

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Augenheilkunde
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
(Direktor: Prof. Dr. med. G.I.W. Duncker)
und der Augenklinik der HELIOS Kliniken Schwerin
(Direktor: Prof. Dr. med. F. Wilhelm)

**Langzeitergebnisse nach bimanueller
Phakoemulsifikation und Implantation der Linse
Acri.Smart 48S-5[®]**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt
der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Christian Schäferhoff

geboren am 11.02.1975 in Singen

Gutachter:

Referat und bibliographische Angaben

Die Phakoemulsifikation als Goldstandard in der modernen Kataraktchirurgie fordert immer kleinere Zugangswege zur Verminderung des operativ induzierten Astigmatismus und zur Minimierung der Gefahren anderer Komplikationen. Dafür sind geeignete Intraokularlinsen notwendig. Eine der ersten zugelassenen Linsen, die über Parazentesen implantiert werden konnten, war die Intraokularlinse Acri.Smart 48S-5[®] der Firma Acri.Tec[®]. Die Implantierbarkeit über kleinere Zugänge geht auf Kosten der Linsendicke. Dies kann sich wiederum auf die Stabilität der Linse im Kapselsack auswirken, da die Intraokularlinsen den Kräften der Kapselsackschrumpfung standhalten müssen. Deshalb war es Ziel dieser Untersuchung, die postoperative Linsenposition der faltbaren, hydrophoben Acri.Smart 48S-5[®] zu messen. Der Einfluss der kleinen Zugangswege auf den kornealen Astigmatismus kann durch die Keratometerwerte bestimmt werden. Die Untersuchungen wurden präoperativ, 6 Monate, 1 und 3 Jahre nach bimanueller Phakoemulsifikation mit Implantation der Linse Acri.Smart 48S-5[®] durchgeführt. Die Messung der Zentrierung der Linse erfolgte mittels Retro-Illumineszenzaufnahmen. Das Ausmaß der Verkippung der Linse konnte anhand des Abstandes der Hornhautrückfläche zur Linsenvorderfläche mit der Scheimpflug-Kamera von Oculus Pentacam System[®] festgestellt werden. Veränderungen der Keratometerwerte wurden mit dem IOL-Master[®] der Firma Zeiss[®] und mit dem Kerato-Refraktometer KR7000P[®] der Firma Topcon[®] bestimmt. Der Nachstar wurde subjektiv eingeschätzt. In keinem Fall wurde eine wesentliche Dezentrierung in den verschiedenen Ebenen gemessen. Es kam zu keiner relevanten Veränderung des kornealen Astigmatismus. Im Vergleich mit der Literatur war die Nachstarrate erhöht. Dies führen wir auf das Linsendesign zurück, da in verschiedenen Studien Intraokularlinsen mit einer Linsenoptikgröße von 5,5 mm eine höhere Nachstarrate als Linsen mit einer Optik von 6 mm aufwiesen.

Die hydrophobe Acri.Smart[®]-Linse wies eine stabile Lage und Zentrierung im Kapselsack auf. Sie ist für die Implantation als intraokulare Korrektur nach Phakoemulsifikation über Parazentesen durchaus geeignet. Die erhöhte Nachstarrate kann möglicherweise bei den Nachfolgemodellen, die eine Linsenoptik von 6 mm Größe aufweisen, geringer sein. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig. Mit dieser Mikroinzisionstechnik in der Kataraktchirurgie kann die Induktion des postoperativen kornealen Astigmatismus weiter verringert werden.

SCHÄFERHOFF, CHRISTIAN: Langzeitergebnisse nach bimanueller Phakoemulsifikation und Implantation der Linse Acri.Smart 48S-5[®]
Halle/Saale, Univ., Med. Fak., Diss., 78 Seiten, Dezember 2008

Inhaltsverzeichnis mit Seitenangaben

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

1	Einleitung	1
1.1	Anatomie und Physiologie der Linse	1
1.2	Entwicklung der Linse	2
1.3	Begriffsdefinition „Katarakt“	2
1.4	Entstehung der Katarakt	3
1.5	Entwicklung der Kataraktchirurgie	3
1.6	Geschichte der Linsenimplantation	4
1.7	Etablierung der Kleinschnittchirurgie	5
1.8	Ziel der Studie	6
2	Material und Methoden	8
2.1	Die Linse Acri.Smart 48S-5 [®]	8
2.2	Patientenauswahl	8
2.3	Operationstechnik	9
2.4	Untersuchungsmethoden	10
2.4.1	Visus und Refraktion	10
2.4.2	Hornhauttopografie und Vorderkammertiefe	11
2.4.3	Linsenverkipfung	12
2.4.4	Retro-Illumineszenzaufnahmen	14
2.4.5	Refraktometer und Keratometrie	16
2.4.6	Aberrometrie	16
2.4.7	Beurteilung des Nachstars	18
2.5	Statistische Verfahren	19
3	Ergebnisse	21
3.1	Visus und Refraktion	21
3.1.1	Visus	21
3.1.2	Refraktion	22
3.2	Vorderkammertiefe	24

3.3	Linsenverkippung	26
3.3.1	Linsenverkippung bei 0°	26
3.3.2	Linsenverkippung bei 90°	28
3.4	Retro-Illumineszenzaufnahme	30
3.5	Keratometrie	32
3.5.1	Keratometrie mit dem IOLMaster®	32
3.5.2	Keratometrie mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P®	34
3.5.3	Vergleich der Ergebnisse der gemittelten Keratometrie mittels IOLMaster® und Kerato-Refraktometer KR-7000P®	36
3.6	Aberrometrie	37
3.6.1	Coma in der x-Achse (Coma x)	37
3.6.2	Coma in der y-Achse (Coma y)	38
3.6.3	Vergleich der Aberrometrie in der x-Achse mit der Linsenverkippung bei 0°	39
3.6.4	Vergleich der Aberrometrie in der y-Achse mit der Linsenverkippung bei 90°	39
3.7	Nachstar	40
4	Diskussion	42
4.1	Methodenkritik	42
4.2	Betrachtung der Ergebnisse und Vergleich mit der Literatur	43
4.2.1	Visus und Refraktionsbestimmung	43
4.2.2	Vorderkammertiefe	44
4.2.3	Linsenverkippung	45
4.2.4	Retro-Illumineszenzaufnahme	46
4.2.5	Keratometrie	48
4.2.6	Aberrometrie	50
4.2.7	Nachstar	51
4.2.8	OP-Methode	52
4.2.9	Acri.Smart-Linse 48S-5®	53
4.3	Schlussfolgerungen und Ausblicke	54

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

BSS	balanced salt solution
CCD	charge-coupled device
CVK	Computerisierte Videokeratographie
ECCE	Extrakapsuläre Kataraktextraktion
IOL	Intraokularlinse
logVisus	Logarithmierter Visus
MICS	Micro Incision Cataract Surgery
Nd:YAG-Kapsulotomie	Neodym:Yttrium-Aluminium-Granat-Kapsulotomie
OP	Operation
PEX	Pseudoexfoliationssyndrom
s.c.	sine correctione
sph	sphärisch
Tilt	Verkipfung der Intraokularlinse
UV	ultraviolett
zyl	zylindrisch

1 Einleitung

1.1 Anatomie und Physiologie der Linse

Neben der Hornhaut, die mit ca. 43 dpt den Hauptanteil der Brechkraft des menschlichen Auges ausmacht, trägt die Linse mit ca. 20 dpt dazu bei, die Brechkraft des optischen Apparates von ca. 60 dpt (Emmetropieauge nach GULLSTAND 58,635 dpt) zu erreichen, um ein scharfes Bild auf die Netzhaut zu fokussieren. Die reife Linse besteht neben der Kapsel aus der Linsenrinde und dem Linsenkern. Das Linsenepithel befindet sich nur unter der Vorderkapsel der Linse. In der Äquatorregion unter der Linsenkapsel werden in einer Wachstumszone, der Zona germinativa, zeitlebens neue Zellen gebildet. Diese formen sich im weiteren Verlauf in längliche Fasern um. Dabei produzieren und reichern sie Kristalline an und verlieren dann ihre Zellorganellen. Die neugebildeten Fasern liegen schließlich, ähnlich den Häuten einer Zwiebel, den älteren Fasern von außen auf. Durch diesen Prozess nimmt die Linsenrinde mit zunehmendem Alter an Dicke zu und die ursprünglich sehr elastische Linse wird immer starrer. Den Aufbau der Linse zeigt die Abbildung 1.

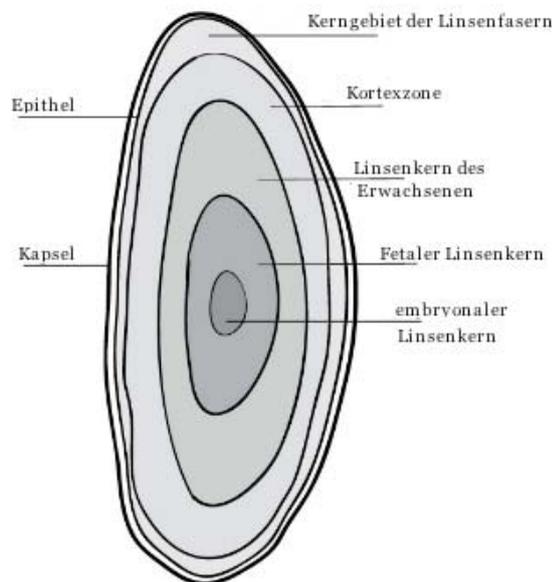


Abb. 1: Aufbau der Linse nach LUTZ in „Augenheilkunde“ von COLLINS und AUGUSTIN¹²⁷

Obwohl die Linse ein relativ stoffwechselaktives Organ ist, wird sie ausschließlich über das Kammerwasser mit Nährstoffen und Elektrolyten versorgt. Damit ist die glasklare Durchsichtigkeit der Augenlinse gewährleistet. Die Aufhängung der Linse am Ziliarkörper erfolgt über die seitlich in den Äquator der Linsenkapsel einstrahlenden Zonulafasern. Eine bedeutende

Eigenschaft der Linse ist die Akkommodationsfähigkeit. Diese wird durch den Ziliarkörper gesteuert, dessen Muskulatur den Krümmungsgrad der Linse reguliert. Die Kontraktion dieses glatten Muskels führt zu einer Erschlaffung der Zonulafasern, wodurch die Linse aufgrund der Eigenelastizität der Linsenfasern eine stärker gekrümmte Form annimmt und damit ihre Brechkraft steigert. Bei Erschlaffung des Muskels führt der Zug der Zonulafasern zu einer Abflachung der Linse. Die Durchsichtigkeit der gesunden Linse wird durch das Fehlen von Organellen und Zellkernen, die regelmäßige und dichte Ausrichtung der im Querschnitt hexagonalen Fasern, die Produktion der Kristalline, den geringen Wassergehalt und die praktisch gleiche Brechzahl der Zellmembranen und des Zytoplasmas innerhalb der Zellen der Augenlinse erreicht. Der geringere Wassergehalt im Linseninneren führt zu einer erhöhten Festigkeit und größeren optischen Dichte der Linse.

