentacam® HR zeigte bis zu einem Alter von 6 Jahren eine vermehrte Anzahl an Messungen mit schlechter Durchführbarkeit oder nicht durchführbaren Messungen. Messungen mit schlechter Qualität ab dem 7. Lebensjahr ließen sich auf Vorerkrankungen, wie Nystagmus, unklare Visusminderung, etc., zurückführen.

Aus den beschriebenen Ergebnissen lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass bei Untersuchungen mit mehreren Diagnosegeräten von Kindern eine Untersuchung mittels Pentacam® HR zu Beginn erfolgen sollte, da der Patient während der Untersuchung eine hohe Compliance, wie still sitzen in einem abgedunkeltem Raum, zwei Sekunden lang nicht blinzeln und den Messpunkt fokussieren sowie den Anweisungen des Untersuchers Folge zu leisten, aufweisen muss. Außerdem sollte zunächst das pathologisch relevante Auge gemessen werden. Eine Altersempfehlung zur Durchführung von Untersuchungen mittels Pentacam® HR kann auf Basis der für diese Dissertation zur Verfügung stehenden Daten ausgesprochen werden, wobei zunehmend verlässliche und wiederholbare Untersuchungen ab einem Alter von sieben Jahren durchgeführt werden können.

Kritisch zu vermerken ist, dass im Rahmen dieser Dissertation die absolute Anzahl an Patienten in den Altersgruppen, Geschlecht und Refraktionsdiagnosen variierte und somit von einer ungleichmäßigen Verteilung ausgegangen werden musste. Zukünftige Untersuchungen sollten auf eine ausgewogene Patientenpopulation Wert legen. Außerdem könnte versucht werden, die Compliance bspw. bei Fixationsproblemen durch Tragen einer Augenklappe des nicht zu untersuchenden Auges zu verbessern, wobei das Abdecken eines Auges bei kleinen Kindern auch problematisch sein bzw. ein Nystagmus dadurch auch verstärkt werden kann.

## 5.2 Sphärisches Äquivalent und Refraktionsdiagnose

Bei der Auswertung des sphärischen Äquivalents mittels Autorefraktometer zeigten die männlichen Patienten gegenüber den weiblichen um mindestens 26 % höhere Dioptrien-Werte. Geschlechtsunabhängig ließ sich jedoch eine geringfügige Abnahme des sphärischen Äquivalents mit steigendem Alter feststellen, die allerdings statistisch nicht signifikant war. Eine Hyperopie (Weitsichtigkeit) konnte tendenziell häufiger bei männlichen Patienten in jüngerem Alter diagnostiziert werden. In der Altersgruppe von drei bis fünf Jahren war die Weitsichtigkeit mit Abstand die häufigste Diagnose aller Patienten (geschlechtsunabhängig größer 75 %). Bei der Emmetropie ließ sich keine Geschlechtsabhängigkeit feststellen. Sie stellte aber die seltenste Diagnose im Rahmen dieser Untersuchungen dar, d.h. die Kinder und Jugendlichen waren in den seltensten Fällen normalsichtig. Diese Tatsache ist u.a. der Auswahl der Patienten aus einer Augenklinik-Ambulanz zuzuschreiben, da es sich hierbei nicht um ein Normalkollektiv handelt, und nur 31 % der Patienten älter als 10 Jahre waren. Mit zunehmendem Alter ließ sich geschlechtsunabhängig eine tendenzielle Zunahme der Myopie (Kurzsichtigkeit) feststellen. Nach [Kaufmann 2003] zeigen im Rahmen der Refraktionsentwicklung ca. 75 % der Kinder im ersten Lebensjahr eine Hyperopie, die sich zwischen dem dritten und 14. Lebensjahr im Zuge des Wachstums der Augachsenlänge der Emmetropie annähert. Nach [Zadnik 1999] können ab einem Alter von 8 Jahren Vorhersagen zur weiteren Refraktionsentwicklung getroffen werden, dabei sei das Myopie-Risiko umso größer, je näher das sphärische Äquivalent bei 0 dpt liegt. Zu den Risikofaktoren für eine spätere Myopisierung zählen laut [Myrowitz 2012], [Ostadimoghaddam 2014] und [Schaeffel 2002] genetische Faktoren (höheres Risiko, wenn beide Elternteile von einer Kurzsichtigkeit betroffen sind), Umwelteinflüsse wie Naharbeit, Seherfahrung, Ausbildungsgrad, Bildungsstand, Freizeitgestaltung, etc.. Die bisherigen Studien konnten allerdings nicht klären, ob verstärkte oder zu geringe Akkommodation, z.B. beim Lesen eines Buches, das Augachsenlängenwachstum fördert. Auch konnte keine Studie belegen, ob das Risiko für eine Myopisierung durch Bildschirmarbeit/Handy höher im Vergleich zum Lesen eines Buches ist. Mechanismen, die den Wachstumsreiz im Auge induzieren, konnten bisher nicht eindeutig identifiziert werden. Vermutlich handelt es sich um ein Zusammenwirken von genetischen Faktoren und Umwelteinflüssen. Mit zunehmendem Alter ließ sich geschlechtsunabhängig eine tendenzielle Zunahme der Myopie (Kurzsichtigkeit) feststellen.

Hauptursachen für ein reduziertes Sehvermögen waren nach [Pan 2015] in seiner Studie mit 5667 Kindern zwischen drei und sechs Jahren mit 66,8 % unkorrigierte Refraktionsdiagnosen, wie Astigmatismus, Hyperopie und Myopie, und mit 32,7 % eine Amblyopie. Ebenso begünstigten nach [Zhu 2015] ein progredienter Astigmatismus, eine Hyperopie, eine Myopie

und/oder ein geringes sphärisches Äquivalent Formen des Strabismus wie Esotropie und Exotropie.

### 5.3 Astigmatismus

Bei den männlichen Patienten konnte mittels Autorefraktometer ein leicht höherer Gesamtastigmatismus als bei den weiblichen festgestellt werden, wobei diese Unterschiede statistisch nicht signifikant waren. In dieser Arbeit wurde ein Astigmatismus für Hornhautverkrümmungen kleiner oder gleich  $-0,75$  dpt definiert. Eine Abhängigkeit der Form des Gesamtastigmatismus vom Alter konnte geschlechtsunabhängig nicht konstatiert werden. Bei mindestens 52 % der untersuchten Augen wurde ein Astigmatismus rectus, bei ca. 12 % ein Astigmatismus inversus und in den übrigen Fällen (ca. 36 %) ein Astigmatismus obliquus diagnostiziert. Bis zu einem Alter von zehn Jahren war ein Astigmatismus rectus unabhängig vom Geschlecht die dominierende Diagnose.

Die geschlechter- und altersspezifische Auswertung des vorderen kornealen Astigmatismus (in dpt) mittels IOLMaster™ ließ ebenfalls keinen nennenswerten Unterschied feststellen, ausschließlich am rechten Auge konnten für die weiblichen Patienten ca. 12 % kleinere Werte ohne statistische Signifikanz festgestellt werden. Der Astigmatismus rectus beim IOLMaster™ stellte mit Häufigkeiten zwischen 56,1 % und 63,1 % aller Untersuchungen die Hauptdiagnose dar. Ein Astigmatismus obliquus ließ sich bei ca. 31,6 % aller Patienten feststellen. Mit einem Anteil zwischen 5,3 % und 12,2 % stellte ein Astigmatismus inversus ebenfalls die seltenste Form des Astigmatismus dar.

Die Auswertung des vorderen kornealen Astigmatismus (in dpt) mittels Pentacam® HR zeigte keine statistisch signifikante Alters- oder Geschlechtsabhängigkeit weder im rechten noch linken Auge. Im rechten Auge ließ sich ein Trend zu einer Zunahme des Astigmatismus rectus mit steigendem Alter bis 10 Jahre feststellen. Dabei war diese Form des Astigmatismus bei den weiblichen Patienten weit häufiger vertreten als bei den männlichen Patienten. Bei den männlichen Patienten ließ sich dem gegenüber bis zu einem Alter von 15 Jahren ein deutlich größerer Anteil an Diagnosen mit einem Astigmatismus obliquus im Gegensatz zu den weiblichen Patienten dokumentieren. Der Astigmatismus inversus war bei dieser Patientenpopulation ebenfalls vernachlässigbar klein. Die Häufigkeiten der Astigmatismusformen sind bei den Messungen durch die verschiedenen Geräte vergleichbar.

Im Vergleich der Diagnosegeräte IOLMaster™ und Pentacam® HR mittels Bland-Altman-Plots hat die Pentacam® HR um max. 15 % abweichende Messwerte zum vorderen kornealen Astigmatismus gegenüber dem IOLMaster™ ermittelt.

Ähnlich wie in der vorliegenden Dissertation stellte in der Studie von [Huang 2014] ein Astigmatismus rectus mit 83,8 % die dominierende Diagnose dar, eine Geschlechtsabhängigkeit konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. In seiner Studie lag bei 17 % der 4040 Kinder

im Alter von drei bis fünf Jahren ein Astigmatismus vor, der im Gegensatz zu dieser Dissertation für zylindrische Werte größer gleich + 1,50 dpt definiert wurde. Nach [Huang 2014] hatten ältere Kinder ab dem fünften Lebensjahr im Vergleich zu Dreijährigen ein tendenziell größeres Risiko für die Entwicklung eines Astigmatismus. Außerdem war die Refraktionsdiagnose signifikant mit einem Astigmatismus assoziiert, d.h. bei Kindern mit Myopie war bei 45 % der Patienten ein Astigmatismus gegeben, bei Hyperopie lag bei ca. 21 % der Patienten ein Astigmatismus vor. In der Studie von [Huang 2014] hatten Kinder mit Myopie ein 4,4-fach erhöhtes Risiko für die Ausbildung eines Astigmatismus. Bei Hyperopie war das Risiko 1,5-fach erhöht.

Nach [O'Donoghue 2015] veränderte sich in der II-Phasen-Kohortenstudie über drei Jahre die Prävalenz für Astigmatismus (definiert als zylindrische Werte größer gleich 1,00 dpt) zwischen dem 12. und 13. Lebensjahr nicht wesentlich. Jedoch lag in der Kohortengruppe der Sechs- bis Siebenjährigen (N = 302) die Inzidenz für einen Astigmatismus nach drei Jahren bei 11,6 % und ca. 10,0 % bei den 12- bis 13-Jährigen (N = 436). Nach [Gwiazda 1984] und [Abrahamsson 1988] hingegen war die Prävalenz für die Entwicklung eines Astigmatismus von der Geburt über die Kindheit abnehmend. Nach [Tong 2004] veränderte sich die Prävalenz für einen Astigmatismus in der Kindheit nicht. Konträr zu [Huang 2014] konnte [O'Donoghue 2015] nur eine geringe Assoziation zwischen der Entwicklung einer Myopie/Hyperopie und einem Astigmatismus feststellen.