1.2 Entwicklung der Linse

Die Linse entsteht etwa am 26. bis 28. Tag der Embryonalentwicklung aus dem Oberflächenektoderm durch Einstülpung des Augenbläschens mit der Linsenplakode. In der 5. Woche kommt es zur Ausbildung eines geschlossenen Linsenbläschens, das in der 6. Woche hohl und kugelförmig ist und sich vom Oberflächenektoderm löst. Danach erfolgt die Elongation der hinteren Zellen des Linsenbläschens, die sich verlängern und zu Linsenfasern werden, während sich die Linsenkapsel vollständig entwickelt und das Lumen des Linsenbläschens bis zur 7. Woche vollständig obliteriert. Auch bilden sich die Zellkerne der primären Linsenfasern zurück. In der 8. Woche entstehen die sekundären Linsenfasern.¹²⁵ Im 8. Monat ist der fetale Linsenkern vollständig entwickelt.¹²⁶ Nach der Geburt wächst der Linsenkern bis zur Pubertät durch Apposition neuer Fasern. Danach bildet sich durch die weitere Apposition von Fasern die Rinde, und die Dicke der Linsenkapsel nimmt vor allem vorne zu.¹²⁸

Im weiteren Verlauf kommt es zur Sklerosierung und damit zur zunehmenden Eintrübung der Linse, der Katarakt. Für diesen Prozess ist wahrscheinlich die Oxidation der Linsenproteine verantwortlich.²¹⁸

1.3 Begriffsdefinition „Katarakt“

Das männliche Wort „Katarakt“ kommt ursprünglich aus dem Griechischen und bedeutet Wasserfall, während das Wort im medizinischen Sprachgebrauch weiblich ist.¹⁰³ Mit Katarakt wird die Trübung der Augenlinse bezeichnet. In der Antike nahm man an, dass bei der Entstehung der Katarakt im Sinne der hippokratisch-galenischen Viersäftelehre Substanzen hinter der Pupille herabfließen, da der Seheindruck des Betroffenen einem Blick durch einen herabstürzenden Wasserfall gleicht. Im medizinischen Sprachgebrauch wird die lateinische, weibliche Form

„cataracta“ verwendet, während man umgangssprachlich vom „Grauen Star“ spricht. Der Begriff „Star“ ist im Deutschen seit dem 16. Jahrhundert nach Christus nachweisbar und bezieht sich auf die Erstarrung der eingeflossenen Masse und den starren Blick der Erblindeten, die dann durch eine Operation geheilt werden können.¹⁰²

1.4 Entstehung der Katarakt

In den meisten Fällen sind die zunehmenden Linsentrübungen altersbedingt. Andere Ursachen können ionisierende Strahlen, Infrarotstrahlen, UV-Strahlen, Allgemeinerkrankungen wie z.B. Diabetes mellitus oder Galaktokinase-mangel, Reaktionen auf Medikamente oder Drogen, Verletzungen, kongenitale Anomalien oder intrauterine Erkrankungen wie Röteln oder Masern sein.^{51,78,94,113,131,183,203,204,216,227,237} TASKAPILI et al. zeigten am Beispiel einer Patientin, dass der augenärztliche Befund einer Katarakt zur Diagnosestellung eines vorher nicht bekannten juvenilen Diabetes mellitus führte.²¹³

1.5 Entwicklung der Kataraktchirurgie

Bereits seit Jahrtausenden führt man operative Eingriffe am Auge durch, um den Grauen Star zu heilen. Der Starstich, bei dem die Linse nicht aus dem Auge entfernt, sondern lediglich im Augennern versenkt wird, war bereits in verschiedenen frühen Hochkulturen ein häufig durchgeführter Eingriff. Dabei stach der Heilkundige mit einem spitzen Instrument ins Auge ein, hebelte die mature Linse aus ihrem Aufhängeapparat und luxierte sie in den Glaskörperraum, um so die optische Achse von den störenden Trübungen zu befreien und dem funktionell aphaken Patienten zumindest wieder eine grobe Orientierung zu ermöglichen. Dieser Eingriff wird „Couching“ genannt. Nach SPIEGEL et al. wurden Staroperationen entsprechend Berichten über den Codex Hammurabi wahrscheinlich schon um das 18. Jahrhundert vor Christus durchgeführt.²⁰⁷ Die Operation ist auf einer Tontafel aus der Zeit Hammurabis von Babylon (etwa 1700 vor Christus) ebenso wie in den Schriften des indischen Arztes Susruta (6. Jahrhundert vor Christus) erwähnt; der römische Arzt Celsus (etwa 25 vor bis 50 nach Christus) beschreibt den Eingriff ebenso detailliert wie die Vorbereitung und Nachsorge des Patienten. Nach ROY et al. werden sie 800 vor Christus in Sanskrit-Versen erwähnt.¹⁸⁵ Man nimmt an, dass in früheren Jahrhunderten mit vergleichsweise geringer Lebenserwartung der graue Star nicht immer eine Alterserscheinung war, sondern oft auf andere Ursachen wie z.B. Traumen zurückging. Nach RUCKER und RAVIN wurde 1748 von JACQUES DAVIEL erstmalig die extrakapsuläre Katarakt-Extraktion (ECCE) durchgeführt, bei der der Linsenkern aus dem Kapselsack luxiert und aus dem Auge entfernt wurde.^{176,186} Durch die Entfernung der Linse aus dem Auge wurde das Auftreten postoperativer Reizzustände in Form einer lentogenen Uveitis vermindert. Dieses Verfahren

wurde später durch die intrakapsuläre Kataraktextraktion abgelöst, bei der die Linse samt Linsenkapsel extrahiert und somit ein Nachstar vermieden wurde. Wegen der hohen Komplikationsrate (Glaskörperverlust, Netzhautablösung, Blutung) wurden die Techniken und chirurgischen Verfahren so weiterentwickelt, dass man wieder zur ECCE überging. Durch die verbesserte Etablierung dieser chirurgischen Technik konnte die Inzidenz für das Auftreten eines zystoiden Makulaödems mit permanenter Visusminderung gesenkt werden.²⁶ Als Ursache hierfür wird das bei der ECCE in Form der Linsenkapsel erhaltene Diaphragma zwischen Vorderabschnitt und Glaskörperraum angenommen. Dieses wirkt als Barriere für Entzündungsmediatoren.^{91,238} Die Entwicklung der Kapsulorhexis durch NEUHANN war ein wichtiger Schritt, um die sichere und stabile endokapsuläre Platzierung einer Intraokularlinse zu ermöglichen.^{73,152} Die Vorteile dieser Methode sind in zahlreichen Studien untersucht und belegt worden, da so vor allem die radiären Vorderkapselrisse vermieden werden.^{9,74} Eine sorgfältige Hydrodissektion erhöht nicht nur die intraoperative Sicherheit, sondern erleichtert auch wesentlich die Entfernung des Linsenepithels und trägt so zur Nachstarreduzierung bei.⁷⁰ Ein Meilenstein der Kataraktchirurgie war die Entwicklung der Phakoemulsifikation 1967 durch KELMANN.⁹⁷ Diese neue Technik erlaubte es, die Linse mittels Ultraschall nach Kapselsackeröffnung im Auge zu zertrümmern und abzusaugen. Dabei war im Gegensatz zur ECCE ein deutlich kleinerer Schnitt zur Entfernung der Linse nötig. Die Weiterentwicklung dieser Methode führte letztlich zur Technik der MICS (Microincision Cataract Surgery), bei der über einen 1,7 mm großen Inzisionstunnel die Linse phakoemulsifiziert und nachfolgend eine Kunstlinse implantiert wird.²³²

Um postoperativ Emmetropie zu erreichen, wurden verschiedene Formeln zur Errechnung der Stärke der zu implantierenden Intraokularlinse entwickelt.^{87,89,177,189,190}

Mittlerweile ist die Kataraktchirurgie die am häufigsten und erfolgreichsten durchgeführte Operation.²³

1.6 Geschichte der Linsenimplantation

Um die durch die Entfernung der Linse resultierende Weitsichtigkeit zu korrigieren, wurden Patienten anfangs, wenn überhaupt, mit einer Starbrille oder später mit Kontaktlinsen versorgt. Beides ist jedoch mit Problemen behaftet. Zwar gewinnt der Patient mit der Starbrille eine normale zentrale Sehschärfe, er ist jedoch durch ein breites Ringskotom in seinem Gesichtsfeld stark eingeschränkt und leidet außerdem bei schrägem Blick unter sphärischen Aberrationen und der Prismenwirkung der Stargläser. Kontaktlinsen verbessern die Situation insofern, als dass deren Vergrößerungswirkung wesentlich geringer ist und sphärische Aberrationen, Verzerrungen und das Ringskotom fehlen. Das Einsetzen der Kontaktlinsen bedarf allerdings einer gewissen Fingerfertigkeit. Auch werden Kontaktlinsen gerade von älteren Patienten mit herabgesetztem

Tränenfluss schlechter vertragen.²⁷ Der erste, der nachweislich die Möglichkeit einer Linsenimplantation erwogen hatte, war ein wandernder Ophthalmologe namens TADINI. Dies berichtet CASANOVA, der ihn 1766 in Warschau traf, in seinen Memoiren.^{36,68} Nach FECHNER versuchte 1795 der Dresdner Hofaugenarzt CASAAMATA - nach heutigem Wissensstand als Erster - die Implantation einer Kunstlinse in das Auge, was jedoch misslang.^{67,147,196}

Im letzten Jahrhundert machte die Kataraktchirurgie mit der ersten erfolgreichen Implantation einer Intraokularlinse aus Acryl am 29.11.1949 im St. Thomas-Krankenhaus in London durch RIDLEY einen entscheidenden Fortschritt.^{179,180,181,182} Die Implantation einer Kunstlinse ermöglichte zum ersten Mal einen adäquaten Ausgleich der durch die Aphakie bedingten Fehlsichtigkeit. Da damals weder die Kenntnis genauer Methoden zur Messung der Augapfellänge noch Erfahrung mit der Linsenstärkenberechnung vorhanden waren, betrug die Refraktion der ersten Patientin $-18,0$ dpt sph / $-6,0$ dpt zyl / 120° . Die korneoskleralen Schnitte, die zur Implantation der Linse mit einem Durchmesser von 8,35 mm notwendig waren, umfassten zunächst annähernd die gesamte obere Hälfte der Hornhaut. Die intraokularen Linsen, die in den folgenden Jahren implantiert wurden, wurden ebenso wie die chirurgische Schnitttechnik stetig aufeinander abgestimmt und verbessert. Nach APPLE et al. kann die Entwicklung der Intraokularlinsen in sechs Generationen eingeteilt werden.^{6,7} Nachdem RIDLEY zusammen mit dem Optiker RAYNER zunächst eine Hinterkammerlinse entworfen hatte, wurden in den folgenden Jahren kammerwinkelgestützte und irisfixierte Kunstlinsen entwickelt, bis man wieder zur Implantation der Intraokularlinse in unterschiedlichen Linsendesigns in den Kapselsack, d.h. in ihre natürliche Position, zurückkehrte.

Nachdem die Entwicklung der Phakoemulsifikation eine kleinere Inzisionsbreite als bei vorher gängigen Operationstechniken erlaubte, wurden faltbare Intraokularlinsen entwickelt, um die Vorteile der Kleinschnittkataraktchirurgie in vollem Umfang zu nutzen.⁵⁷ Trotz nachteiliger Erfahrungen mit den frühen Generationen der faltbaren Intraokularlinsen, wie z.B. der schwieriger durchzuführenden Neodym:YAG-Kapsulotomie und der Verfärbung der implantierten Intraokularlinsen, haben sich diese auf Grund zahlreicher Vorteile seit Anfang der neunziger Jahre weitgehend durchgesetzt.^{55,119,141,153,221}

Auch die ständige Weiterentwicklung der Methoden zur Berechnung der Linsenstärke und der akustischen sowie Laser-Interferenz-Biometrie führte zu immer genauer vorhersagbaren postoperativen Refraktionsergebnissen.^{79,120,121}

1.7 Etablierung der Kleinschnittchirurgie

Große Schnitte haben als Nachteil, dass die Gefahr von Infektionen durch die große Eintrittspforte erhöht ist, die Schnitte genäht werden müssen, und durch die Naht ein erheblicher Astigmatismus induziert werden kann. Durch die Entwicklung selbstabdichtender Inzisionen konnte dem

entgegengewirkt werden.^{76,118,146} In der modernen Kataraktchirurgie versucht man, die Schnittgröße und damit auch die Astigmatismusinduktion weiter zu reduzieren. Dies ist über die Weiterentwicklung der mikrochirurgischen Techniken und die Modifikation des Linsenmaterials und der Linsenimplantation gelungen. Ein wichtiger Schritt war die Entwicklung der faltbaren Intraokularlinsen. MAZOCCO implantierte 1984 die erste faltbare Linse aus Silikon.^{106,132} Erfahrungen mit der Implantation von faltbaren Intraokularlinsen wurden von zahlreichen Autoren publiziert.^{16,109,110,130} Durch diese Entwicklung konnten die operativen Zugangswege verkleinert und die Inzidenz von Intraokularlinsendislokationen deutlich verringert werden.^{9,44} Der nächste Schritt zur Minimierung der Schnittgröße war die Entwicklung der bimanuellen Phakoemulsifikation. Diese ermöglicht es, die Linse über eine Parazentese, also über einen 1,5 mm bis 1,7 mm großen Schnitt in der Hornhaut, zu emulsifizieren und abzusaugen. AGARWAL et al. implantierten sogar über einen nur 0,9 mm kleinen Tunnel.¹ Wie bei der heute routinemäßigen Linsenimplantation hatte auch diese neue Technik zunächst mehr Kritiker als Fürsprecher, mit der Zeit häuften sich jedoch die positiven Erfahrungsberichte über das Verfahren in der Literatur.^{1,42,43,84,220} Mittlerweile ist die bimanuelle Phakoemulsifikation ein etabliertes Verfahren.^{53,175,229} Eine optimale Technik macht es mit niedrigen gepulsten Ultraschallenergien heutzutage möglich, eine Phakoemulsifikation ohne schützenden Sleeve durchzuführen und dabei die Hornhaut vor thermischen Schäden zu schützen.⁷¹

Zunächst musste nach erfolgter bimanueller Phakoemulsifikation über Parazentesen der Schnitt für die anschließende Linsenimplantation erweitert werden, da die Herstellung von stabilen Intraokularlinsen, die auf ein so kleines Volumen faltbar waren, dass sie über eine Inzision unter 2 mm in den Kapselsack hätten implantiert werden können, nicht möglich war. Im weiteren Verlauf entwickelte z.B. die Firma Acri.Tec[®] eine Intraokularlinse, die über einen 1,5 mm bis 1,7 mm großen Schnitt implantiert werden kann.²³² Dadurch kann das Operationstrauma für das Auge noch weiter reduziert werden. Ziel einer kleineren Schnittgröße ist darüber hinaus, den operativ induzierten Astigmatismus weiter zu minimieren.