#### **5.4 Augachsenlänge**

Eine statistisch signifikante Geschlechtsabhängigkeit konnte bei der Augachsenlänge mittels IOLMaster™ nicht festgestellt werden, wobei sich geschlechtsunabhängig eine statistisch signifikante Tendenz zu größeren Augachsenlängen mit zunehmendem Alter und höhergradiger Myopie ermitteln ließ, was mit der Abnahme des sphärischen Äquivalents im Alter korreliert. Das durchschnittliche Längenwachstum des Auges von der Altersgruppe der Drei- bis Fünfjährigen (AL ca. 21,55 mm) zu den Sechs- bis Zehnjährigen (AL ca. 22,75 mm) lag bei ca. 1,20 mm, von den Sechs- bis Zehnjährigen zu den Elf- bis Fünfzehnjährigen (AL ca. 23,00 mm) bei ca. 0,25 mm und erreichte in dieser Altersgruppe adulte Werte. In den Untersuchungen von [Gordon 1985] betrug bei Neugeborenen die mittlere Augachsenlänge 16,8 mm und bei Erwachsenen 23,6 mm, wobei in der Arbeitsgruppe die Augen in den beiden ersten Lebensjahren um ca. 1 mm / Jahr, im Alter von zwei bis fünf Jahren um 0,4 mm / Jahr und vom fünften bis 15. Lebensjahr um 0,1 mm / Jahr gewachsen sind. Nach [Gilbert 1927] variierte die Augachsenlänge beim Neugeborenen zwischen 17,0 mm und 17,3 mm und zeigte einen Anstieg auf ca. 21,0 mm bis zum 5. Lebensjahr, wobei Erwachsenen-Werte (im Mittel zwischen 23,5 und 25,0 mm) zu Beginn der Pubertät erreicht wurden. Ähnliche Ergebnisse erzielte [Gul 2014] in seiner Arbeit mit 182 türkischen Kindern im Alter

zwischen ein und 12 Jahren. Hier betrug die durchschnittliche Augachsenlänge 22,02 mm, wobei bei den männlichen Probanden die Augachsenlänge um ca. 0,74 mm länger als bei den weiblichen war. Erwachsene Augachsenlängen wurden zwischen dem neunten und zehnten Lebensjahr mit einer durchschnittlichen Augachsenlänge von 22,66 mm erreicht. Entgegen unseren Ergebnissen zeigte sich in der Studie von [Tsai 2012], die 163 Kinder zwischen sechs und 13 Jahren untersuchte, dass die Jungen eine tendenziell 0,42 mm längere Augachsenlänge als die Mädchen hatten und dass myope Kinder eine längere Augachsenlänge als emmetrope aufwiesen. In der Studie von [Lam 2013], die 50 junge Probanden im Alter von 19 bis 24 Jahren untersuchte, konnte bei den Männern eine im Durchschnitt um 0,85 mm größere Augachsenlänge im Vergleich zu den Frauen festgestellt werden. Des Weiteren konnte diese Arbeitsgruppe aufzeigen, dass Probanden mit höhergradiger Myopie auch längere Augachsenlängen hatten. Eine weitere große Studie von [Zadnik 2003] konnte bei 2583 Schulkindern zwischen sechs und 14 Jahren feststellen, dass bei den weiblichen Probanden im Mittel die Augachsenlänge um 0,32 mm kleiner als bei den männlichen war. In weiteren großen Studien mit Schulkindern wurden ebenfalls nach [Twelker 2009] und [Ojaimi 2005] längere Augachsenlängen bei den männlichen Patienten gemessen.

## 5.5 Hornhautdicke

Zur Bestimmung der Hornhautdicke wurden im klinischen Alltag als Goldstandard u.a. invasive Diagnosegeräte, wie z.B. Ultraschallbiometrie, und kontaktlose Diagnosegeräte, wie bspw. Specular Mikroskop, Orbscan und AC-Master, eingesetzt. Die Pentacam<sup>®</sup> HR ermöglicht als vergleichsweise neues Diagnosegerät die kontaktlose Bestimmung der gesamten Hornhautoberfläche sowie der Vorderkammertiefe, Vorderkammervolumen, Linsendichte, etc.. Multiple Arbeiten beschäftigten sich u.a. mit der Messgenauigkeit und Wiederholbarkeit von Pentacam<sup>®</sup> und den o.a. Standardgeräten. In der Arbeit von [Al-Mezaine 2007] wurde die Hornhautdicke von 984 gesunden erwachsenen Augen mittels Pentacam<sup>®</sup> und Ultraschallbiometrie bestimmt. Hierbei betrug die mittlere Hornhautdicke bei der Pentacam<sup>®</sup> 552,4  $\mu\text{m}$  und bei der Ultraschallbiometrie 544,0  $\mu\text{m}$ , so dass die Pentacam<sup>®</sup> eine 8,4  $\mu\text{m}$  höhere Hornhautdicke angab. Eine Erklärung hierfür könnte nach [Al-Mezaine 2007] darin liegen, dass durch das Aufsetzen der Ultraschallsonde auf das Auge es zu einem Abflachen des Tränenfilms und einer Kompression des Hornhautepithels kam, was in einer geringeren Hornhautdicke resultierte. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch [Fujioka 2007], [Hashemi 2007], [Barkana 2005], [Uçakhan 2006]. Dem gegenüber konnten in weiteren Studien [Amano 2006], [Lackner 2005 I], [O'Donnell 2004] nachgewiesen werden, dass mittels Pentacam<sup>®</sup> geringere Hornhautdicken im Vergleich zu den Standardgeräten ermittelt worden sind. Unabhängig von den o.g. absoluten Messwerten waren die hohe Reliabilität und Wiederholbarkeit der Pentacam<sup>®</sup> in den Studien von [Buehl 2006] und [Lam 2007] zu nennen.

In der Literatur sind überwiegend Untersuchungen von erwachsenen Augen publiziert, von Kindern und Jugendlichen sind kaum Veröffentlichungen vorhanden. Laut [Belin 2007] betrug die mittlere Hornhautdicke bei 1400 gesunden, erwachsenen Augen  $539,3 \mu\text{m} \pm 36,8 \mu\text{m}$ . In der Metaanalyse von [Doughty 2000] wurden 600 erwachsene Hornhautdicken von 1968 bis Mitte der 90er Jahre ausgewertet, die im Mittel zwischen  $534 \mu\text{m}$  und  $544 \mu\text{m}$  lagen. In der Arbeit von [Ambrosio 2006] wurde mittels Pentacam® bei 364 gesunden adulten Augen eine durchschnittliche Hornhautdicke von  $537,0 \mu\text{m} \pm 36,7 \mu\text{m}$  ermittelt.

In dieser Dissertation erfolgte die Bestimmung der Hornhautdicke im Pupillenzentrum und im Bereich der dünnsten Stelle ausschließlich mittels Pentacam® HR bei einem Altersdurchschnitt von 8,8 Jahren. Der durchschnittliche Wert im Pupillenzentrum betrug im rechten Auge  $567,4 \mu\text{m} \pm 35,5 \mu\text{m}$  und  $561,8 \mu\text{m} \pm 36,7 \mu\text{m}$  im Bereich der dünnsten Stelle. Im linken Auge wurde ein Mittelwert im Pupillenzentrum von  $578,2 \mu\text{m} \pm 31,7 \mu\text{m}$  und  $573,9 \mu\text{m} \pm 31,7 \mu\text{m}$  im Bereich der dünnsten Stelle ermittelt. Die dünnste Stelle lag beim rechten Auge mit 90,3 % (N = 56) und beim linken Auge mit 84,0 % (N = 21) am häufigsten im inferior temporalen Quadranten. Im superior temporalen Quadranten konnte beim rechten Auge bei 9,7 % (N = 6) und beim linken Auge bei 12,0 % (N = 3) der Patienten die dünnste Stelle der Hornhaut ermittelt werden. Ausschließlich bei einem Patienten lag die dünnste Stelle der Hornhaut im inferior nasalen Bereich. Für den superior nasalen Quadranten lagen keine Messergebnisse vor. Vergleichbare Ergebnisse konnte [Zheng 2008] bei 926 chinesischen Kindern im Durchschnittsalter von 11,7 Jahren mittels Pentacam® ermitteln, wobei diese bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 8 bis 16 Jahren zu 77,92 % im inferior temporalen, zu 15,9 % im superior temporalen, zu 4,77 % im inferior nasalen sowie 1,41 % im superior nasalen Quadranten lag. Auch in den Studien von [Rüfer 2005], [Ueno 2015] und [Lam 2007] lag die dünnste Stelle der Hornhautdicke bei Erwachsenen inferior temporal.

In der Publikation von [Zheng 2008] konnte eine Hornhautdicke im Pupillenzentrum von  $550,7 \mu\text{m} \pm 32,2 \mu\text{m}$  und im Bereich der dünnsten Hornhautstellen von  $548,1 \mu\text{m} \pm 32,8 \mu\text{m}$  erhoben werden. Die leicht geringere Hornhautdicke bei [Zheng 2008] im Vergleich zu den Daten dieser Dissertation lässt sich am ehesten durch den Altersunterschied sowie die andere ethnische Abstammung erklären. Bestätigt wird diese These in den Studien von [Hussein 2004], [Hosseini 2013] und [Swann 1993], die bei Kaukasiern höhere Hornhautdicken als bei Japanern und Chinesen feststellten, wobei bei Afroamerikanern die geringsten Hornhautdicken erhoben worden sind. In der Arbeit von [Gul 2014] wurde bei 182 kaukasischen Kindern mit einem Durchschnittsalter von 6,5 Jahren mittels Ultraschallbiometrie eine durchschnittliche Hornhautdicke von  $556,0 \mu\text{m} \pm 34,0 \mu\text{m}$  ermittelt. In weiteren Literaturstellen wurden für Kinder und Jugendliche zwischen ein und 16 Jahren Hornhautdicken zwischen  $529,0 \mu\text{m}$  und  $598,0 \mu\text{m}$  dokumentiert [Cho 1999], [Herse 1993], [Tong 2004 II], [Doughty 2002] und [Zheng 2008]. Der Vergleich der Mittelwerte unter Berücksichtigung der

Standardabweichung zeigte ohne Berücksichtigung von Alter und Geschlecht, dass Kinder und Jugendliche höhere Hornhautdicken als Erwachsene aufwiesen. Dabei konnten für asiatische Kinder und Jugendliche um ca. 20  $\mu\text{m}$  geringere Hornhautdicken als bei kaukasischen festgestellt werden, wobei die Patientenpopulation der asiatischen Kinder und Jugendlichen im Durchschnitt ca. 3 Jahre älter waren.

Bei den Drei- bis Zehnjährigen wiesen die weiblichen Patienten tendenziell geringere Hornhautdicken als die männlichen Patienten auf. In der Altersgruppe der Drei- bis Fünfjährigen betrug die Differenz im rechten Auge im Mittel ca. 18,0  $\mu\text{m}$  und im linken Auge ca. 45,0  $\mu\text{m}$ , die jedoch statistisch nicht signifikant waren. Zu berücksichtigen ist, dass die Gesamtzahl der Messergebnisse des rechten Auges ungefähr doppelt so groß war im Vergleich zum linken Auge. Bei den Sechs- bis Zehnjährigen war im rechten Auge keine Geschlechtsabhängigkeit zu erkennen, im linken Auge wurden bei den männlichen Patienten im Durchschnitt 8,0  $\mu\text{m}$  größere Hornhautdicken ohne statistische Signifikanz diagnostiziert.

In der umfangreichen chinesischen Studie von [Zheng 2008] zeigte sich ebenfalls bei den männlichen Kindern eine im Durchschnitt um 8,16  $\mu\text{m}$  höhere Hornhautdicke im Vergleich zu den Mädchen. Diese geschlechterspezifischen Unterschiede konnten auch in den Arbeiten von [Tong 2004 II] und [Hahn 2003] nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu konnten [Kiely 1983], [Hosseini 2013] und [Brandt 2001] bei den weiblichen Patienten tendenziell höhere Hornhautdicken feststellen, wobei diese Abweichungen statistisch nicht signifikant waren. Eine mögliche Erklärung für die Geschlechtsunterschiede sahen die Autoren [Zheng 2008] und [Kiely 1983] durch den Einfluss von Sexualhormonen, die zyklusabhängig zu einer temporären Verdickung der Hornhaut führen könnten. Nach [Doughty 2000] würde auch das Tragen von Kontaktlinsen eine Rolle spielen. In ihrer Metaanalyse trugen mehr Frauen als Männer Kontaktlinsen, was zu höheren Hornhautdicken-Werten führen könnte. In weiteren Studien konnte keine Abhängigkeit der Hornhautdicke vom Geschlecht festgestellt werden [Alsbirk 1978], [Herse 1993], [Foster 1998], [Cho 1999], [Doughty 2002], [Eysteinson 2002], [Tong 2004 II], [Wang 2014].

In dieser Dissertation ließ sich ab dem 11. Lebensjahr eine leichte Abnahme der Hornhautdicke feststellen, die annähernd adulten Werten entsprach. Ähnliche Ergebnisse konnten in der Arbeit von [Hussein 2004] festgestellt werden, in der bei 198 Kinderaugen im Alter von 6 bis 14 Jahren eine Zunahme der Hornhautdicke bis zum neunten Lebensjahr beobachtet werden konnte. Eine mögliche Erklärung hierfür sahen die Autoren in gleichzeitigem Zuwachs der Descemet-Membran. Eine Abnahme der Hornhautdicke wurde bei [Hussein 2004] zwischen dem 10. und 14. Lebensjahr beobachtet, wobei erwachsene Werte zwischen dem fünften und neunten Lebensjahr erreicht wurden. [Cho 1999] fand in seiner Studie an 150 Chinesen im Alter von zehn bis 60 Jahren eine maximale Abnahme der Hornhautdicke zwischen dem zehnten und 25. Lebensjahr heraus. Nach den Ergebnissen von [Ehlers 1976]

nahm die Hornhautdicke zwischen dem zweiten und vierten Lebensjahr ab und entsprach ab dem dritten Lebensjahr adulten Werten. [Foster 1998], der sich mit der Korrelation von Alter und Hornhautdicke beschäftigte, konnte in seiner Studie mit 1243 Patienten im Alter von zehn bis 87 Jahren feststellen, dass mit zunehmendem Alter die Hornhautdicke bei den weiblichen Patienten um 6  $\mu\text{m}/\text{Dekade}$  und bei den männlichen um 5  $\mu\text{m}/\text{Dekade}$  abnahm. Ähnliche Ergebnisse erhoben auch [Wang 2014] und [Hahn 2003], wohingegen [Dougherty 2002] keine Hornhautdickenvariation zwischen Schulkindern und Erwachsenen feststellen konnte. Andere Arbeiten konnten ebenfalls keine statistisch signifikante Korrelation zwischen Alter und Hornhautdicke beobachten [Eysteinnsson 2002], [Lowe 1969], [Wolfs 1997], [Kiely 1982], [Herse 1993] und [Siu 1993].

In dieser Dissertation konnte tendenziell eine Abhängigkeit der Hornhautdicke im Pupillenzentrum von der Refraktionsdiagnose festgestellt werden. Bei den männlichen myopen Patienten konnte eine leicht höhere Hornhautdicke um ca. 10,2  $\mu\text{m}$  im Vergleich zu den emmetropen männlichen Patienten ermittelt werden. Die männlichen Patienten mit Hyperopie wiesen in beiden Augen geringere Hornhautdicken als die mit Myopie auf. In der Gruppe der weiblichen Patienten mit Myopie konnten ebenfalls größere Hornhautdicken im Vergleich zu den Emmetropen und Hyperopen diagnostiziert werden. Je stärker eine Myopie ausgeprägt war, umso höhere Hornhautdicken wurden gemessen. Weiterhin konnte bei beiden Geschlechtern festgestellt werden, dass mit zunehmender Augachsenlänge auch die Hornhautdicke zunahm. Die Untersuchung höhergradiger Kurzsichtiger war jedoch nicht Bestandteil dieser Studie. Passend dazu zeigte sich bei zunehmendem sphärischen Äquivalent mit Dioptrienzahlen im positiven Bereich eine Abnahme der Hornhautdicke.

Vergleichend mit anderen Literaturstellen wurden zum Teil konträre Ergebnisse erhoben. Nach [Tanaka 1996] wurden 46 erwachsene Augen mit einem sphärischen Äquivalent von -9 bis -25,5 dpt mittels Ultraschallbiometrie untersucht, bei denen geringere Hornhautdicken bei Patienten mit starker Myopie (über -9 dpt) gegenüber Emmetropen gemessen worden sind. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch [Touzeau 2003], [Srivannaboon 2002], [Chang 2001] und [Alsbirk 1978]. Wohingegen in der Arbeit von [Kunert 2003] bei 615 Patienten im durchschnittlichen Alter von 25 Jahren bei hochgradiger Kurzsichtigkeit höhere Hornhautdicken erhoben wurden. Ein Großteil der Studien, die mit Orbscan oder Ultraschallbiometrie arbeiteten, konnte keine Korrelation zwischen Hornhautdicke und Refraktionsdiagnose feststellen [Cho 1999], [Rüfer 2005], [Uçakhan 2006], [Liu 2000], [Price 1999].

In dieser Dissertation wurde ein Teil der Kinder vor den Untersuchungen mit Mydriatika Augentropfen (Tropicamid 1 %) untersucht. Tendenziell zeigten die Patienten mit Mydriatika-Behandlung dünnere Hornhautdicken als die ungetropften Patienten, die Linsendichte war in beiden Augen im ungetropften Zustand geringer als im getropften Zustand, die Vorderkam-

mertiefe nahm bei getropften Augen ab, wobei diese Zusammenhänge statistisch nicht signifikant waren.

In der Arbeit von [Tsai 2012], der die Auswirkung von Tropicamid 1 % auf die Linsendichte, Vorderkammertiefe und –volumen bei 163 Kindern im Alter von sechs bis 13 Jahren untersuchte, wurde festgestellt, dass unter Mydriasis die Linsendichte statistisch signifikant abnahm und Vorderkammertiefen und –volumen anstiegen. Auch [Palamar 2011] konnte bei 50 Kindern im Alter von sechs bis 16 Jahren mittels Pentacam® diese Ergebnisse bestätigen. Des Weiteren wurde vergleichbar zu dieser Dissertation unter Mydriasis eine Abnahme der Hornhautdicke beobachtet. Nach [Yuksel 2014] konnte unter dem Einfluss von Cyclopentolat Hydrochlorid 1 % bei 34 männlichen Patienten mit Amblyopie und 36 gesunden männlichen Patienten im Alter von 1 bis 13 Jahren keine statistisch signifikanten Veränderungen der Hornhautdicke, Vorderkammertiefe und –volumen festgestellt werden. Ob ein Einfluss von Mydriatika auf Hornhautdicke, Vorderkammertiefe und –volumen gegeben ist, sollte in zukünftigen Arbeiten untersucht werden. Kritisch zu bemerken war, dass im Rahmen dieser Dissertation die Linsendichte, Vorderkammertiefe und –volumen im getropften und ungetropften Zustand nicht zwischen gleichen Kinderaugen, sondern zwischen Augen unterschiedlicher Kinder verglichen worden sind.

## 5.6 Kammerwerte

Im Rahmen dieser Dissertation betragen die durchschnittlichen Vorderkammertiefen, die mittels IOLMaster™ erhoben worden sind, für das rechte Auge  $3,48 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$  und für das linke  $3,47 \text{ mm} \pm 0,30 \text{ mm}$ . Die Pentacam® HR (Messeinstellung „bis epithelial“) erfasste im Durchschnitt eine Vorderkammertiefe von  $3,59 \text{ mm} \pm 0,41 \text{ mm}$  für das rechte Auge und  $3,62 \text{ mm} \pm 0,29 \text{ mm}$  für das linke Auge, wobei mit steigendem Alter mit beiden Diagnosegeräten eine statistisch signifikante Zunahme der Vorderkammertiefe dokumentiert werden konnte. Vergleichbar zu den Ergebnissen des IOLMaster™ konnte mittels Pentacam® HR kein geschlechtsspezifischer Einfluss festgestellt werden. Die Vorderkammertiefe mittels Pentacam® HR der weiblichen Patienten war im Mittel um 4,8 % (rechtes Auge) bzw. 5,4 % (linkes Auge) kleiner als die der männlichen Patienten, ohne dass eine statistische Signifikanz gegeben war.

Der Vergleich der Diagnosegeräte mittels Bland-Altman-Plot ergab, dass die Pentacam® HR bei der Ermittlung der Vorderkammertiefe leicht höhere Messwerte als der IOLMaster™ ermittelte, die ca. 0,14 mm (entspricht ca. 3 %) höher ausfielen. Für Vorderkammertiefen größer 3,4 mm ließ sich eine noch höhere Übereinstimmungsgüte der beiden Messverfahren konstatieren.

Ähnliche Ergebnisse konnten in Veröffentlichungen festgestellt werden, die sich mit der Validität und Messgenauigkeit zwischen Pentacam® HR und Orbscan (Messung mittels Bildaus-

wertung ähnlich zum IOLMaster™) auseinandersetzen. In der Studie von [Buehl 2006] zeigte die Pentacam® HR bei 88 untersuchten Augen um 0,23 mm höhere Vorderkammertiefen im Vergleich zum Orbscan, wohingegen in der Arbeit von [Lackner 2005 II] das Orbscan-Gerät bei 60 Augen ca. 0,046 mm größere Vorderkammertiefen ermittelte. In einer Studie von [Ang 2013], die mittels IOLMaster™ bei 1069 Probanden im Alter von 40 bis 80 Jahren die Vorderkammertiefe bestimmte, zeigten sich beim IOLMaster™ flachere Vorderkammertiefen im Vergleich zu den Messergebnissen von AS-OCT (anterior segments optical coherence tomography).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Dissertation und den o.a. Literaturstellen wurden in der Arbeit von [Nemeth 2006] mittels Pentacam® tendenziell flachere Vorderkammertiefen im Vergleich zur Ultraschallpachymetrie erhoben. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch in der Studie von [Dinc 2010], in der bei 40 Probanden (80 Augen) im Alter zwischen 19 und 40 Jahren die Vorderkammertiefe mittels Visante™ optischer Kohärenztomographie, optischer Spaltlampen-Kohärenztomographie, IOLMaster™, Pentacam® und Orbscan IIz bestimmt worden war. Hier zeigte sich, dass der IOLMaster™ im Vergleich zur Pentacam® im Durchschnitt 0,40 mm größere Vorderkammertiefen erhob. Diese Differenz lässt sich dadurch erklären, dass in der Arbeit von [Dinc 2010] die Vorderkammertiefe nur bis zum Hornhautendothel gemessen wurde, woraus ca. 550 µm kleinere Messwerte ggü. dem IOLMaster™ resultieren. Generell gab der IOLMaster™ statisch signifikant höhere Vorderkammertiefen als die anderen Messgeräte aus [Dinc 2010].

Die im Rahmen dieser Dissertation festgestellte Zunahme der Vorderkammertiefe mit steigendem Alter ließ sich auch in anderen Studien feststellen. Nach [Palamar 2011] wurden mittels Pentacam® bei 81 Kinderaugen im Alter zwischen sechs und 16 Jahren im linken Auge eine Vorderkammertiefe von  $3,02 \text{ mm} \pm 0,28 \text{ mm}$  und im rechten Auge von  $3,00 \text{ mm} \pm 0,30 \text{ mm}$  erhoben. Bei [Gul 2014] betrug die Vorderkammertiefe bei 182 türkischen Kindern im Alter von 1 bis 12 Jahren  $3,22 \text{ mm} \pm 0,36 \text{ mm}$  und nahm mit zunehmendem Alter kontinuierlich zu, wobei die männlichen Probanden größere Vorderkammertiefen aufwiesen. Laut [Tsai 2012] konnte im Mittel bei 163 chinesischen Kindern im Alter von sechs bis 13 Jahren eine Vorderkammertiefe von  $3,10 \text{ mm} \pm 0,39 \text{ mm}$  festgestellt werden. Auch hier zeigten die männlichen gegenüber den weiblichen Probanden eine größere Vorderkammertiefe, deren Abweichung jedoch nicht statistisch signifikant war. In der Arbeit von [Hosseini 2013] wurden ähnlich zu dieser Dissertation mittels Pentacam® flachere Vorderkammertiefen bei den weiblichen Studienteilnehmern (Alter von 17 bis 39 Jahre) erhoben. In weiteren Arbeiten, die sich mit der Vorderkammertiefe bei Erwachsenen beschäftigten, konnten keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede ermittelt werden. Im Durchschnitt lag die Vorderkammertiefe bei 112 adulten Probanden nach [Emre 2007] bei  $3,10 \text{ mm} \pm 0,30 \text{ mm}$  und nach [Lam 2013] bei 50 jungen (Altersdurchschnitt 21 Jahre) bei

3,60 mm  $\pm$  0,04 mm und bei 50 mittelalten Patienten (Altersdurchschnitt 46 Jahre) bei 3,24 mm  $\pm$  0,34 mm.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Vorderkammertiefe mit der Augachsenlänge verglichen und analysiert. Hierbei zeigte sich, dass mit steigender Augachsenlänge die Werte der Vorderkammertiefe größer wurden. Ebenfalls konnte [Gul 2014] in seiner Studie eine positive Korrelation zwischen Augachsenlänge und Vorderkammertiefe feststellen. In dieser Dissertation zeigten die männlichen Kinder bei längeren Augenachsen eine größere Vorderkammertiefe. Dieses Ergebnis konnte auch in den Arbeiten von [Ojaimi 2005], [Zadnik 2003] und [Twelker 2009] bestätigt werden.