1.8 Ziel der Studie

In verschiedenen Studien wurde eine relativ hohe Rate an Dezentrierungen und Dislokationen von herkömmlichen Faltlinsen festgestellt.^{40,139} Bei dem Großteil der heutzutage verwendeten faltbaren Intraokularlinsen ist eine Inzision von wenigstens 2,8 mm notwendig.⁴¹ Über Parazentesen implantierbare Linsen müssen zur Implantation noch stärker als normale Faltlinsen gefaltet oder gerollt werden, um über einen nur 1,7 mm breiten Schnitt implantiert werden zu können. Dafür muss das Material, aus dem die Linse besteht, während der Implantation entsprechend flexibel sein. ALIO et al. fanden, dass speziell die rollbaren Kunstlinsen bei der Implantation durch einen kleinen Schnitt relativ stark komprimiert und mechanisch beansprucht

werden.³ In einzelnen Fällen kam es bei der Implantation der rollbaren Intraokularlinse zu Einrissen, so dass ein Austausch erforderlich wurde.¹⁴²

Daraus ergibt sich die Frage, ob eine so extrem faltbare Linse den Kräften, die im Verlauf der Kapselsackfibrosierung und -schrumpfung auftreten, standhalten kann.

Gegenstand dieser Studie war es daher, diese noch relativ junge Operationsmethode zu beurteilen und anhand der Linse Acri.Smart 48S-5[®] zu untersuchen, ob es im Verlauf von 3 Jahren zu Lageveränderungen dieser Linse in Form einer Bewegung seitwärts oder nach vorne bzw. einer Verkipfung der Linse kommt. Hierfür kamen verschiedene Methoden zur Untersuchung von Lageveränderungen der Linse zur Anwendung.

Auch der postoperative Astigmatismus ist ein Kriterium, welches bei der Beurteilung des erreichten Sehvermögens eine Rolle spielt.^{64,107} Deshalb wurde ebenfalls die Hornhaut auf Änderungen des kornealen Astigmatismus vor und nach der Operation untersucht.

2 Material und Methoden

2.1 Die Linse Acri.Smart 48S-5[®]

Die Acri.Smart 48S-5[®]-Linse der Firma Acri.Tec[®] war eine der ersten über Parazentesen implantierbare Linsen, die weltweit zur Verfügung stand. Es handelt sich um eine faltbare, bikonvex symmetrische single-piece-Linse mit einem Gesamtdurchmesser von 11,0 mm und einem Optikdurchmesser von 5,5 mm. Die Linse absorbiert UV-Licht und besteht aus hydrophilem Acrylat mit hydrophober Oberfläche bei einem Wassergehalt von 25%. Diese Eigenschaft wird durch die Oberflächenstruktur der Moleküle verursacht, deren polare Seite nach innen und deren unpolare Seite nach außen zeigt. Dies bedingt die Komprimierbarkeit und Widerstandsfähigkeit der Kunstlinse. Zwischen Optik und Haptikübergang befindet sich keine Kante, ansonsten ist die Linse scharfkantig, da sie nicht poliert werden muss (Angaben des Herstellers). Die Linse ist in Abbildung 2 dargestellt.

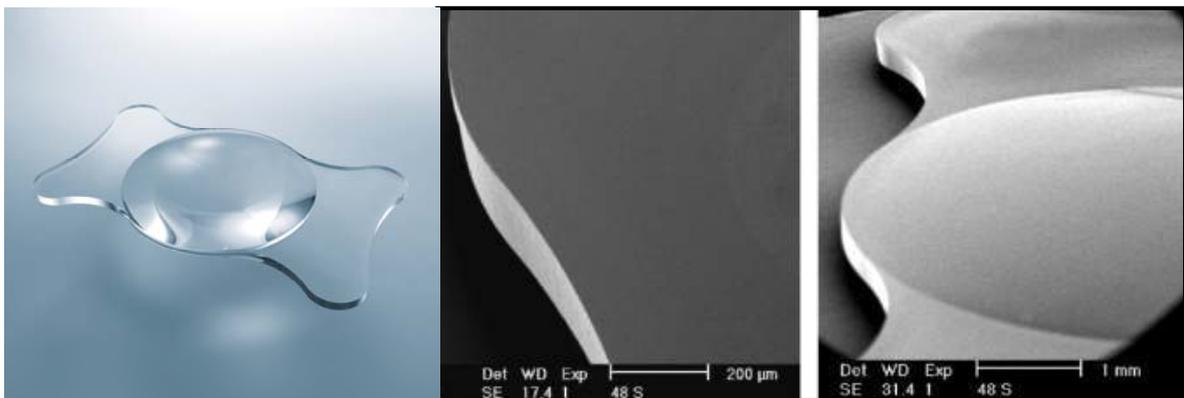


Abb. 2: Darstellung der Linse Acri.Smart 48S-5[®] links. In der Mitte und rechts raster-elektronenmikroskopische Aufnahmen der scharfen Kante (mit freundlicher Genehmigung der Firma Acri.Tec[®])

2.2 Patientenauswahl

Bei 53 Patienten (39 Frauen und 14 Männer) wurde im Zeitraum von Dezember 2002 bis Juni 2004 eine komplikationslose bimanuelle Phakoemulsifikation über eine 1,7 mm große Parazentese mit Implantation einer Acri.Smart 48S-5[®] über diesen Schnitt von stets demselben Operateur durchgeführt. Es wurden 21 rechte und 32 linke Augen operiert. Eingeschlossen wurden nur Patienten, bei welchen davon auszugehen war, dass nach der komplikationslosen Kataraktoperation keine zusätzlichen chirurgischen Maßnahmen notwendig sein würden. Die Patientenauswahl erfolgte zufällig aus der Zahl der an die Universitätsaugenklinik Halle-Wittenberg zur Kataraktoperation überwiesenen Patienten.

Nach 6 Monaten wurden noch 36 Patienten (11 Männer, 25 Frauen) für die Untersuchung rekrutiert, 1 Jahr postoperativ nahmen 15 Patienten (7 Männer, 8 Frauen) an den Untersuchungen teil. Nach 3 Jahren hatten 16 Patienten (7 Männer, 9 Frauen) die Studie nicht abgebrochen. Eine Patientin war zum Untersuchungszeitpunkt nach einem Jahr schwer erkrankt und konnte nicht untersucht werden. Ein größerer Teil war unter der vor OP angegebenen Adresse und Telefonnummer zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt nicht mehr erreichbar, einige Patienten verstarben innerhalb der 3 postoperativen Jahre und andere waren nicht mehr bereit, die Beschwerlichkeit der Anfahrt und der Untersuchung auf sich zu nehmen. Das Alter der untersuchten Patienten lag zwischen 45 und 99 Jahren, im Mittel bei $78,7 \pm 9,60$ Jahren.

Statistisch ausgewertet wurden letztlich nur die 15 Patienten (7 Männer und 8 Frauen), die zu allen genannten Zeitpunkten untersucht werden konnten. Das Alter dieser Patienten lag zwischen 67 Jahren und 87 Jahren, im Mittel $74,75 \pm 6,88$ Jahre. Bei diesen Patienten waren 5 rechte und 10 linke Augen operiert worden.

2.3 Operationstechnik

Die Katarakt-Operationen wurden alle nach der von WILHELM et al. beschriebenen Methode in peribulbärer Anästhesie durchgeführt.²³²

Nach Desinfektion der Lider und der Bindehaut des zu operierenden Auges mit Betaisodona®-Lösung wurde dieses mit einem Lochtuch abgedeckt und die Klebefolie des Tuches aufgeschnitten. Im Anschluss an das Einsetzen des Lidsperrers erfolgten 1,5 mm große Parazentesen bei 2⁰⁰ Uhr und 10⁰⁰ Uhr. Es wurde Suprarenin® und danach Methocel® in die Vorderkammer gegeben sowie die Kapsulorhexis mit einer gebogenen Kanüle nach der Methode von GIMBEL et al. durchgeführt.⁷³ Die Hydrodissektion erfolgte unter Verkanten der Spülkanüle, um so durch das Ablassen von Flüssigkeit ein Bersten des Kapselsackes zu verhindern.

Über die Parazentese bei 10⁰⁰ Uhr wurde eine bimanuelle Phakoemulsifikation durchgeführt. Dieser Operationsschritt wird in Abbildung 3 dargestellt. Das Absaugen der Rindenreste und die Kapselpolitur erfolgten mit dem bimanuellen Saug-Spülsystem. Nach erneutem Eingeben von Methocel® in die Vorderkammer wurde die Linse Acri.Smart 48S-5® in der bei der Voruntersuchung mittels IOLMaster® oder Biometrie berechneten Stärke über die auf 1,7 mm erweiterte Parazentese implantiert, und das Methocel® abgesaugt. Die Parazentesen wurden mit BSS-Lösung aufgequollen. Prophylaktisch wurden 20 mg Gentamicin und 2 mg Dexamethason subkonjunktival injiziert. Die zentrale Lage der Intraokularlinse wurde zum Abschluss der Operation unter dem Mikroskop kontrolliert.

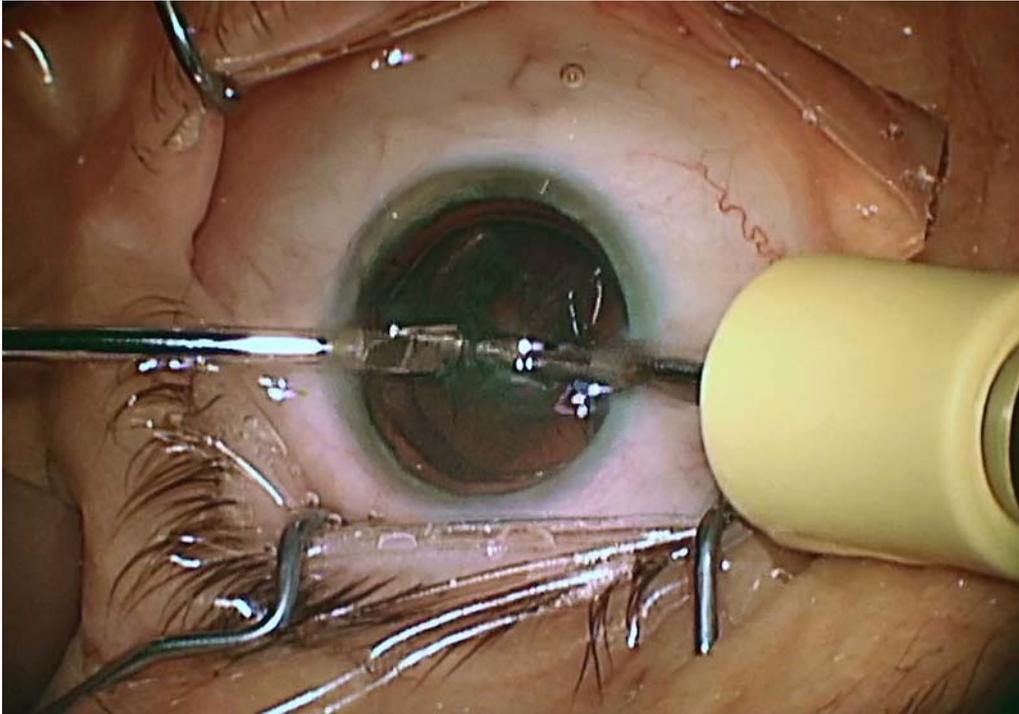


Abb. 3: Darstellung einer bimanuellen Phakoemulsifikation (links Irrigation, rechts der Phakotip bei der Phakoemulsifikation der Linse)

2.4 Untersuchungsmethoden

2.4.1 Visus und Refraktion

Unter dem Begriff „Visus“, der Sehschärfe, versteht man die Fähigkeit des Auges, zwei Objektpunkte, die dicht beieinander liegen, noch als getrennte Punkte wahrnehmen zu können. Der Visus 1,0 wird erreicht, wenn die Öffnung eines international genormten Sehzeichens, dem sogenannten Landolt-Ring, in genau einer Winkelminute Öffnungswinkel vom Probanden gerade noch erkannt wird. Zur Visusbestimmung werden nach DIN 58220 genormte Projektoren und Sehtafeln verwendet, welche Sehzeichengrößen nach logarithmischer Skalierung enthalten.

Als Sehleistung ist die Sehschärfe ohne Gläserkorrektur (Visus sine correctione = s.c.) definiert. Der Visus mit optimaler Korrektur durch vor das Auge geschaltete Brillengläser wird als bestkorrigierte Sehschärfe bezeichnet. In dieser Studie wurde der Fernvisus mit Hilfe des Sehzeichenprojektors und Phoropters Visutron Plus[®] (Firma Haag-Streit[®], Wedel und Leonberg) bestimmt. Vorher erfolgte die objektive Refraktionsbestimmung mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] (Topcon Deutschland GmbH, Willich).

Als Optotypen wurden Zahlen von 0 bis 9 verwendet, die in 5 m Entfernung auf eine reflexionsfreie weiße Tafel projiziert wurden. Es folgte eine subjektive Refraktion und Fernvisusbestimmung zur Ermittlung der besten sphärischen Korrektur. Das Vorliegen eines

Astigmatismus, dessen Betrag und Achsenlage wurden nach der Kreuzzylindermethode geprüft.¹¹⁷ Visus- und subjektive Refraktionsbestimmung wurden monokular durchgeführt.

Zur statistischen Auswertung wurde der Visus in den dekadischen Logarithmus nach einer Tabelle von BECKER et al. umgerechnet.²¹ Lag der Visus unter 0,01, wurde er diesem bzw. dem logarithmierten Visus ($\log\text{Visus}$) -2,0 gleichgesetzt.

Alle untersuchten Patienten wurden befragt, ob zu irgendeinem Zeitpunkt nach der Operation Halos, eine erhöhte Lichtempfindlichkeit oder Blendempfindlichkeit aufgetreten waren.

2.4.2 Hornhauttopographie und Vorderkammertiefe

Die Topographie der Hornhautoberfläche und die Tiefe der Vorderkammer wurde mit dem Orbscan II[®] (Firma Bausch & Lomb[®], Berlin) untersucht. Bei diesem Gerät handelt es sich um eine Kombination von zwei computerisierten farbgestützten Videokeratographie-Techniken (CVK Techniken), der Placido-Scheibe und der Scanning-slit-Technik. Die Kopfhaltung des Patienten ist ähnlich wie am Refraktometer während des Untersuchungsvorgangs durch eine Kinn- und eine Stirnstütze vorgegeben; der Patient fixiert ein Licht im Gerät. Der Untersucher stellt den Abstand zwischen Auge und Gerät anhand von Markierungspunkten auf der Hornhaut des Patienten ein. Mit dem Orbscan II[®] erhält man Aussagen über Hornhautvorderfläche, Hornhaurückfläche, Brechkraft der Hornhaut und Hornhautdicke sowie Daten über die Vorderkammertiefe. Durch die Placidoscheiben-Technik wird die Beschaffenheit der Hornhautvorderfläche analysiert. Hierbei werden auf die Hornhaut Kreise projiziert. Anhand der Reflexionen auf der Hornhaut können Hornhautverkrümmungen als Verziehungen der projizierten Kreise erkannt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen beschränken sich auf die Hornhautoberfläche.

Das so genannte Scanning-slit-measurement-System ermöglicht die Darstellung der Hornhautvorderseite, der Hornhaurückseite sowie der Vorderseite der kristallinen Linse.⁸³ Dabei wird, ähnlich wie mit der Spaltlampe, ein optischer Schnitt durch die Hornhaut gelegt. Das vordere Augensegment kann so topographisch dargestellt und vermessen sowie Veränderungen in diesem Bereich sehr exakt sichtbar gemacht werden. Informationen über die Oberfläche und die Dicke der Hornhaut (Pachymetrie) sowie die Vorderkammertiefe werden durch Scannen des Vorderabschnittes des Auges mit Hilfe spaltförmiger Lichtstrahlen gewonnen.⁸³ Bei einer einzelnen Untersuchung werden so bis zu 9000 Messpunkte auf dem Untersuchungsauge gesammelt und anhand eines Computers automatisch verglichen und analysiert. Die Ergebnisse werden digitalisiert gespeichert und können farbkodiert dargestellt werden. Abbildung 4 zeigt die bildliche Darstellung der ausgemessenen Vorderkammertiefe.

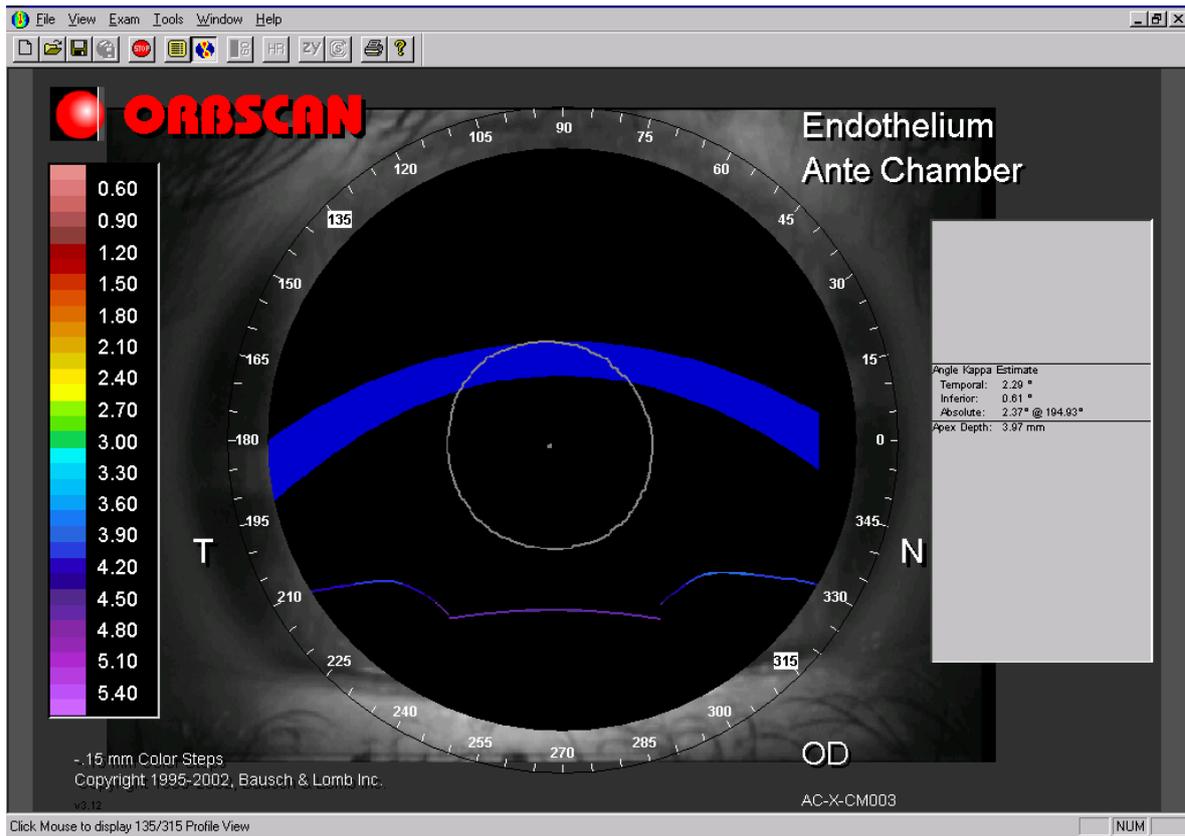


Abb. 4: Darstellung der Vorderkammertiefe mit dem Orbscan II®

2.4.3 Linsenverkipfung

SCHIEMPFLUG formulierte 1906 ein Gesetz zur Entzerrung von Abbildungen schräg stehender Objekte: Eine zur Objektivenebene schräg stehende Gegenstandsebene wird entzerrt und scharf, wenn die Bildebene gegenüber der Objektivhauptenebene um den gleichen Betrag abgewinkelt wird und sich alle drei Ebenen in einer Geraden schneiden. Dies kann durch Neigung von Objektivenebene, Bildebene oder beider Ebenen erfolgen. Die Abbildung 5 stellt das Prinzip der Scheimpflug-Kamera dar. Die Schnittbilddarstellung des vorderen Augenabschnittes nach dem Scheimpflug-Prinzip erfüllt die Bedingungen für die Vermessung des vorderen Augenabschnittes so optimal wie möglich.^{11,226} Dieses Verfahren wurde um 1970 von verschiedenen Autoren als Dokumentations- und Messtechnik in die klinische und experimentelle Ophthalmologie eingeführt und hat sich als Untersuchungsmethode für Hornhaut und Linse etabliert.^{30,31,62,86,155,156} Die Linsenverkipfung wurde in unseren Untersuchungen mit der Scheimpflug-Kamera Pentacam® (Oculus Optikgeräte GmbH, Wetzlar) bestimmt. Die Pentacam® erstellt Schnittbilder des Vorderabschnittes nach einem rotierenden Aufnahmeprinzip. So kann der vordere Augenabschnitt dreidimensional dargestellt werden. Das Phänomen des Grundrauschens der Scheimpflug-Bilder kann mathematisch und durch wiederholte Aufnahmen aus einer Position reduziert werden. Die Vorderkammertiefe

lässt sich beim Pentacam® Scheimpflug-System manuell bestimmen, indem der Abstand von Hornhautrückfläche zur Linsenvorderfläche gemessen wird.