Der Vergleich von Refraktionsdiagnose und Vorderkammertiefe zeigte, dass bei den männlichen Patienten mit einer Myopie eine größere Vorderkammertiefe als bei einer Emmetropie und Hyperopie vorlag. Diese Abhängigkeit konnte bei den weiblichen Patienten nicht festgestellt werden. Nach [Lam 2013] zeigten junge Probanden mit einer höhergradigen Myopie längere Augachsen und größere Vorderkammertiefen. [Uçakhan 2008] und [Wong 2001] fanden in ihren Arbeiten heraus, dass die Vorderkammertiefe bei myopen Probanden größer als bei emmetropen und bei hyperopen war. Andere Studien konnten keine Korrelation zwischen Refraktionsdiagnose und Vorderkammertiefe feststellen [Xie 2009], [Klein 2009], [Alfonso 2010].

Die Auswertung des Kammerwinkels mittels Pentacam® HR ergab im Durchschnitt Werte von  $36,56^\circ \pm 6,96^\circ$  für das rechte Auge und von  $36,71^\circ \pm 7,83^\circ$  für das linke. Eine Geschlechtsabhängigkeit konnte beim Kammerwinkel nicht konstatiert werden. Die Untersuchungen des rechten Auges zeigten keine Abhängigkeit des Kammerwinkels vom Alter, dem gegenüber ließ sich bei dieser Patientenpopulation im linken Auge geschlechtsunabhängig eine Zunahme des Kammerwinkels mit steigendem Alter feststellen, die allerdings statistisch nicht signifikant war.

Für das Kammervolumen wurden in dieser Dissertation Mittelwerte von  $185,13 \text{ mm}^3 \pm 29,23 \text{ mm}^3$  im rechten Auge und  $175,53 \text{ mm}^3 \pm 28,31 \text{ mm}^3$  im linken Auge erfasst. Durchschnittlich wurde bei den weiblichen Patienten ein um 6,6 % (rechtes Auge) bzw. 4,7 % (linkes Auge) kleineres Kammervolumen ermittelt. Unabhängig vom Geschlecht ließ sich eine statistisch nicht signifikante Zunahme des Kammervolumens mit steigendem Alter feststellen. Sowohl Kammervolumen (RA:  $r = 0,743$ ,  $p = 0,01$ ) als auch -winkel (RA:  $r = 0,435$ ,  $p = 0,01$ ) nahmen mit progredienter Entwicklung der Vorderkammertiefe statistisch signifikant zu.

Verglichen mit denen in den nachfolgend aufgeführten Publikationen wurden in dieser Dissertation geringere Kammerwinkel ermittelt, wobei nachgewiesen werden konnte, dass infolge einer Myopie sowohl Kammervolumen ( $182,63 \text{ mm}^3$ ) als auch -winkel ( $36,82^\circ$ ) tendenziell größer ausfielen als bei emmetropen Patienten ( $173,67 \text{ mm}^3$  bzw.  $34,43^\circ$ ). In der Studie

von [Tsai 2012] konnten bei Kindern zwischen 6 und 13 Jahren mit Myopie mittels Pentacam® Kammerwinkel von  $45,78^\circ \pm 8,07^\circ$  und bei den Emmetropen von  $44,21^\circ \pm 7,33^\circ$  festgestellt werden. Auch das Kammervolumen war bei den myopen Kindern mit einem durchschnittlichen Wert von  $195,54 \text{ mm}^3 \pm 28,68 \text{ mm}^3$  deutlich größer als bei den Kindern mit Emmetropie ( $168,10 \text{ mm}^3 \pm 29,57 \text{ mm}^3$ ). [Tsai 2012] konnte feststellen, dass unter Mydriasis der Kammerwinkel und das –volumen deutlich anstiegen und Kinder mit Myopie signifikant größere Kammerwinkel als emmetrope Kindern aufwiesen. Geschlechtsunterschiede konnten nicht festgestellt werden. [Marchini 2003] beobachtete ebenfalls eine Erweiterung des Kammerwinkels nach Mydriasis, wohingegen [Pukrushpan 2006] eher eine Verengung dokumentierte. Dem gegenüber konnte [Palamar 2011] bei 50 Kindern und Jugendlichen im Alter von sechs bis 16 Jahren nach Instillation von Cyclopentolat-Hydrochlorid 1 % keine signifikante Veränderung des Kammerwinkels feststellen. Hier betrug der durchschnittliche Kammerwinkel im rechten Auge  $37,03^\circ$  und im linken Auge  $38,14^\circ$  vor Mydriasis und nach Mydriasis  $36,39^\circ$  im rechten Auge und  $38,11^\circ$  im linken Auge. Desweiteren betrug die Kammervolumina bei [Palamar 2011] im rechten Auge  $173,62 \text{ mm}^3$  und im linken Auge  $171,98 \text{ mm}^3$  und nahmen unter Mydriasis im rechten Augen um  $17,52 \text{ mm}^3$  und  $19,44 \text{ mm}^3$  im linken Auge statistisch signifikant zu. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von [Palamar 2011] konnte in dieser Dissertation kein statistisch signifikanter Einfluss von Mydriatika auf Kammerwinkel und -volumen festgestellt werden.

Im Vergleich dazu wurden in der Studie von [Hosseini 2013] bei Erwachsenen Kammerwinkel von  $39,49^\circ$  im rechten Auge und  $42,73^\circ$  im linken Auge ermittelt, die Kammervolumina rechts lagen bei  $179,47 \text{ mm}^3$  und links bei  $189,26 \text{ mm}^3$ . Signifikante Geschlechtsunterschiede oder Veränderungen mit steigendem Alter konnten nicht konstatiert werden.

Die genaue Kenntnis der Parameter Vorderkammertiefe, Kammerwinkel und –volumen sowie Hornhautdicke spielen bei der Früherkennung von Keratokonus und deren Prognose eine wichtige Rolle. [Emre 2007] konnte in seiner Arbeit aufzeigen, dass bei einem stärker ausgeprägten Keratokonus die Hornhautdicke abnahm und Vorderkammertiefe und Kammervolumen zunahm und der Kammerwinkel deutlich abflachte. Das Verhalten des Kammerwinkels unter Mydriasis und eine eventuelle Augendrucksteigerung sind auch unter dem Aspekt einer Langzeittherapie einer progredienten Myopie mit pupillenerweiternden Medikamenten, wie zum Beispiel Atropin, wichtig [Tsai 2012].

## 5.7 Linsendichte

Der mit Hilfe der Pentacam® HR durchschnittlich ermittelte dimensionslose Wert der Linsendichte von ca. 3 entspräche nach der Klassifizierung vom Gerätehersteller einer pathologischen Linsentrübung (Linsendichte  $\geq 2$ : abnormal; Linsendichte  $\geq 3$ : pathologisch) [OCULUS 2015]. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass sich diese Grenzwerte auf Erwachsene

beziehen und für Kinder und Jugendliche nicht herangezogen werden dürfen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich die relative Entwicklung der Linsendichte vom Alter und Geschlecht analysiert und keine absoluten Messwerte verglichen.

Die geschlechterspezifische Auswertung der mittels Pentacam® HR ermittelten Linsendichte zeigte für das rechte Auge eine um 7,5 % und für das linke Auge eine um 4,6 % niedrigere Linsendichte der weiblichen Patienten, deren Unterschiede allerdings statistisch nicht signifikant waren. In der Altersgruppe der Drei- bis Fünfjährigen wurde die höchste Linsendichte gemessen, zwischen dem sechsten und zehnten Lebensjahr konnte eine deutliche Abnahme der Linsendichte festgestellt werden. Ähnlich zu den bereits beschriebenen Ergebnissen fand auch [Zadnik 1995] bei 869 Schulkindern eine deutliche Abnahme der Linsendichte zwischen dem sechsten und zehnten Lebensjahr heraus. Nach [Saw 2005] lag die maximale Abnahme der Linsendichte bei 543 untersuchten, myopen Kindern zwischen dem siebten und neunten Lebensjahr. In den Untersuchungen von [Shih 2009] konnte bei 11.656 Kindern und Jugendlichen eine Abnahme der Linsendichte zwischen dem siebten und 11. Lebensjahr festgestellt werden. In allen o.a. Arbeiten konnte keine Abhängigkeit vom Geschlecht beobachtet werden.

Da die Qualität der Untersuchungen mittels Pentacam® HR von der Mitarbeit des Kindes abhängig ist, muss davon ausgegangen werden, dass die Aussagen für die Kinder unter 7 Jahren nicht so verlässlich sind wie die Ergebnisse für die älteren Kinder. Für den Nachweis von geschlechtsspezifischen Unterschieden, die zum Beispiel bei der Hornhautdicke bestehen könnten, ist die Anzahl der untersuchten Kinder zu gering. Außerdem konnten nicht für jede Altersgruppe gleich viele Patienten gleichen Geschlechts ausgewertet werden. Aufgrund der zufälligen Auswahl aus einer Ambulanz einer Universitätsklinik zeigte sich u.a. eine erhebliche Variation der Refraktion, wobei noch zusätzlich die männlichen Patienten hyperoper waren. Aus diesem Grunde sollten bei einer Validierung der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse Daten aus der Früherkennungsuntersuchung vom Kinder-/ Augenarzt verwendet werden, da diese eher einer Normalpopulation entsprechen.

Alle Untersuchungen an der Pentacam® HR wurden bei abgedunkeltem Raum durchgeführt, somit bestand eine Mydriasis unabhängig von der vorherigen Verabreichung von Augentropfen zur Mydriasis bzw. Zykloplegie. Die zu erwartende Linsenabflachung und dadurch entstehende Vertiefung der Vorderkammer wurde in dieser Studie nicht im Detail untersucht. Ebenfalls wurde die Tagesabhängigkeit der Untersuchungsergebnisse nicht berücksichtigt.

## 6 Zusammenfassung

### Zweck

Ziele der Dissertation waren die Auswertung von Normalwerten des vorderen Augenabschnitts von Kindern und Jugendlichen sowie die Untersuchung von Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht und Refraktion, auf Vorderkammertiefe, Augachsenlänge, Hornhautdicke, etc.. Außerdem sollte mit Hilfe der Ergebnisse eine Altersempfehlung für Untersuchungen mittels Pentacam® HR gegeben werden.

### Material und Methoden

Es handelte sich um eine explorative Datenauswertung der Normalwerte des vorderen Augenabschnitts von 87 kaukasischen Kindern und Jugendlichen im Alter von 3 bis 17 Jahren, die mit Hilfe der Diagnosegeräte Pentacam® HR, IOLMaster™ und Autorefraktometer NIDEK AR-610 in der klinischen Routine ermittelt worden sind. Die Ergebnisse der Pentacam® HR wurden mittels Bland-Altman-Plots auf eine Korrelation mit den Ergebnissen des IOLMaster™ überprüft.

### Ergebnisse

Häufigste Refraktionsdiagnose war eine Hyperopie (RA: 67,6 %). Mit steigendem Alter nahmen Augachsenlänge (RA: 22,49 mm  $\pm$  1,46 mm) und Vorderkammertiefe (IOLMaster™ RA: 3,48 mm  $\pm$  0,25 mm; Pentacam® HR RA: 3,03 mm  $\pm$  0,36 mm) statistisch signifikant zu. Ebenfalls ließ sich eine statistisch signifikante Zunahme der Vorderkammertiefe mit zunehmendem Kammervolumen (RA: 185,13 mm<sup>3</sup>  $\pm$  29,23 mm<sup>3</sup>) und  $\omega$ -winkel (RA: 36,56°  $\pm$  6,96°) feststellen. Die dünnste Stelle der Hornhautdicke (RA: 561,89  $\mu$ m  $\pm$  36,72  $\mu$ m) war bei 90,3 % der Patienten inferior temporal vorzufinden. Die Auswertung des vorderen kornealen Astigmatismus mittels Bland-Altman ergab für Pentacam® HR und IOLMaster™ maximale Abweichungen von 15 %.

### Fazit

Die Auswertung der Messqualität ließ bei allen 3 Diagnosegeräten eine statistisch signifikante Altersabhängigkeit bei der Durchführbarkeit erkennen. Statistisch signifikante Geschlechtsunterschiede ließen sich nicht feststellen. Das Alter korrelierte signifikant mit Augachsenlänge und Vorderkammertiefe. Vergleichbar zu anderen Veröffentlichungen waren die Ergebnisse der Vorderkammertiefe mittels Pentacam® HR leicht höher im Vergleich zu den Ergebnissen des IOLMaster™.

Aus der Auswertung der Daten ließ sich eine Altersempfehlung für aussagefähige Untersuchungsergebnisse ab 7 Jahren mittels Pentacam® HR ableiten.

## 7 Summary

### Purpose

Main aim of this study was to evaluate normal values of the anterior segment of paediatric eyes and correlate these values to age, gender, axial length (AL) and refraction. In addition a recommendation concerning the minimum age of the children for reasonable use of the Pentacam® HR should be given.

### Material and methods

In this exploratory data evaluation normal values of 87 Caucasian children at the age of 3 to 17 years were analysed. Measurements were taken by Autorefractometer Nidek AR-610, IOLMaster™ and Pentacam® HR in the clinical routine. The results of Pentacam® HR were also checked by Bland-Altman-plots for a correlation with the IOLMaster™.

### Results

Hyperopia was the main refraction diagnosis (right eye 67.6%). Age correlated statistically significant with axial length (right eye: 22.49 mm  $\pm$  1.46 mm) and anterior chamber depth (IOLMaster™ right eye: 3.48 mm  $\pm$  0.25 mm; Pentacam® HR right eye: 3.03 mm  $\pm$  0.36 mm). As well, a significant positive correlation was found between anterior chamber depth and anterior chamber volume (right eye: 185.13 mm  $\pm$  29.23 mm<sup>3</sup>) and anterior chamber angle (right eye: 36.56 °  $\pm$  6.96 °). Thinnest cornea (right eye: 561.89  $\mu$ m  $\pm$  36.72  $\mu$ m) was detected in the inferior temporal quadrant for 90.3 % of the patients.

The analysis of the astigmatism by Bland-Altman showed a maximum deviation of 15 % for Pentacam® HR and IOLMaster™.

### Conclusion

The evaluation of the measurement quality of all devices showed a significant age dependency in feasibility. Age correlated significantly with axial length (AL) and anterior chamber depth (ACD), but without gender differences. In accordance with the literature Pentacam measurements for ACD were slightly higher than by IOLMaster™. Therefore, the use of one instrument is recommended for longitudinal studies in anterior segment of children.

## 8 Formelzeichen und Abkürzungen

### Formelzeichen

#### Lateinisch Groß

D	Dioptrie	dpt
$L_{1,2}$	Übereinstimmungsgrenzen (limits of agreement)	-
N	Stichprobenumfang / Anzahl der Patienten	-

#### Lateinisch Klein

$\bar{d}$	mittlere Differenz (bias)	-
n	Stichprobenumfang	-
$s_{\bar{d}}$	Standardabweichung der mittleren Differenz	-
p	statistische Signifikanz	-
r	Pearson-Korrelations-Koeffizient	-

### Abkürzungen

AL	Augachsenlänge
HH	Hornhaut
LA	linkes Auge
LJ	Lebensjahr
MD	Median
MW	Mittelwert
RA	rechtes Auge
SD	Standardabweichung
VKT	Vorderkammertiefe
mm	Millimeter
mm <sup>3</sup>	Kubikmillimeter
µm	Mikrometer
°	(Winkel) Grad

## 9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Längsschnitt (links) und Querschnitt (rechts) durch das menschliche Auge [Sachsenweger 2003] .....	3
Abbildung 2-1: Geschlechteranteil (links) und Altersverteilung (rechts) der Patienten .....	8
Abbildung 3-1: Autorefraktometer NIDEK AR-610 [NIDEK 2013] .....	10
Abbildung 3-2: IOLMaster™ Carl ZEISS Meditec AG [ZEISS 2005] .....	11
Abbildung 3-3: OCULUS Pentacam® HR [OCULUS 2015] .....	12
Abbildung 3-4: Beispielhafte (anonymisierte) Darstellung der Ergebnisse mittels Pentacam® HR .....	12
Abbildung 3-5: Darstellung und Messgrößen eines Bland-Altman-Plots .....	14
Abbildung 4-1: Bestkorrigierter Visus, rechtes Auge .....	17
Abbildung 4-2: Bestkorrigierter Visus, linkes Auge .....	18
Abbildung 4-3: Sphärisches Äquivalent mittels Autorefraktometer, rechtes Auge .....	19
Abbildung 4-4: Sphärisches Äquivalent mittels Autorefraktometer, linkes Auge .....	20
Abbildung 4-5: Gesamtastigmatismus in Dioptrie mittels Autorefraktometer, rechtes Auge .....	20
Abbildung 4-6: Gesamtastigmatismus in Dioptrie mittels Autorefraktometer, linkes Auge .....	21
Abbildung 4-7: Winkel des Gesamtastigmatismus mittels Autorefraktometer, rechtes Auge .....	22
Abbildung 4-8: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge .....	23
Abbildung 4-9: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung des Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge .....	23
Abbildung 4-10: Winkel des Gesamtastigmatismus mittels Autorefraktometer, linkes Auge .....	24
Abbildung 4-11: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, linkes Auge .....	25
Abbildung 4-12: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der Gesamtastigmatismen mittels Autorefraktometer, linkes Auge .....	25
Abbildung 4-13: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge .....	26
Abbildung 4-14: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, rechtes Auge .....	27

Abbildung 4-15: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, linkes Auge .....	28
Abbildung 4-16: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der Refraktionsdiagnosen mittels Autorefraktometer, linkes Auge .....	28
Abbildung 4-17: Augachsenlänge mittels IOLMaster™, rechtes Auge .....	30
Abbildung 4-18: Augachsenlänge mittels IOLMaster™, linkes Auge .....	31
Abbildung 4-19: Vorderkammertiefe mittels IOLMaster™, rechtes Auge .....	32
Abbildung 4-20: Vorderkammertiefe mittels IOLMaster™, linkes Auge .....	32
Abbildung 4-21: Vorderer kornealer Astigmatismus in Dioptrie mittels IOLMaster™, rechtes Auge .....	33
Abbildung 4-22: Vorderer kornealer Astigmatismus in Dioptrie mittels IOLMaster™, linkes Auge .....	34
Abbildung 4-23: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels IOLMaster™, rechtes Auge .....	34
Abbildung 4-24: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, rechtes Auge .....	35
Abbildung 4-25: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, rechtes Auge .....	36
Abbildung 4-26: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels IOLMaster™, linkes Auge .....	37
Abbildung 4-27: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, linkes Auge .....	37
Abbildung 4-28: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der vorderen kornealen Astigmatismen mittels IOLMaster™, linkes Auge .....	38
Abbildung 4-29: Dünkste Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR, rechtes Auge .....	40
Abbildung 4-30: Dünkste Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR, linkes Auge .....	41
Abbildung 4-31: Lage der dünnsten Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR, rechtes und linkes Auge .....	41
Abbildung 4-32: Hornhautdicke im Pupillenzentrum mittels Pentacam® HR, rechtes Auge .....	42
Abbildung 4-33: Hornhautdicke im Pupillenzentrum mittels Pentacam® HR, linkes Auge .....	43
Abbildung 4-34: Linsendichte mittels Pentacam® HR, rechtes Auge .....	43
Abbildung 4-35: Linsendichte mittels Pentacam® HR, linkes Auge .....	44
Abbildung 4-36: Kammervolumen mittels Pentacam® HR, rechtes Auge .....	44
Abbildung 4-37: Kammervolumen mittels Pentacam® HR, linkes Auge .....	45

Abbildung 4-38: Kammerwinkel mittels Pentacam® HR, rechtes Auge.....	46
Abbildung 4-39: Kammerwinkel mittels Pentacam® HR, linkes Auge .....	46
Abbildung 4-40: Vorderkammertiefe mittels Pentacam® HR, rechtes Auge .....	47
Abbildung 4-41: Vorderkammertiefe mittels Pentacam® HR, linkes Auge.....	48
Abbildung 4-42: Vorderer kornealer Astigmatismus in Dioptrie mittels Pentacam® HR, rechtes Auge.....	49
Abbildung 4-43: Vorderer kornealer Astigmatismus in Dioptrie mittels Pentacam® HR, linkes Auge .....	49
Abbildung 4-44: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels Pentacam® HR, rechtes Auge .....	50
Abbildung 4-45: Geschlechts- und altersspezifische Anzahl an vorderen kornealen Astigmatismen mittels Pentacam® HR, rechtes Auge.....	50
Abbildung 4-46: Geschlechts- und altersspezifische Häufigkeitsverteilung der vorderen kornealen Astigmatismen mittels Pentacam® HR, rechtes Auge .....	51
Abbildung 4-47: Winkel des vorderen kornealen Astigmatismus mittels Pentacam® HR, linkes Auge.....	52
Abbildung 4-48: Qualität der Messergebnisse am Beispiel der Vorderkammertiefe, rechtes Auge.....	55
Abbildung 4-49: Bland-Altman-Plot der Vorderkammertiefe von IOLMaster™ und Pentacam® HR, rechtes Auge .....	56
Abbildung 4-50: Bland-Altman-Plot der Vorderkammertiefe von IOLMaster™ und Pentacam® HR, linkes Auge.....	56
Abbildung 4-51: Bland-Altman-Plot des vorderen kornealen Astigmatismus von IOLMaster™ und Pentacam® HR, rechtes Auge .....	58
Abbildung 4-52: Bland-Altman-Plot des vorderen kornealen Astigmatismus von IOLMaster™ und Pentacam® HR, linkes Auge.....	58

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 3-1:	Technische Spezifikationen der bildgebenden Diagnosegeräte [NIDEK 2007, OCULUS 2015, ZEISS 2005] .....	13
Tabelle 4-1:	Befunde bzw. Diagnosen der Patienten (Mehrfachnennung möglich) .....	16
Tabelle 4-2:	Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen des Autorefraktometers .....	29
Tabelle 4-3:	Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen des IOLMaster™ .....	39
Tabelle 4-4:	Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen der Pentacam® HR (I/II) .....	53
Tabelle 4-5:	Gegenüberstellung der statistischen Messgrößen der Pentacam® HR (II/II) .....	54
Tabelle 4-6:	Gegenüberstellung der ermittelten statistischen Messgrößen zur Vorderkammertiefe von IOLMaster™ und Pentacam® HR .....	57
Tabelle 4-7:	Gegenüberstellung der ermittelten statistischen Messgrößen zum vorderen kornealen Astigmatismus von IOLMaster™ und Pentacam® HR.....	59
Tabelle 11-1:	Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Astigmatismen des rechten Auges von Autorefraktometer, IOLMaster™ und Pentacam® HR.....	90
Tabelle 11-2:	Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Astigmatismen des linken Auges von Autorefraktometer, IOLMaster™ und Pentacam® HR.....	90
Tabelle 11-3:	Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Hornhautdicke im Pupillenzentrum mittels Pentacam® HR.....	91
Tabelle 11-4:	Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der dünnsten Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR.....	91
Tabelle 11-5:	Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Linsendichte mittels Pentacam® HR.....	92
Tabelle 11-6:	Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Augachsenlänge mittels IOLMaster™ .....	92
Tabelle 11-7:	Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Vorderkammertiefe des rechten Auges von IOLMaster™ und Pentacam® HR.....	93

Tabelle 11-8: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Vorderkammertiefe des linken Auges von IOLMaster™ und Pentacam® HR .....93

## 10 Literaturverzeichnis

**[Abrahamsson 1988]** Abrahamsson, M.; Fabian, G.; Sjöstrand, J.: Changes in astigmatism between the ages of 1 and 4 years: a longitudinal study; *Br J Ophthalmol.* 1988 Feb; 72(2):145-9, 1988.