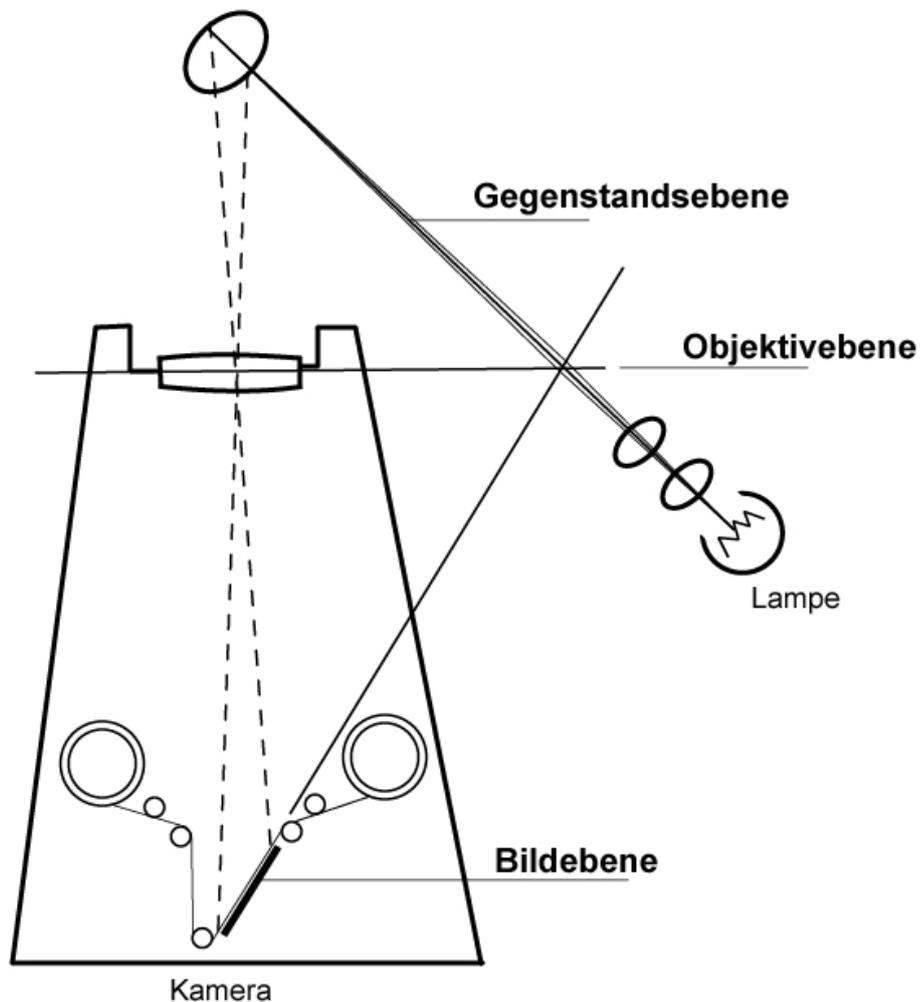


Abb. 5: Prinzip der Scheimpflug-Kamera nach WEGENER²²⁸

Zur Beurteilung einer möglichen Lageänderung der Linse im Sinne einer Verkippung wird jeweils in 1,5 mm-Abstand von der Fixationsachse die Distanz zwischen Hornhautendothel und Linsenvorderfläche bei 90° und 180° bestimmt. Die Differenz der Beträge gibt das Ausmaß der Verkippung an.^{18,50,75} Um die erhobenen Werte mit der Literatur vergleichen zu können, wurde die Verkippung über eine Tangens-Funktion in Grad umgerechnet.

Dies erfolgte nach der folgenden Formel:

$$\alpha = (\arctan \left(\frac{(b-a)}{(1,5\text{mm} + 1,5\text{mm})} \right) * \frac{180^\circ}{\pi})$$

Das Prinzip dieser Berechnung kann anhand von Abbildung 6 nachvollzogen werden.

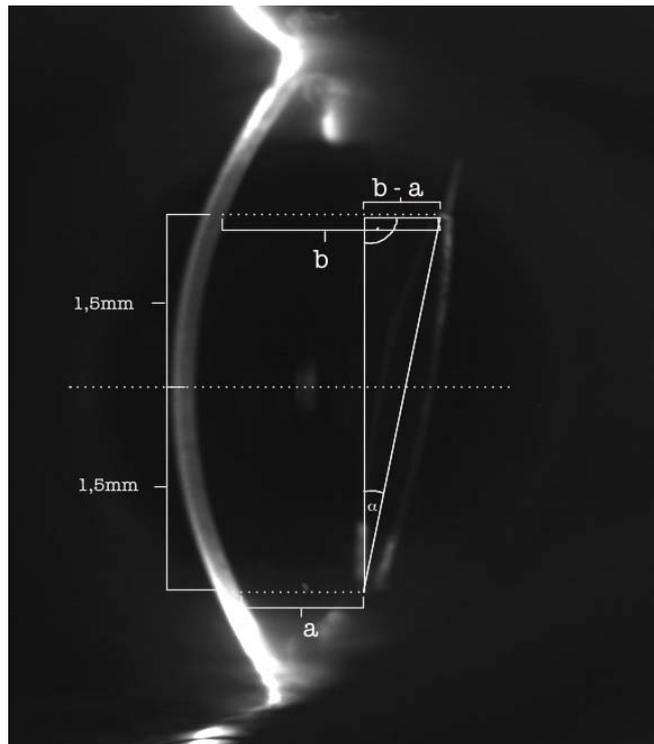


Abb. 6: Beispiel für die Berechnung der Linsenverkipfung anhand einer Scheimpflug-Aufnahme (übertrieben dargestellt)

Die digitalisierten Aufnahmen werden mit einem Computer weiterverarbeitet. Mit Hilfe von Markierungen auf dem Computerbildschirm können Strecken in den Spaltbildern mittels der vom Hersteller bereitgestellten Software ausgemessen werden. In der vorliegenden Arbeit wurden alle Bilder nach Erweiterung der Pupille mittels Tropicamid 0,5% (Mydrum[®], Chauvin ankerpharm) und Phenylephrin 10% (Neosynephrin-POS[®], Ursapharm) angefertigt. Der besondere Vorteil der Scheimpflug-Fotografie-Technik ist der schnelle, kontaktlose Gewinn von Daten. Einer der größten Nachteile besteht im Einsatz eines einfachen optischen Prinzips, welches klare optische Medien voraussetzt und Strukturen in bestimmten Fällen nur bedingt darstellen kann.

2.4.4 Retro-Illumineszenzaufnahmen

Die Dezentrierung der Linse wurde anhand von Retro-Illumineszenzaufnahmen mit der Photospaltlampe modifiziert nach KIMURA bestimmt.¹⁰⁰ Bei der Retro-Illumination wird das zu untersuchende Gewebe indirekt durch reflektierendes Licht beleuchtet, das von tiefer liegenden Gewebsschichten zurückgeworfen wird. Stets wird der Teil verschattet dargestellt, der durch seine geringere Dichte das Licht vom Lot weg bricht.^{82,225} Dabei wird im retrograden Licht die Position der Linse in Bezug zur Iris ausgewertet, um die Dezentrierungen, d.h. Verschiebungen in der Frontalebene, nachzuweisen. Um die Zentrierung der Intraokularlinse zu beurteilen, wird ein Fadenkreuz durch die Pupillenmitte gelegt, danach werden 2 markante Punkte der

Linse, wie beispielsweise die Haptikansätze, durch eine Linie miteinander verbunden. Das Maß für die Zentrierung erhält man, indem der Abstand vom Mittelpunkt zwischen den zwei markanten Punkten zur Pupillenmitte bestimmt wird.¹⁰⁰ Abbildung 7 verdeutlicht das Messprinzip, wobei die Messlinien zur besseren Darstellung der Methode absichtlich nicht die exakten Messpositionen darstellen.

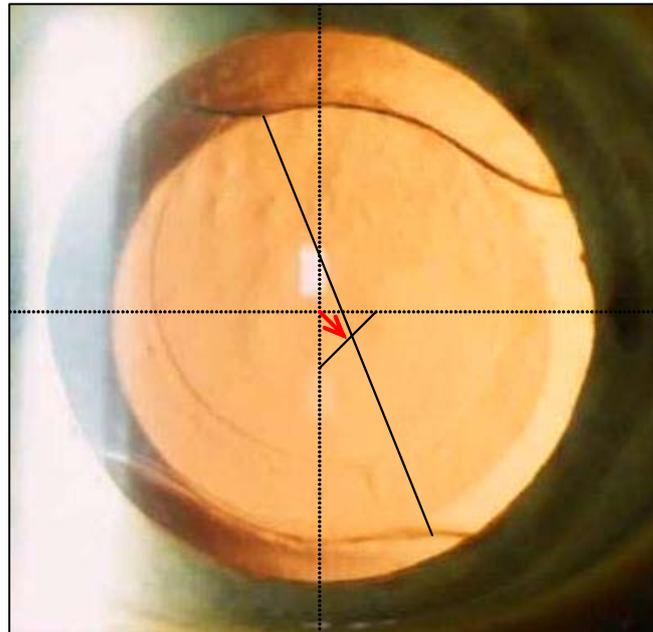


Abb. 7: Darstellung der Bestimmung des Linsenshifts mittels Retro-Illuminenzaufnahme durch Bestimmung des Abstands des Mittelpunktes der Linse vom Mittelpunkt der Pupille

Da die Größe der Linsenoptik mit 5,5 mm bekannt ist, kann das Ausmaß der Verschiebung mittels Dreisatz nach beiden folgenden Formeln berechnet werden: Dabei entspricht der Abstand der Linsenmitte (also der Mittelpunkt z.B. zwischen den beiden Haptikansätzen) zum Mittelpunkt der Pupille der Dezentrierung.

$\frac{\text{Gemessener Abstand der IOL-Mitte zur Pupillenmitte}}{\text{Reeller Abstand der IOL-Mitte zur Pupillenmitte}} = \frac{\text{Gemessener IOL-Durchmesser}}{5,5 \text{ mm}}$

daraus resultiert

$\text{Reeller Abstand der IOL-Mitte zur Pupillenmitte} = \frac{\text{Gemessener Abstand von der IOL-Mitte zur Pupillenmitte} \times 5,5 \text{ mm}}{\text{Gemessener IOL-Durchmesser}}$
--

2.4.5 Refraktometer und Keratometrie

Ziel der modernen Kataraktchirurgie ist nicht nur die Verbesserung des Visus, sondern nach Möglichkeit auch die Reduzierung des präoperativ bestehenden Astigmatismus, da dieser ein Faktor ist, der die Sehschärfe reduzieren kann und die Qualität des Sehens beeinträchtigt.²² Um die Messung des Astigmatismus zu objektivieren, wurden die Keratometerwerte mit dem IOLMaster[®] (Carl Zeiss Meditec AG, Jena) und dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] bestimmt.

Bei der Untersuchung mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] projiziert das Gerät ein Testbild auf die Netzhaut des Patienten. Dieses Bild wird durch Vorschalten von Linsen auf der Netzhaut fokussiert. Die Brechkraft der Linsen entspricht der zusätzlich benötigten Brechkraft des Auges, um in der Ferne ein scharfes Bild zu erhalten.

Der IOLMaster[®] arbeitet nach dem Littmann-Prinzip mit objektivseitig telezentrischem Strahlengang. Dieses kommt zum Einsatz, um Objekte ohne perspektivische Verzerrung zu erfassen. Die Eintrittspupille liegt im Unendlichen, deshalb verlaufen die Hauptstrahlen im Objektraum alle parallel zur optischen Achse. In diesem Strahlengang ändert sich der Abbildungsmaßstab bei axialer Objektverschiebung nicht, das Bild erscheint also unabhängig vom Objektstand immer gleich groß, wird aber unscharf, wenn das Objekt außerhalb der idealen Objektebene liegt. Diese Eigenschaft wird im Messobjektiv genutzt, um eine gewisse Lagetoleranz des Bezugobjektes zuzulassen.

Um das sphärische Äquivalent der Hornhautbrechkraft zu bestimmen, wurden die beiden Keratometerwerte addiert und durch 2 dividiert. Die Bestimmung des korneal induzierten Astigmatismus erfolgte nach der Methode von NAESER et al. für die mit dem IOLMaster[®] gemessenen Werte.¹⁴⁸

2.4.6 Aberrometrie

Die Aberrometrie bezeichnet die Messung von Wellenfrontfehlern. Wenn man das Licht als elektromagnetische Welle auffasst und alle Wellen einer im Unendlichen liegenden Lichtquelle, also parallele Lichtstrahlen, in einem Punkt gleicher Phase erfasst, so erhält man eine ebene Fläche. Da die Wellenfront immer 90° zum einzelnen Lichtstrahl steht und dementsprechend von der Richtung der Lichtstrahlen abhängig ist, nimmt sie durch die Konvergenz der Lichtstrahlen in einem perfekten Auge eine sphärische Form an. Alle Abweichungen von einer perfekten Optik sind durch Abweichungen von der idealen Wellenfront gekennzeichnet.³⁵ Diese Abweichungen werden in ihrer Gesamtheit Wellenfrontfehler oder Wellenfrontdeformation genannt, während einzelne charakteristische Abbildungsfehler als Wellenfrontaberrationen bezeichnet werden.