**[Alfonso 2010]** Alfonso, JF.; Ferrer-Blasco, T.; González-Méijome, JM.; García-Manjarres, M.; Peixoto-de-Matos, SC.; Montés-Micó, R.: Pupil size, white-to-white corneal diameter, and anterior chamber depth in patients with myopia; *J Refract Surg.* 2010 Nov;26(11):891-8. doi: 10.3928/1081597X-20091209-07. Epub 2009 Dec 15, 2010.

**[Alsbirk 1978]** Alsbirk, P. H.: CORNEAL THICKNESS: I. Age Variation, Sex Difference and Oculometric Correlations; *Acta Ophthalmologica*, Volume 56, Issue 1, pages 95–104, February 1978.

**[Al-Mezaine 2007]** Al-Mezaine, H.S.; Al-Amro, S.A.; Kangave, D.; Sadaawy, A.; Wehaib, T.A.; Al-Obeidan, S.: Comparison between central corneal thickness measurements by oculus pentacam and ultrasonic pachymetry; *International Ophthalmology*, Volume 28, Issue 5, pp 333-338, 10.1007/s10792-007-9143-9, 2007.

**[Amano 2006]** Amano, S.; Honda, N.; Amano, Y.; Yamagami, S.; Miyai, T.; Samejima, T.; Ogata, M.; Miyata, K.: Comparison of central corneal thickness measurements by rotating Scheimpflug camera, ultrasonic pachymetry, and scanning-slit corneal topography; *Ophthalmology.* 2006 Jun; 113(6):937-41, 2006.

**[Ambrosio 2006]** Ambrósio, R. Jr.; Alonso, RS.; Luz, A.; Coca Velarde, LG.: Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: tomographic indices to detect keratoconus; *J Cataract Refract Surg.* 2006 Nov; 32(11):1851-9, 2006.

**[Ang 2013]** Ang, M.; Chong, W.; Huang, H.; Tay, W. T.; Wong, T. .Y.; He, M.-G.; Aung, T.; Mehta, J. S.: Comparison of Anterior Segment Optical Tomography Parameters Measured Using a Semi-Automatic Software to Standard Clinical Instruments; *PLoS ONE* 8 (6); e65559. doi: 10.1371/ journal.pone.0065559, 2013.

**[Augustin 2007]** Augustin, A. J.: *Augenheilkunde*; 3. Auflage, 1215, Springer Verlag, 2007.

**[Barkana 2005]** Barkana, Y.; Gerber, Y.; Elbaz, U.; Schwartz, S.; Ken-Dror, G.; Avni, I.; Zadok, D.: Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system, optical low-coherence reflectometry pachymeter, and ultrasound pachymetry; *J Cataract Refract Surg.* 2005 Sep; 31(9):1729-35, 2005.

**[Belin 2007]** Belin, MW.; Khachikian, SS.: Keratoconus: it is hard to define, but ...; *Am J Ophthalmol.* 2007 Mar; 143(3):500-3, 2007.

- [Bland 1986] Bland, J. Martin; Altman, Douglas G.:** Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement; *The Lancet*, 307–310, 1986.
- [Bland 1999] Bland, J. Martin; Altman, Douglas G.:** Measuring agreement in method comparison studies; *Statistical Methods in Medical Research* 1999, 8, 135–160, 1999.
- [Bleeker 1960] Bleeker, G. M.:** Serial recordings of the depth of the anterior chamber; *Arch. Ophthalmol.* 63, 821-829, 1960.
- [Brandt 2001] Brandt, JD.; Beiser, JA.; Kass, MA.; Gordon, MO.:** Central corneal thickness in the Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS); *Ophthalmology*. 2001 Oct; 108(10):1779-88, 2001.
- [Buehl 2006] Buehl, W.; Stojanac, D.; Sacu, S.; Drexler, W.; Findl, O.:** Comparison of Three Methods of Measuring Corneal Thickness and Anterior Chamber Depth; *American Journal of Ophthalmology* (Impact Factor: 3.87), 02/2006, 141(1):7-12. DOI: 10.1016/j.ajo.2005.08.048, 2006.
- [Calmettes 1958] Calmettes, L.; Deodati, F.; Huron, H.; Bechac, H.:** Study of the depth of the anterior chamber; physiological variations & in the course of ametropia; *Arch Ophtalmol Rev Gen Ophtalmol*. 1958 Jul-Aug; 18(5): 513-542.
- [Chang 2001] Chang, S.; Tsai, I.; Hu, F.; Lin, L.L.; Shih, Y.:** The cornea in young myopic adults; *Br J Ophthalmol*. 2001 Aug; 85(8): 916–920, 2001.
- [Cho 1999] Cho, P.; Lam, C.:** Factors affecting the central corneal thickness of Hong Kong-Chinese; *Curr Eye Res*. 1999 May; 18(5):368-74, 1999.
- [Dinc 2010] Dinc, U. A.; Gorgun, E.; Oncel, B.; Yenerel, M. N.; Alimgil, L.:** Assessment of anterior chamber depth using Visante optical coherence tomography, slitlamp optical coherence tomography, IOL Master, Pentacam and Orbscan II; *Ophthalmologica*. 2010; 224(6):341-6. doi: 10.1159/000313815. Epub 2010 May 4; 2010.
- [Doughty 2000] Doughty, MJ.; Zaman, ML.:** Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach; *Surv Ophthalmol*. 2000 Mar-Apr; 44(5):367-408, 2000.
- [Doughty 2002] Doughty, MJ.; Laiquzzaman, M.; Müller, A.; Oblak, E.; Button, NF.:** Central corneal thickness in European (white) individuals, especially children and the elderly, and assessment of its possible importance in clinical measures of intra-ocular pressure; *Ophthalmic Physiol Opt*. 2002 Nov;22(6):491-504, 2002.
- [Ehlers 1976] Ehlers, N.; Sorensen, T.; Bramsen, T.; Poulsen, EH.:** Central corneal thickness in newborns and children; *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1976 Jul; 54(3):285-90, 1976.

- [Emre 2007] Emre, S.; Doganay, S.; Yologlu, S.:** Evaluation of anterior segment parameters in keratoconic eyes measured with the Pentacam system; *Journal Cataract Refract Surg* October 2007, Volume 33, Issue 10, Pages 1708–1712, 2007.
- [Eysteinnsson 2002] Eysteinnsson, T.; Jonasson, F.; Sasaki, H.; Arnarsson, A.; Sverrisson, T.; Sasaki, K.; Stefánsson, E.:** Central corneal thickness, radius of the corneal curvature and intraocular pressure in normal subjects using non-contact techniques: Reykjavik Eye Study; *Acta Ophthalmol Scand.* 2002 Feb;80(1):11-5, 2002.
- [Foster 1998] Foster, P.J.; Baasanhu, J.; Alsbirk, P.H.; Munkhbayar, D.; Uranchimeg, D.; Johnson, G.J.:** Central corneal thickness and intraocular pressure in a Mongolian population; *Ophthalmology.* 1998 Jun; 105(6):969-73, 1998.
- [Fujioka 2007] Fujioka, M.; Nakamura, M.; Tatsumi, Y.; Kusuhara, A.; Maeda, H.; Negi, A.:** Comparison of Pentacam Scheimpflug camera with ultrasound pachymetry and non-contact specular microscopy in measuring central corneal thickness; *Curr Eye Res.* 2007 Feb; 32(2):89-94, 2007.
- [Gilbert 1927] Gilbert, W.:** Augenerkrankung im Kindesalter; Springer-Verlag, 2.Auflage 1927, S. 3, 1927.
- [Gordon 1985] Gordon, R.A.; Donzis, P.B.:** Refractive development of the human eye; *Arch Ophthalmol.* 1985 Jun; 103(6):785-9, 1985.
- [Grouven 2007] Grouven, U.; Bender, R.; Ziegler, A.; Lange, S.:** Vergleich von Messmethoden; *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 2007, 132, e69–e73, Georg Thieme Verlag KG, 2007.
- [Gul 2014] Gul, A.; Caglar, C.; Cinal, A.; Yasar, T.; Kilic, A.:** Ocular biometry and central corneal thickness in children: a hospital-based study; *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*; May/Jun 2014, Vol. 77 Issue 3, p152-154, 2014.
- [Gwiazda 1984] Gwiazda, J.; Scheiman, M.; Mohindra, I.; Held, R.:** Astigmatism in children: changes in axis and amount from birth to six years; *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984 Jan; 25(1):88-92, 1984.
- [Hahn 2003] Hahn, S.; Azen, S.; Ying-Lai, M.; Varma, R.:** Central corneal thickness in Latinos; *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003 Apr; 44(4):1508-12, 2003.
- [Hashemi 2007] Hashemi, H.; Mehravaran, S.:** Central corneal thickness measurement with Pentacam, Orbscan II, and ultrasound devices before and after laser refractive surgery for myopia; *J Cataract Refract Surg.* 2007 Oct;33(10):1701-7, 2007.

- [Herse 1993] Herse, P.; Yao, W.:** Variation of corneal thickness with age in young New Zealanders; *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1993 Jun; 71(3):360-4, 1993.
- [Hosseini 2013] Hosseini, S. M. A.; Abolbashari, F.; Mohidin, N.:** Anterior segment parameters in Indian young adults using the Pentacam; *International Ophthalmology* December 2013, Volume 33, Issue 6, pp 621-626; 2013.
- [Huang 2014] Huang, J.; Maguire, MG.; Ciner, E.; Kulp, MT.; Cyert, LA.; Quinn, GE.; Orel-Bixler, D.; Moore, B.; Ying, GS:** Risk factors for astigmatism in the Vision in Preschoolers Study; *Optom Vis Sci*. 2014 May; 91(5):514-21, 2014.
- [Huebscher 1999] Huebscher, H.; Fink, W.; Steinbruck, D.; Seiler, T.:** Scheimpflug records without distortion – a mythos?; *Ophthalmic Res* 1999; 31: 139, 1999.
- [Hussein 2004] Hussein, MA.; Paysse, EA.; Bell, NP.; Coats, DK.; Brady McCreery, KM.; Koch, DD.; Orengo-Nania, S.; Baskin, D.; Wilhelmus, KR.:** Corneal thickness in children; *Am J Ophthalmol*. 2004 Nov; 138(5):744-8, 2004.
- [Kanski 2008] Kanski, J. J.:** *Klinische Ophthalmologie*; 6. Auflage, 219, 343, Urban-Fischer Verlag, 2008.
- [Kaufmann 2003] Kaufmann, P. L.; Alm, A.:** *Adler's Physiology of the eye*; 10. Auflage, 23, 47, 49, 56, 66, 97, 117-119, 133-136, 192, 237-238, 242, Mosby, an affiliate of Elsevier Science, 2003.
- [Kiely 1982] Kiely, PM.; Carney, LG.; Smith, G.:** Diurnal variations of corneal topography and thickness; *Am J Optom Physiol Opt*. 1982 Dec; 59(12):976-82, 1982.
- [Kiely 1983] Kiely, PM.; Carney, LG.; Smith, G.:** Menstrual cycle variations of corneal topography and thickness; *Am J Optom Physiol Opt*. 1983 Oct; 60(10):822-9, 1983.
- [Klein 2009] Klein, AP.; Suktitipat, B.; Duggal, P.; Lee, KE.; Klein, R.; Bailey-Wilson, JE.; Klein, BE.:** Heritability analysis of spherical equivalent, axial length, corneal curvature, and anterior chamber depth in the Beaver Dam Eye Study; *Arch Ophthalmol*. 2009 May; 127(5):649-55. doi: 10.1001/archophthalmol.2009.61, 2009.
- [Kunert 2003] Kunert, KS.; Bhartiya, P.; Tandon, R.; Dada, T.; Christian, H.; Vajpayee, RB.:** Central corneal thickness in Indian patients undergoing LASIK for myopia; *J Refract Surg*. 2003 May-Jun; 19(3):378-9, 2003.
- [Lackner 2005 I] Lackner, B.; Schmidinger, G.; Pieh, S.; Funovics, MA.; Skorpik, C.:** Repeatability and reproducibility of central corneal thickness measurement with Pentacam, Orbscan, and ultrasound; *Optom Vis Sci*. 2005 Oct; 82(10):892-9, 2005.

- [Lackner 2005 II] Lackner, B.; Schmidinger, G.; Skorpik, C.:** Validity and repeatability of anterior chamber depth measurements with Pentacam and Orbscan; *Optom Vis Sci.* 2005 Sep;82(9):858-61, 2005.
- [Lam 2007] Lam, A. KC.; Chen, D.:** Pentacam pachometry: comparison with non-contact specular microscopy on the central cornea and inter-session repeatability on the peripheral cornea; *Clin Exp Optom.* 2007 Mar; 90(2):108-14, 2007.
- [Lam 2013] Lam, A. KC.; Tse, J. SH.:** Pentacam anterior chamber parameters in young and middle-aged Chinese; *Clinical and Experimental Optometry*, Volume 96, Issue 1, pages 85–91, January 2013.
- [Lang 2014] Lang, G. K.:** *Augenheilkunde*; 5. Auflage, 25, 90-91, 166-167, Georg Thieme Verlag, 2014.
- [Li 2014] Li, P.; Murray, J.; Wang, R. K.:** Full anterior segment biometry with extended imaging range spectral domain optical coherence tomography at 1340 nm; *Journal of biomedical optics*, Vol. 19 (4), 046013-1-9, April 2014.
- [Lin 2014] Lin, L.; Yimin, Y.; Qi, C.; Meixiao, S.; Qingkai, M.; Beibei, L.; Dexi, Z.; Jia, Q.; Fan, L.:** Biometry of anterior segment of human eye on both horizontal and vertical meridians during accommodation imaged with extended scan depth optical coherence tomography; *PLoS ONE* 9(8): e104775-1-6, 2014.
- [Liu 2000] Liu, Z.; Pflugfelder, SC.:** The effects of long-term contact lens wear on corneal thickness, curvature, and surface regularity; *Ophthalmology.* 2000 Jan; 107(1):105-11, 2000.
- [Lowe 1969] Lowe, R. F.:** Central corneal thickness. Ocular correlations in normal eyes and those with primary angle-closure glaucoma; *Br J Ophthalmol.* 1969 Dec; 53(12): 824–826, 1969.
- [Marchini 2003] Marchini, G.; Babighian, S.; Tosi, R.; Perfetti, S.; Bonomi, L.:** Comparative study of the effects of 2% ibopamine, 10% phenylephrine, and 1% tropicamide on the anterior segment; *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003 Jan;44(1):281-9, 2003.
- [Myrowitz 2012] Myrowitz, E.:** Juvenile myopia progression, risk factors and interventions; *Saudi J Ophthalmol.* 2012 Jul;26(3):293-7. doi: 10.1016/j.sjopt.2011.03.002. Epub 2011 Mar 15, 2012.
- [Naumann 1997] Naumann, G. O. H.:** *Pathologie des Auges*; Band 12, 25, 29, Springer Verlag, 1997.

- [Nemeth 2006] Nemeth, G.; Vajas, A.; Kolozsvari, B.; Berta, A.; Modis, L.:** Anterior chamber depth measurements in phakic and pseudophakic eyes: Pentacam versus ultrasound device; *Journal Cataract Refract Surg* 2006, 32:1331-1335, 2006.
- [NIDEK 2007] NIDEK CO., LTD.:** Modell AR-610 Auto Refractometer; Bedienungsanleitung, NIDEK CO., LTD, 2007.
- [NIDEK 2013] NIDEK CO., LTD.:** AR-610 Auto Refractometer; Produktbroschüre, NIDEK CO., LTD, 2013.
- [OCULUS 2015] OCULUS Optikgeräte GmbH:** Gebrauchsanweisung Pentacam®/Pentacam® HR; OCULUS Optikgeräte GmbH, G/70700/0715/de, 2015.
- [O'Donnell 2004] O'Donnell, C.; Maldonado-Codina, C.:** Agreement and repeatability of central thickness measurement in normal corneas using ultrasound pachymetry and the OCULUS Pentacam; *Cornea*. 2005 Nov; 24(8):920-4, 2005.
- [O'Donoghue 2015] O'Donoghue, L.; Breslin, KM.; Saunders, KJ:** The Changing Profile of Astigmatism in Childhood: The NICER Study; *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015 May; 56(5):2917-25, 2015.
- [Ojaimi 2005] Ojaimi, E.; Rose, KA.; Morgan, IG.; Smith, W.; Martin, FJ.; Kifley, A.; Robaei, D.; Mitchell, P.:** Distribution of ocular biometric parameters and refraction in a population-based study of Australian children; *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005 Aug; 46(8):2748-54, 2005.
- [Ostadimoghaddam 2014] Ostadimoghaddam, H.; Yekta, A.; Heravian, J.; Azimi, A.; Hosseini, S.; Vatandoust, S.; Sharifi, F.; Abolbashari, F.:** Prevalence of Refractive Errors in Students with and without Color Vision Deficiency; *J Ophthalmic Vis Res*. 2014 Oct-Dec; 9(4): 484–486, 2014.
- [Palamar 2011] Palamar, M.; Egrilmez, S.; Uretmen, R.; Yagci, A.; Kose, S.:** Influences of cyclopentolate hydrochloride on anterior segment parameters with Pentacam in children; *Acta Ophthalmologica*, 89: e461–e465. doi: 10.1111/j.1755-3768.2011.02122.x, 2011.
- [Pan 2015] Pan, CW.; Chen, X.; Gong, Y.; Yu, J.; Ding, H.; Bai, J.; Chen, J.; Zhu, H.; Fu, Z.; Liu, H.:** Prevalence and causes of reduced visual acuity among children aged three to six years in a metropolis in China; *Ophthalmic Physiol Opt*. 2015 Oct 2. doi: 10.1111/opo.12249, 2015.
- [Price 1999] Price, FW. Jr.; Koller, DL.; Price, MO.:** Central corneal pachymetry in patients undergoing laser in situ keratomileusis; *Ophthalmology*. 1999 Nov; 106(11):2216-20, 1999.

- [Pukrushpan 2006] Pukrushpan, P.; Tulvatana, W.; Kulvichit, K.:** Intraocular pressure change following application of 1% tropicamide for diagnostic mydriasis; *Acta Ophthalmol Scand.* 2006 Apr; 84(2):268-70, 2006.
- [Rosengren 1950] Rosengren, B.:** Studies in depth of the anterior chamber of the eye in primary glaucoma; *AMA Arch Ophthalmol.* 1950 Oct; 44(4): 523.
- [Rüfer 2005] Rüfer, F.; Schröder, A.; Arvani, M.-K.; Erb, C.:** Central and Peripheral Corneal Pachymetry – Standard Evaluation with the Pentacam System; *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 2005, 222, 117–122, Georg Thieme Verlag KG, 2005.
- [Sachsenweger 2003] Sachsenweger, M.; Klauß, V.; Nasemann, J.:** *Duale Reihe Augenheilkunde*; 2. Auflage, 2, Georg Thieme Verlag, 2003.
- [Saw 2005] Saw, SM.; Chua, WH.; Gazzard, G.; Koh, D.; Tan, DT.; Stone, RA.:** Eye growth changes in myopic children in Singapore; *Br J Ophthalmol.* 2005 Nov; 89(11):1489-94, 2005.
- [Schaeffel 2002] Schaeffel, F.:** Das Rätsel der Myopie; *Ophthalmologe* 2002 99:120–141 © Springer-Verlag, 2002.
- [Shih 2009] Shih, YF.; Chiang, TH.; Lin, LL.:** Lens thickness changes among schoolchildren in Taiwan; *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009 Jun;50(6):2637-44. doi: 10.1167/iovs.08-3090. Epub 2009 Feb 21, 2009.
- [Siu 1993] Siu, A.; Herse, P.:** The effect of age on human corneal thickness; *Acta Ophthalmologica*, Volume 71, Issue 1, pages 51–56, February 1993.
- [Srivannaboorn 2002] Srivannaboorn, S.:** Relationship between corneal thickness and level of myopia; *J Med Assoc Thai.* 2002 Feb; 85(2):162-6, 2002.
- [Stenström 1946] Stenström, S.:** Untersuchungen über die Variation und Konvariation der optischen Elemente des menschlichen Auges; *Acta ophthal. (Kbh.)*, Suppl. 26, 1-103, 1946.
- [Swann 1993] Swann, PG.; Yap, M.; Wong, E.; Bohl, T.; Bowen, K.; Gaffney, J.:** Intraocular pressure measurements and corneal centre thickness in Chinese and Caucasian populations; *Proceeding of the Ninth Asian-Pacific Optometric Congress, Hong Kong*, 1993: 66.69, 1993.
- [Tanaka 1996] Tanaka, HM.; Mori, ES.; Maia, N.; Freitas, D.; Campos, M.; Charmon, W.:** Corneal thickness in high myopes. *Invest; Investigative Ophthalmology & Visual Science* 06/1996; 37:2566-2566, 1996.
- [Törnquist 1953] Törnquist, R.:** Shallow anterior chamber in acute glaucoma; clinical and genetic study, *Acta ophthal. (Kbh.)*, Suppl. 39, 1-74, 1953.