Die Aberrationen höherer Ordnung haben etwa 15% Anteil am Wellenfrontfehler des Auges.³⁸ Die wichtigsten dieser Abbildungsfehler, die sich nicht durch sphärische oder zylindrische Korrekturen ausgleichen lassen, werden Coma und sphärische Aberrationen genannt. Die Coma ist eng verwandt mit der sphärischen Aberration und wie diese ein Öffnungsfehler. Letztendlich entspricht sie der sphärischen Aberration bei schrägem Strahlendurchtritt und wirkt sich nur bei großer Apertur aus. Bei einem schrägen Strahleneintritt kommt es, wie in Abb. 8 dargestellt, zu einer irregulären Verzerrung der Zerstreuungsfigur.^{116,219}

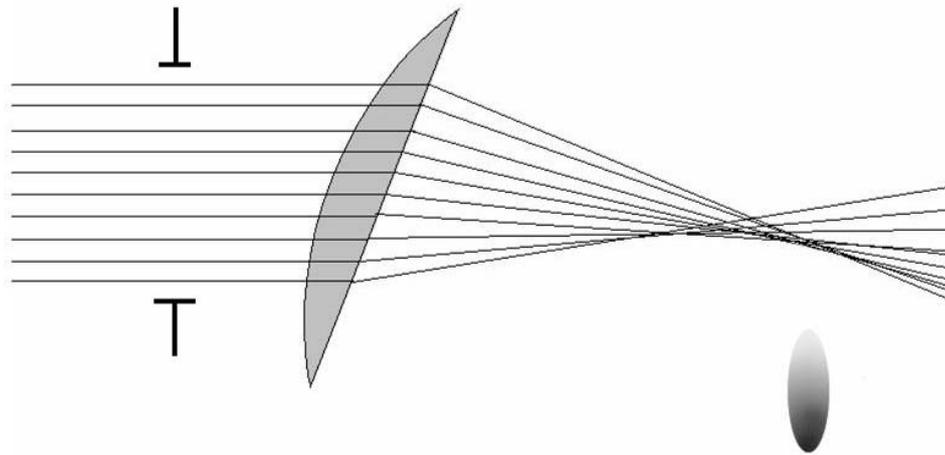


Abb. 8: Darstellung des Brechungsfehlers „Coma“, modifiziert nach LACHENMAYR¹¹⁶. Parallele Strahlen werden nicht auf einen Punkt gebündelt, sondern verwischt dargestellt.

Bei der Coma handelt es sich um eine asymmetrische Verteilung des Brechwertes entlang einer durch das Pupillenzentrum verlaufenden Achse. Entsprechend ist die Wellenfront asymmetrisch gekrümmt. Ein Lichtpunkt im Unendlichen wird mit einem Lichtschweif bzw. als Komet mit einem Schweif gesehen.³⁵ Ist eine implantierte Kunstlinse nun verkippt, so kann ein veränderter Brechwert resultieren und es kommt zu einer asymmetrischen Verzeichnung des Bildes. Die Coma wurde von uns mit der mittels Scheimpflug-Kamera gemessenen Verkipfung der Linse verglichen. Das verwendete ZywaveTM II Aberrometer (Technolas GmbH, Feldkirchen) arbeitet mit dem von LIANG et al. verbesserten Hartmann-Shack-Sensor.¹²² Er funktioniert nach dem Prinzip der Umkehrung von Objekt- und Bildebene. Ein mit einem Laser auf der Netzhaut erzeugter Punkt gilt als „Objekt“ für das Aberrometer. Das von diesem Punkt ausgehende Licht wird durch eine Mikrolinsenmatrix in ein Punktmuster aufgeteilt und das entstandene Bild von einer CCD-Kamera aufgefangen. Bei einer perfekten Optik und einer planen Wellenfront besteht zwischen den einzelnen Punkten ein regelmäßiger Abstand.³⁵ Aus der Abweichung der tatsächlichen Lage der Punkte im Bild der CCD-Kamera vom Idealmuster kann der Wellenfrontfehler des Auges aus der Differenz zur idealen Wellenfront berechnet werden. Die Rohdaten werden zur Beschreibung der

Wellenfrontdeformation durch die von dem niederländischen Mathematiker und Physiker FRITS ZERNICKE (1888-1966) formulierten Kreispolynomen berechnet.²³⁹ Dadurch lässt sich der Wellenfrontfehler mathematisch in einzelne Bestandteile zerlegen. Diese bauen aufeinander auf. Ein zweifaches Indexschema (Z_n^m) erlaubt die eindeutige Nomenklatur eines jeden Polynoms, hierbei beschreibt „n“ die radiale Ordnung (polynomische Komponente) und „m“ die Winkelfrequenz (Sinus- oder Cosinus-Komponente).²¹⁵

Die Wellenfrontaufnahme ist eine Momentaufnahme, die von unterschiedlichen Parametern und Schwankungen, wie z.B. dem Aufriss des Tränenfilms, Mikrofluktuationen der Akkommodation und sogar der Herzfrequenz abhängig ist.^{105,145,157,240} Eine besondere Rolle spielt die Pupillenweite. Mit zunehmender Pupilleweite nehmen die Wellenfrontdeformationen zu. Deshalb ist für eine Wellenfrontaufnahme mit dem Zywave™ II eine Pupillenweite von mindestens 6 mm notwendig.

2.4.7 Beurteilung des Nachstars

Unter einem Nachstar versteht man die Trübung der nach Kataraktoperation im Auge verbliebenen Linsenkapsel. Die Beurteilung des Nachstars erfolgte nach subjektiven Kriterien anhand der klinischen Untersuchung mit der Haag-Streit-Spaltlampe BQ 900 (Haag-Streit Deutschland GmbH, Wedel). Dabei wurde zunächst untersucht, ob eine Nd:YAG-Kapsulotomie bereits erfolgt war oder nicht. Dem zentralen Nachstar wurden nach seiner visuslimitierenden Relevanz folgende Werte zugewiesen: 1 = Keine Trübung der Hinterkapsel, 2 = Geringe Kapseltrübung, 3 = Mäßige Kapseltrübung, 4 = Starke Kapseltrübung. Beurteilungen peripherer Trübungen der hinteren Kapsel erfolgten dabei nicht. Auch wenn die YAG-Kapsulotomierate nach Kataraktoperation in den letzten Jahren kontinuierlich zurückgegangen ist, ist der Nachstar nach wie vor die häufigste Komplikation nach der Katarakt-Operation.^{6,138} Ursache für den Nachstar sind die Linsenepithelzellen, die nach Entfernung der Linse inwändig angelagert im Kapselsack zurückbleiben.⁵⁶ Diese gliedern sich in 2 Subpopulationen. Die regenerativen Linsenepithelzellen, die sich am Linsenäquator befinden, sind gekennzeichnet durch das ausgeprägte Vermögen, zu proliferieren und auf der Hinterkapsel zentralwärts zu migrieren. Gelingt es ihnen, die Grenze zwischen Hinterkapsel und Kunstlinse zu überwinden, bilden sie bei engem Spaltraum flächige und optisch homogene Synzytien, die das Sehvermögen nur wenig beeinträchtigen, bei weitem Spaltraum ein- oder mehrschichtige Konglomerate aus so genannten Elschnig-Perlen.¹⁹⁷ Die anterioren Linsenepithelzellen sind dem vorderen Kapselblatt angelagert. Deren Migrationsfähigkeit ist im Vergleich zu der regenerativen Linsenepithelzellen vermindert. Sie neigen jedoch zur myofibrillären Transformation mit Ausbildung intrazellulärer kontraktile Fibrillen und Ausscheidung von Kollagen.¹³⁷ Folge dieser Umwandlung sind die Weißfärbung und

Kontraktion der Kapsel.¹⁴⁰ Die Nachstargefahr kann durch Implantation einer geeigneten Kunstlinse in den Kapselsack vermindert werden.^{8,158}

Es gibt verschiedene Faktoren, die die Nachstarentstehung beeinflussen. Einen nicht unerheblichen Einfluss hat die Operationstechnik. Zunächst muss die Hinterkapsel gesäubert werden.¹³⁶ Die Kapsulorhexis überlappt den Optikrand im Idealfall um 0,5 mm, damit Vorder- und Hinterkapsel miteinander verkleben können und so eine Migrationsbarriere bilden.^{96,135} Auch das Material der Intraokularlinse scheint einen Einfluss auf die Nachstar-Entwicklung zu haben. So haben hydrophobe Acryl-Linsen eine signifikant geringere Nachstar-Rate als PMMA-Linsen.^{32,34,133,162,200} Linsen mit Plattenhaptik scheinen die Nachstar-Entstehung zu begünstigen.^{161,166,211} Die Arbeitsgruppe um NISHI demonstrierte im histopathologischen Bild einer tierexperimentellen Studie, dass sich eine steile Abknickung der Hinterkapsel an der hinteren scharfen Optikkante der Linse AcrySof® (Alcon® Pharma GmbH) bildet und dadurch die Migration der Linsenepithelzellen offensichtlich dort gehemmt wird.¹⁶⁵ Der Einfluss der scharfen Hinterkante auf die Entstehung des Nachstars wurde in mehreren Studien bei verschiedenen Linsen bewiesen.^{12,34,114,151,159,160,163,168} Dies bedeutet, dass, je schärfer die Kante der Linse ist, umso steiler ist der Kapselknick und umso höher der präventive Effekt. Als Ursache für die Migrationshemmung wird einerseits eine Kontaktinhibierung an der Knickstelle diskutiert, andererseits, dass der Kontaktdruck die Migration der Linsenepithelzellen stoppt.^{25,149,159,167}

Bei Einschränkung des Sehvermögens ist eine Nd:YAG-Kapsulotomie, in ausgeprägten Fällen sogar ein operativer Eingriff notwendig. Derartige Operationen verursachen einerseits dem Gesundheitswesen Kosten und setzen andererseits den Patienten der Gefahr von Komplikationen aus.²⁰⁹ Nach einer Nd:YAG-Kapsulotomie kann es neben dem vermehrten Auftreten einer Ablatio retinae, eines zystoiden Makulaödems oder eines Druckanstieges zu einer Beschädigung der Linse kommen.¹⁷

Die jährlichen Kosten für die Nachstarbehandlung betragen nach MENAPACE in den USA jährlich ca. 500.000.000 US\$.¹³⁸ Dies erklärt die wirtschaftliche Bedeutung der Nachstarprophylaxe und somit auch die Wichtigkeit des Linsendesigns und der OP-Technik.

2.5 Statistische Verfahren

Die statistische Auswertung und Erstellung der Grafiken erfolgte mit dem Programm SPSS® 16.0 (SPSS GmbH Software, München). Die Berechnung der Daten wurde von Frau Dipl.-Ing. (FH) Stephanie Lange (Studien- & Projektmanagement – Clinical Research, Pettenkofer Str. 16-18, 10247 Berlin) übernommen.

Der verwendete *Kolmogorov-Smirnov-Test mit Korrekturverfahren nach Lillifors* ist ein nicht-parametrischer Test auf Übereinstimmung zweier Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Dieser Test wurde zur Untersuchung auf Normalverteilung verwendet.

Der *t-Test für verbundene Stichproben* wurde bei jeweils 2 zu vergleichenden normalverteilten Grundgesamtheiten (Messreihen) verwendet, um vorhandene statistisch signifikante Unterschiede nachzuweisen. Lag keine Normalverteilung vor, wurde der parameterfreie *Wilcoxon-Test* für verbundene Stichproben durchgeführt. Hier erfolgt die Prüfung der Richtung (Vorzeichen) sowie der Größe (Betrag) des jeweiligen Messwerteunterschieds.

Mittels *Friedman-Test* können mehrere nicht-parametrische, verbundene Stichproben untersucht werden. Die *Varianzanalyse mit Messwiederholungen* ist ein Test mehrerer normalverteilter verbundener Stichproben.

Im Test auf Ausreißer werden die 5 größten und 5 kleinsten Werte angezeigt. Diese können in Boxplots grafisch dargestellt werden.

Mittels *Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman* (ρ) und *Korrelationskoeffizient nach Pearson* (p) wurde die Richtung (Vorzeichen) sowie die Stärke (Betrag) des Zusammenhangs zwischen 2 Stichproben untersucht. Der *Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman* ist eine statistische Maßzahl für den Zusammenhang zwischen 2 ordinalskalierten bzw. 2 nicht-normalverteilten intervallskalierten Variablen, bei denen die einzelnen Messwerte Rangplätzen zugeordnet werden, bevor die Analyse dieser erfolgt. Der *Korrelationskoeffizient nach Pearson* ist eine statistische Maßzahl für den Zusammenhang zwischen 2 normalverteilten intervallskalierten Variablen. Im Werteintervall $[-1,+1]$ entspricht ein negatives Ergebnis einem ungleichsinnigen sowie ein positives Ergebnis einem gleichsinnigen Zusammenhang. Des Weiteren ist der Zusammenhang umso stärker, je mehr das Ergebnis dem Betrag $|1|$ entspricht. Ein Korrelationskoeffizient von ± 1 entspricht einem 100%-igen Zusammenhang.

Für alle statistischen Verfahren wird ein Signifikanzniveau von $< 0,05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Visus und Refraktion

3.1.1 Visus

Der Mittelwert des unkorrigierten logVisus lag präoperativ bei $-0,87 \pm 0,58$ mit einem Minimum von $-2,0$ und einem Maximum von $-0,3$. Nach 6 Monaten postoperativ lag er bei einem Mittelwert von $-0,46 \pm 0,27$ mit einem Minimum von $-1,0$ und einem Maximum von $0,00$ sowie nach 3 Jahren bei einem Mittelwert von $-0,65$ mit einem Minimum von $-1,3$ und einem Maximum von $-0,1$. Dies entspricht dem Mittelwert des präoperativen unkorrigierten Visus von $0,13$ mit einem minimalen Visus von Handbewegung und einem Maximum von $0,5$. Nach 6 Monaten postoperativ entspricht der Wert dem Mittelwert des unkorrigierten Visus von $0,35$ mit einem Minimum von $0,1$ und einem Maximum von $1,0$, während 3 Jahre postoperativ der Mittelwert des unkorrigierten Visus bei $0,23 \pm 0,39$ mit einem Minimum von $0,10$ und einem Maximum von $1,2$ lag. Präoperativ im Vergleich zum Zeitpunkt 6 Monate postoperativ konnte ein statistisch signifikanter Unterschied des unkorrigierten logVisus nachgewiesen werden, im Vergleich des präoperativen unkorrigierten logVisus mit dem unkorrigierten logVisus 3 Jahre postoperativ ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied. Der unkorrigierte logVisus 6 Monate postoperativ unterschied sich statistisch signifikant von dem logVisus 3 Jahre postoperativ. Mittels *Rangkorrelation* fanden wir präoperativ im Vergleich zum unkorrigierten logVisus 6 Monate postoperativ eine geringe positive Korrelation von $22,6\%$, präoperativ im Vergleich zum unkorrigierten logVisus 3 Jahre postoperativ eine sehr geringe negative Korrelation und im Vergleich 6 Monate zu 3 Jahren postoperativ eine signifikante mittlere positive Korrelation von $59,5\%$.

Der Mittelwert des korrigierten logVisus lag präoperativ bei $-0,75 \pm 0,58$, 6 Monate postoperativ bei $-0,14 \pm 0,18$, nach 1 Jahr bei $-0,12 \pm 0,21$ und nach 3 Jahren bei $-0,21 \pm 0,31$. Dies entspricht einem Mittelwert des korrigierten Visus von präoperativ $0,18$ mit einem minimalen Visus von Handbewegung und einem Maximum von $0,63$. Nach 6 Monaten lag der korrigierte Visus bei einem Mittelwert von $0,72$ mit einem Minimum von $0,3$ und einem Maximum von $1,0$. Nach 1 Jahr postoperativ wurde der korrigierte Visus mit einem Mittelwert von $0,76$ mit einem Minimum von $0,3$ und einem Maximum von $1,25$ bestimmt. 3 Jahre postoperativ lag der korrigierte Visus bei einem Mittelwert von $0,62$ mit einem Minimum von $0,1$ und einem Maximum von $1,2$. Es konnten statistisch höchst signifikante Unterschiede mit $p=0,001$ zwischen dem präoperativen Zeitpunkt im Vergleich mit der Messreihe 6 Monate und 1 Jahr postoperativ sowie mit $p=0,007$ ein statistisch hoch signifikanter Unterschied präoperativ im Vergleich zu 3 Jahren postoperativ festgestellt werden. Mit dem *Rangkorrelationstest* konnte

eine signifikante mittlere positive Korrelation von 62,3% präoperativ im Vergleich zu 6 Monate postoperativ festgestellt werden, präoperativ im Vergleich zu 3 Jahren postoperativ fand sich eine geringe positive Korrelation von 21,8% und 6 Monate im Vergleich zu 3 Jahren postoperativ eine signifikante mittlere positive Korrelation von 66,3%. Präoperativ zu 1 Jahr postoperativ lag eine sehr geringe positive Korrelation von 12,2% vor.

Die Frage, ob sie nach der Operation am operierten Auge Halos bemerkt hätten oder ob sie vermehrt blendempfindlich seien, wurde von allen Patienten verneint.

3.1.2 Refraktion

Das sphärische Äquivalent ist der Wert, der aus der sphärischen und zylindrischen Korrektur unter Nichtbeachtung der Achsenlage des Astigmatismus resultiert. Es wurde berechnet, indem man den zylindrischen Wert halbiert und zum sphärischen Wert addiert. Das sphärische Äquivalent betrug präoperativ $-1,73 \pm 2,75$ dpt, postoperativ nach 6 Monaten $-1,12 \pm 1,20$ dpt, nach 1 Jahr $-1,08 \pm 1,56$ dpt und nach 3 Jahren $-0,80 \pm 1,50$ dpt. Abbildung 9 stellt die Entwicklung der Refraktion zu den 4 Messzeitpunkten für jeden Patienten einzeln graphisch dar.

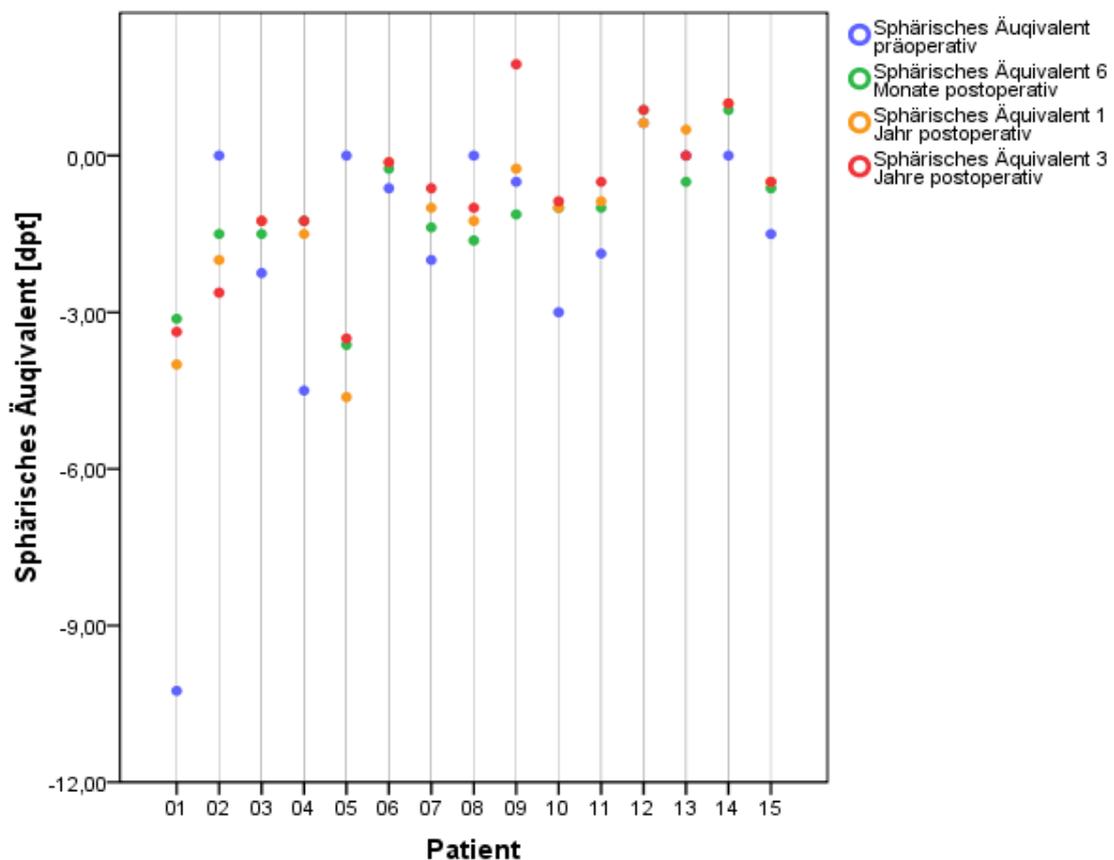


Abb. 9: Darstellung des sphärischen Äquivalents in Dioptrien präoperativ, 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ

Im Median zeigte sich das größere Ergebnis des sphärischen Äquivalents hingegen zu den postoperativen Untersuchungszeitpunkten nach 6 Monaten mit -1,13 dpt und nach 1 Jahr mit -1,00 dpt im Vergleich zum Untersuchungszeitpunkt präoperativ mit -0,63 dpt. Der Median der postoperativen Untersuchung nach 3 Jahren von -0,63 dpt entsprach dem der präoperativen Untersuchung. Postoperativ zeigten sich bei geringfügig mehr Patienten Verringerungen (nach 6 Monaten: n=8; nach 1 Jahr: n=9; nach 3 Jahren: n=8) als Vergrößerungen (nach 6 Monaten: n=7; nach 1 Jahr: n=5; nach 3 Jahren: n=5) des postoperativen sphärischen Äquivalents gegenüber dem präoperativen. Ein größeres postoperatives sphärisches Äquivalent wurde vorwiegend für die Patienten mit einem präoperativen sphärischen Äquivalent von 0,00 dpt festgestellt. Die größten Schwankungen zeigten sich für den Patienten 5, der präoperativ eine Emmetropie und postoperativ ein sphärisches Äquivalent von bis zu -4,62 dpt 1 Jahr postoperativ aufwies und nach 3 Jahren wieder bei -3,5 dpt lag.

Mittels *Test auf Ausreißer* wurde das sphärische Äquivalent des Patienten 5 innerhalb aller postoperativen Messreihen auffällig. Es entspricht stets dem kleinsten Extremwert, da der Patient ein myopes sphärisches Äquivalent bzw. den höchsten negativen myopen Messwert aufwies.

Das sphärische Äquivalent war präoperativ nicht normalverteilt, eine Normalverteilung war 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ nachzuweisen. Präoperativ konnte gegenüber den Messreihen der 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkte kein statistisch signifikanter Unterschied des sphärischen Äquivalents festgestellt werden. Auch mit dem *t-Test für abhängige Stichproben* war zwischen den 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkten kein statistisch signifikanter Unterschied nachweisbar. Mit dem *Rangkorrelationstest* konnten im Vergleich des sphärischen Äquivalents des präoperativen mit den 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkten nur geringe positive Korrelationen zwischen 29,2% (präoperativ – 6 Monate postoperativ) und 40,4% (präoperativ – 1 Jahr postoperativ) nachgewiesen werden. Mittels *Korrelationstest* konnte 6 Monate gegen 1 Jahr postoperativ mit 95,1% eine signifikant sehr hohe positive Korrelation, 6 Monate gegen 3 Jahre postoperativ mit 83,3% eine signifikant hohe positive und 1 Jahr gegen 3 Jahre postoperativ mit 91,5% eine signifikant sehr hohe positive Korrelation nachgewiesen werden. Unter Außerachtlassen des sphärischen Äquivalents von Patient 1 mit der höchsten Myopie prä- und einer hohen Myopie postoperativ sowie des Patienten 5 mit der höchsten Myopie postoperativ waren die Messreihen zu allen Zeitpunkten normalverteilt und die Messreihen zueinander nicht statistisch signifikant. Präoperativ gegen postoperativ ergaben sich geringe bis mittlere positive Korrelationen zwischen 37,6% (präoperativ vs. 3 Jahre postoperativ) und 52,6% (präoperativ vs 1 Jahr postoperativ), postoperativ zeigten sich im Vergleich der 3 Messwerte signifikante mittlere bis hohe positive Korrelationen zwischen 64,0% (6 Monate vs. 3 Jahre) und 88,5% (6 Monate vs.