- [Tong 2004 I]** Tong, L.; Saw, SM.; Lin, Y.; Chia, KS.; Koh, D.; Tan, D.: Incidence and progression of astigmatism in Singaporean children; Invest Ophthalmol Vis Sci. 2004 Nov; 45(11):3914-8, 2004.
- [Tong 2004 II]** Tong, L.; Saw, SM.; Siak, JK.; Gazzard, G.; Tan, D.: Corneal thickness determination and correlates in Singaporean schoolchildren; Invest Ophthalmol Vis Sci. 2004 Nov; 45(11):4004-9, 2004.
- [Touzeau 2003]** Touzeau, O.; Allouch, C.; Borderie, O. Touzeau, C. Allouch, V. Borderie, R. Kopito, L. Laroche.; Kopito, R.; Laroche, L.: Corrélation entre la réfraction et la biométrie oculaire; Journal Français d'Ophtalmologie, Vol 26, N° 4 - avril 2003, pp. 355-363, 2003.
- [Tsai 2012]** Tsai, I.-L.; Tsai, C.-Y.; Kuo, L.-L.; Liou, S.-W.; Lin, S.; Wang, I.-J.: Transient changes of intraocular pressure and anterior segment configuration after diagnostic mydriasis with 1% tropicamide in children; Clin Exp Optom. 2012 Mar, 95(2):166-172, 2012.
- [Tsorbatzoglou 2007]** Tsorbatzoglou, A.; Németh, G.; Széll, N.; Biró, Z.; Berta, A.: Anterior segment changes with age and during accommodation measured with partial coherence interferometry; J Cataract Refract Surg 2007, 33:1597-1601, 2007.
- [Twelker 2009]** Twelker, JD.; Mitchell, GL.; Messer, DH.; Bhakta, R.; Jones, LA.; Mutti, DO.; Cotter, SA.; Klenstein, RN.; Manny, RE.; Zadnik, K.: Children's Ocular Components and Age, Gender, and Ethnicity; Optom Vis Sci. 2009 Aug; 86(8):918-35, 2009.
- [Uçakhan 2006]** Uçakhan, OO.; Ozkan, M.; Kanpolat, A.: Corneal thickness measurements in normal and keratoconic eyes: Pentacam comprehensive eye scanner versus non-contact specular microscopy and ultrasound pachymetry; J Cataract Refract Surg. 2006 Jun; 32(6):970-7, 2006.
- [Uçakhan 2008]** Uçakhan, OO.; Gesoğlu, P.; Ozkan, M.; Kanpolat, A.: Corneal elevation and thickness in relation to the refractive status measured with the Pentacam Scheimpflug system; J Cataract Refract Surg. 2008 Nov; 34(11):1900-5. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.07.018, 2008.
- [Ueono 2015]** Ueno, Y.; Hiraoka, T.; Miyazaki, M.; Ito, M.; Oshika, T.: Corneal thickness profile and posterior corneal astigmatism in normal corneas; Ophthalmology. 2015 Jun; 122(6):1072-8, 2015.
- [Wang 2014]** Wang, X.; Dong, J.; Wu, Q.: Evaluation of Anterior Segment Parameters and Possible Influencing Factors in Normal Subjects Using a Dual Scheimpflug Analyzer; PLoS One. 2014; 9(5): e97913, 2014.

- [Wolfs 1997] Wolfs, RC.; Klaver ,CC.; Vingerling, JR.; Grobbee, DE.; Hofman, A.; de Jong, PT.:** Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study; *Am J Ophthalmol.* 1997 Jun; 123(6):767-72, 1997.
- [Wong 2001] Wong, TY.; Foster, PJ.; Ng, TP.; Tielsch, JM.; Johnson, GJ.; Seah, SK.:** Variations in ocular biometry in an adult Chinese population in Singapore: the Tanjong Pagar Survey; *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001 Jan;42(1):73-80, 2001.
- [Xie 2009] Xie, R.; Zhou, XT.; Lu, F.; Chen, M.; Xue, A.; Chen, S.; Qu, J.:** Correlation between myopia and major biometric parameters of the eye: a retrospective clinical study; *Optom Vis Sci.* 2009 May; 86(5):E503-8. doi: 10.1097/OPX.0b013e31819f9bc5, 2009.
- [Yuksel 2014] Yuksel, N.; Yuksel, E.; Ozer, MD.:** Evaluation of anterior segment parameters using the Pentacam in hyperopic anisometropic amblyopic and normal eyes; *J AAPOS.* 2014 Jun; 18(3):248-50. doi: 10.1016/j.jaapos.2014.01.013, 2014.
- [Zadnik 1995] Zadnik, K.; Mutti, DO.; Fusaro, RE.; Adams, AJ.:** Longitudinal evidence of crystalline lens thinning in children; *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1995 Jul;36(8):1581-7, 1995.
- [Zadnik 1999] Zadnik, K.; Mutti, DO.; Friedmann, NE.:** Ocular predictors of the onset of juvenile myopia; *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999 Aug;40(9):1936-43, 1999.
- [Zadnik 2003] Zadnik, K.; Manny, RE.; Yu, JA.; Mitchell, GL.; Cotter, SA.; Quiralte, JC.; Shipp, M.; Friedman, NE.; Kleinstein, R.; Walker, TW.; Jones, LA.; Moeschberger, ML.; Mutti, DO.:** Ocular component data in schoolchildren as a function of age and gender; *Optom Vis Sci.* 2003 Mar; 80(3):226-36, 2003.
- [ZEISS 2005] CARL ZEISS MEDITEC AG:** IOLMaster™ Software Version 4.xx: Gebrauchsanweisung; CARL ZEISS MEDITEC AG, 000000-1371-524, 2005.
- [Zheng 2008] Zheng, Y.; Huang, G.; Huang, W.; He, M.:** Distribution of Central and Peripheral Corneal Thickness in Chinese Children and Adults - The Guangzhou Twin Eye Study; *Cornea (Impact Factor: 2.04).* 08/2008; 27(7):776-81, 2008.
- [Zhu 2015] Zhu, H.; Yu, JJ.; Yu, RB.; Ding, H.; Bai, J.; Chen, J.; Liu, H.:** Association between Childhood Strabismus and Refractive Error in Chinese Preschool Children; *PLoS ONE* 10(6): e0130914. doi: 10.1371/journal.pone.0130914, 2015.

## 11 Anhang

**Tabelle 11-1: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Astigmatismen des rechten Auges von Autorefraktometer, IOLMaster™ und Pentacam® HR**

Angaben in %		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>Autorefraktometer</b>	A. rectus	62,5	42,9	69,2	33,3	33,3	50,0	0	0
	A. inversus	0	28,6	15,4	0	0	16,7	0	0
	A. obliquus	37,5	28,6	15,4	66,7	66,7	33,3	100*	100*
<b>IOLMaster™</b>	A. rectus	71,4	42,9	69,2	33,3	66,7	50,0	0	0
	A. inversus	0	28,6	7,7	0	0	16,7	100*	0
	A. obliquus	28,6	28,6	23,1	66,7	33,3	33,3	0	100*
<b>Pentacam® HR</b>	A. rectus	37,5	75,0	45,5	100,0	0	66,7	100*	0
	A. inversus	0	0	9,1	0	0	16,7	0	0
	A. obliquus	62,5	25,0	45,5	0	100	16,7	0	100*

\* nur 1 Patient in der Alters- und Geschlechtsgruppe

**Tabelle 11-2: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Astigmatismen des linken Auges von Autorefraktometer, IOLMaster™ und Pentacam® HR**

Angaben in %		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>Autorefraktometer</b>	A. rectus	66,7	60,0	61,5	75,0	33,3	66,7	0	50,0
	A. inversus	0	0	15,4	0	0	33,3	100*	25,0
	A. obliquus	33,3	40,0	23,1	25,0	66,7	0	0	25,0
<b>IOLMaster™</b>	A. rectus	60,0	40,0	69,2	75,0	100	66,7	0	50,0
	A. inversus	0	0	7,7	0	0	100	100*	0
	A. obliquus	40,0	60,0	23,1	25,0	0	33,3	0	50,0
<b>Pentacam® HR</b>	A. rectus	0	100*	60,0	0	0	0	0	50,0
	A. inversus	0	0	0	0	0	100*	0	0
	A. obliquus	100	0	40,0	100*	0	0	100*	50,0

\* nur 1 Patient in der Alters- und Geschlechtsgruppe

**Tabelle 11-3: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Hornhautdicke im Pupillenzentrum mittels Pentacam® HR**

		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>Rechtes Auge</b>	Anzahl	9	8	22	11	7	11	1	5
	Mittelwert [µm]	554,33	539,44	578,27	579,18	578,14	561,97	539,33	564,67
	Durchschnittsalter	4	5	8	8	13	13	17	16
<b>Linkes Auge</b>	Anzahl	5	4	8	4	3	4	0	1
	Mittelwert [µm]	599,10	555,50	593,04	585,00	566,67	555,25	--	546,00
	Durchschnittsalter	5	4	8	8	12	13	-	16

**Tabelle 11-4: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der dünnsten Stelle der Hornhaut mittels Pentacam® HR**

		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>Rechtes Auge</b>	Anzahl	9	8	22	11	7	11	1	5
	Mittelwert [µm]	554,93	536,63	573,82	559,79	574,86	560,55	538,00	556,50
	Durchschnittsalter	4	5	8	8	13	13	17	16
<b>Linkes Auge</b>	Anzahl	5	4	8	4	3	4	0	1
	Mittelwert [µm]	595,40	549,74	588,85	578,00	563,00	552,75	-	544,00
	Durchschnittsalter	5	4	8	8	12	13	-	16

**Tabelle 11-5: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Linsendichte mittels Pentacam® HR**

		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>Rechtes Auge</b>	Anzahl	3	3	14	3	5	4	0	4
	Mittelwert	3,45	3,45	3,16	3,19	3,26	3,16	-	3,41
	Durchschnittsalter	4	4	8	8	12	14	-	17
<b>Linkes Auge</b>	Anzahl	4	3	3	4	2	3	0	1
	Mittelwert	3,28	3,55	2,62	1,94	3,28	3,39	-	3,51
	Durchschnittsalter	4	4	8	8	12	12	-	16

**Tabelle 11-6: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Augachsenlänge mittels IOLMaster™**

		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>Rechtes Auge</b>	Anzahl	13	10	25	11	8	11	1	6
	Mittelwert [mm]	21,88	20,99	22,88	22,41	23,23	22,86	25,27	22,2
	Durchschnittsalter	4	4	8	8	13	13	17	16
<b>Linkes Auge</b>	Anzahl	12	7	25	11	8	10	1	6
	Mittelwert [mm]	21,85	21,29	22,83	22,80	23,12	22,87	24,98	22,67
	Durchschnittsalter	4	4	8	8	13	13	17	16

**Tabelle 11-7: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Vorderkammertiefe des rechten Auges von IOLMaster™ und Pentacam® HR**

		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>IOLMaster™</b>	Anzahl	12	9	25	11	8	11	1	6
	Mittelwert [mm]	3,41	3,18	3,52	3,54	3,59	3,45	4,01	3,56
	Durchschnittsalter	4	4	8	8	13	13	17	16
<b>Pentacam® HR</b>	Anzahl	9	9	22	11	7	11	1	5
	Mittelwert [mm]	2,90	2,61	3,11	3,07	3,29	3,04	3,58	3,16
	Durchschnittsalter	4	4	8	8	13	13	17	16

**Tabelle 11-8: Gegenüberstellung der geschlechts- und altersspezifischen Verteilung der Vorderkammertiefe des linken Auges von IOLMaster™ und Pentacam® HR**

		3 – 5 Jahre		6 – 10 Jahre		11 – 15 Jahre		16 – 17 Jahre	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<b>IOLMaster™</b>	Anzahl	11	8	25	11	8	12	1	6
	Mittelwert [mm]	3,34	3,20	3,48	3,58	3,72	3,46	3,98	3,57
	Durchschnittsalter	4	4	8	8	13	13	17	16
<b>Pentacam® HR</b>	Anzahl	5	4	8	4	3	4	0	1
	Mittelwert [mm]	3,03	2,75	3,10	2,97	3,32	3,06	-	3,20
	Durchschnittsalter	5	4	8	8	12	13	-	16

## 12 Publikationsverzeichnis

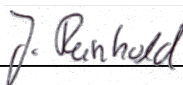
**[Jaeger 2016] Jaeger, M.; Reinhold, J.; Lorenz, B.:** Comparison of anterior segment biometric measurements by Pentacam®HR and IOLMaster™ and their correlation to age in children; DOG-Kongress, Berlin, 2016.

### 13 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Gießen, 20.04.2018

Ort, Datum



Unterschrift

## **14 Danksagung**

Die vorliegende Arbeit entstand an der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen, unter der Leitung von Frau Prof. Dr. med. Birgit Lorenz.

Für die Betreuung dieser Arbeit danke ich Frau Prof. Dr. med. Birgit Lorenz.

Besonderer Dank gilt Frau Dr. med. Melanie Jäger, die mich stets in zahlreichen Gesprächen menschlich und fachlich unterstützt hat und damit maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen hat.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Dr. Jörn Pons-Kühnemann und Frau Christine Scheibelhut vom Institut für medizinische Informatik für ihre Beratung und Hilfe bei der statistischen Auswertung der Arbeit.

Ein besonders lieber Dank gilt meinen Eltern und Christian.