1 Jahr). Abbildung 10 zeigt die Schwankungen der Refraktion zu den 4 Messpunkten im Boxplot.

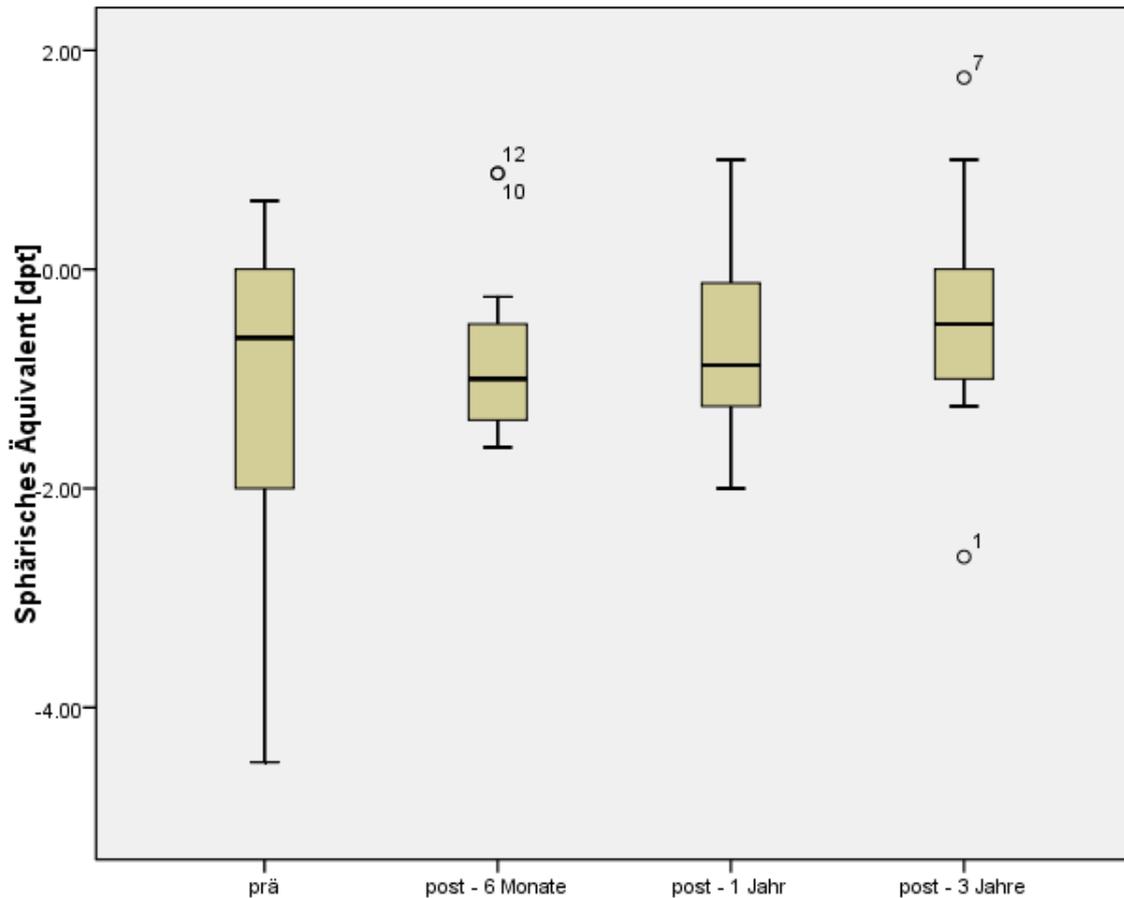


Abb.10: Darstellung der Schwankungen des sphärischen Äquivalents zu den 4 Messzeitpunkten

Die mit dem IOLMaster® berechnete Refraktion lag im Mittel bei $-0,54 \pm 1,16$ dpt. Die Abweichung der über die 3 Zeitpunkte gemittelten erreichten postoperativen Refraktion von der mit dem IOLMaster® berechneten Refraktion betrug $0,46 \pm 1,37$ dpt. Ohne Patient 5, der mit 3,91 dpt die höchste Abweichung des berechneten von dem gemittelten erreichten postoperativen sphärischen Äquivalent aufwies, lag die Differenz des berechneten sphärischen Äquivalents und des erreichten sphärischen Äquivalents im Mittel bei $0,22 \pm 1,01$ dpt.

3.2 Vorderkammertiefe

Die Vorderkammertiefe betrug postoperativ nach 6 Monaten $3,97 \pm 0,46$ mm (Minimum 2,68 mm; Maximum 4,61 mm), nach 1 Jahr $3,86 \pm 0,33$ mm (Minimum 2,72 mm; Maximum 4,12 mm) und nach 3 Jahren $3,85 \pm 0,35$ mm (Minimum 2,65 mm; Maximum 4,15 mm). Die geringste Vorderkammertiefe wies zu allen 3 Untersuchungszeitpunkten der Patient 5 mit

Werten zwischen 2,65 mm und 2,72 mm auf. Die Vorderkammertiefe wird in Abbildung 11 für jeden Patienten zu den 3 postoperativen Messpunkten dargestellt.

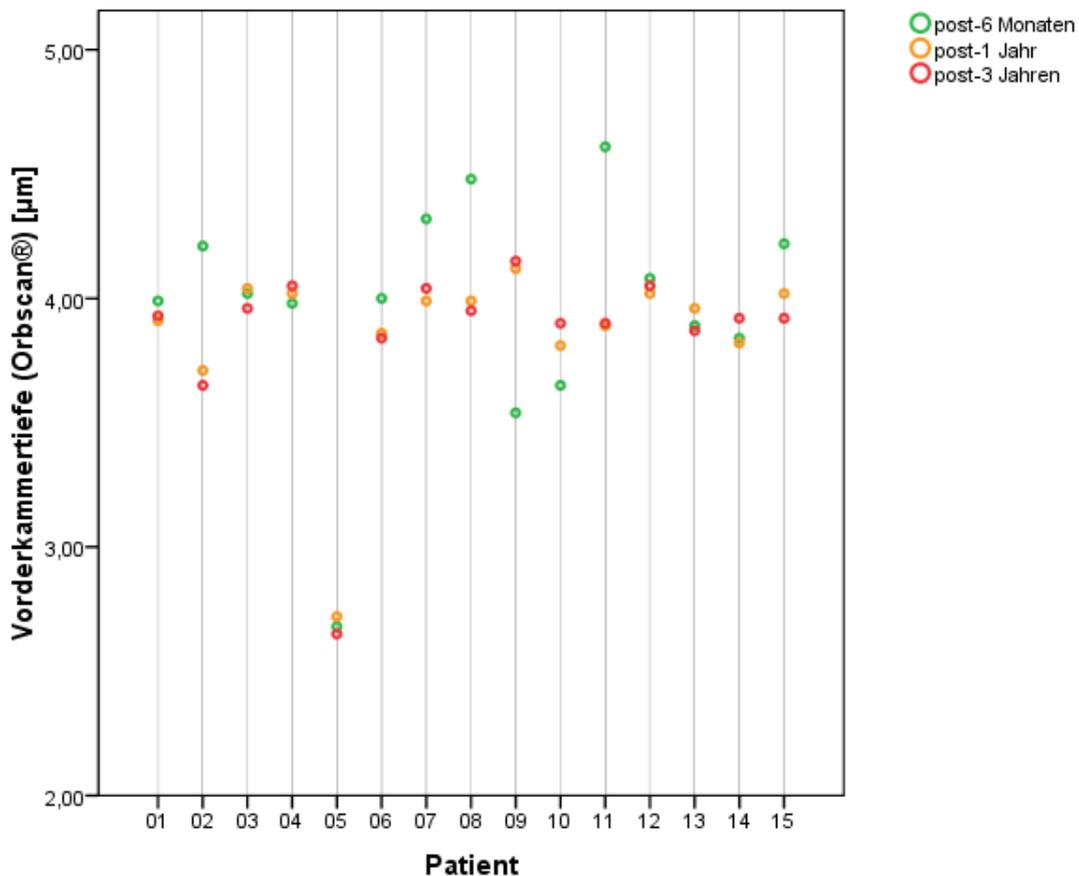


Abb. 11: Darstellung der Vorderkammertiefe in Millimetern, gemessen mit dem Orbscan[®], zu den Zeitpunkten präoperativ sowie 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ

Lediglich zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt nach 6 Monaten zeigten sich normalverteilte Messergebnisse ($p=0,151$). Die Messreihen der postoperativen Untersuchungszeitpunkte nach 1 Jahr und nach 3 Jahren wiesen hingegen keine Normalverteilung auf ($p=0,000$). Mittels *Wilcoxon-* sowie *Friedman-Test* wurde kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Messreihen der Vorderkammerabflachung der 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkte festgestellt ($p \geq 0,05$). Nach Aufteilung der Differenzen in negative und positive Ränge innerhalb der Durchführung des *Wilcoxon-Tests* ergaben sich für die Differenz 1 Jahr postoperativ minus 6 Monate postoperativ sowie für die Differenz 3 Jahre postoperativ minus 6 Monate postoperativ vorwiegend negative Ränge und somit größere Werte der Vorderkammertiefe für den postoperativen Untersuchungszeitpunkt von 6 Monaten gegenüber den beiden weiteren postoperativen Untersuchungszeitpunkten. Im Vergleich der postoperativen Messreihen der Untersuchungszeitpunkte 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ wurde eine annähernd gleiche Anzahl von positiven und negativen Rängen beobachtet. Innerhalb der Durchführung des *Friedman-Tests* wurden zusätzlich zur Statistik

dieses Signifikanztests die mittleren Ränge der Messreihen für die 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkte ermittelt. Hier wurde die geringfügige Abnahme der Vorderkammertiefe über die 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkte, wie bereits in der deskriptiven Statistik (Mittelwert, Median) ermittelt, bestätigt. Diese lag jedoch innerhalb der ermittelten Standardabweichungen. So zeigte sich im Mittel eine Verringerung der Vorderkammertiefe von 0,12 mm (Differenz zwischen den Mittelwerten) zwischen den Untersuchungszeitpunkten nach 6 Monaten mit 3,97 mm und nach 3 Jahren mit 3,85 mm. Zwischen den berechneten Medianen dieser beiden Untersuchungen wird lediglich eine Differenz von 0,08 mm ermittelt. Die postoperativen Messreihen wiesen jedoch Standardabweichungen zwischen 0,33 mm nach 1 Jahr und 0,46 mm nach 6 Monaten auf. Mittels *Rangkorrelationstest* ergaben sich zwischen den Vorderkammertiefe-Messreihen der postoperativen Untersuchungszeitpunkte nach 6 Monaten und 1 Jahr sowie nach 6 Monaten und 3 Jahren sehr geringe positive Korrelationen bzw. gleichläufige sehr schwache Zusammenhänge von weniger als 20,0% ($p \leq 0.2$). Zwischen den Messreihen der postoperativen Untersuchungszeitpunkte nach 1 Jahr und nach 3 Jahren wurde hingegen eine signifikante positive hohe Korrelation bzw. ein gleichläufiger starker Zusammenhang von 85,1% ermittelt.

3.3 Linsenverkipfung

Bei der Auswertung der Linsenverkipfung wurde prinzipiell der Betrag der Verkipfung bei 0° und 90° ausgewertet. Es wird also keine Richtung angegeben, in die die Linse verkippt ist.

3.3.1 Linsenverkipfung bei 0°

Die mittlere Verkipfung lag 6 Monate postoperativ bei $3,13 \pm 1,58^\circ$ mit einem Minimum von $0,38^\circ$ und einem Maximum von $6,28^\circ$. Nach 1 Jahr betrug der Mittelwert der Linsenverkipfung $3,06 \pm 1,20^\circ$ mit einem Minimum von $0,76^\circ$ und einem Maximum von $5,52^\circ$. 3 Jahre postoperativ lag die mittlere Verkipfung bei $4,08 \pm 2,62^\circ$ mit einem Minimum von $0,38^\circ$ und einem Maximum von $11,13^\circ$. Es lag eine Normalverteilung zu den 3 Untersuchungszeitpunkten vor. Zwischen den Messreihen der 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkte konnten keine signifikanten Unterschiede ($p \geq 0,05$) festgestellt werden. Der *Korrelationstest* ergab 6 Monate gegen 1 Jahr postoperativ eine signifikant positive mittlere Korrelation von 66,1% und 6 Monate gegen 3 Jahre (17,1%) sowie 1 Jahr gegen 3 Jahre (12,6%) sehr geringe positive Korrelationen. Abbildung 12 zeigt den Boxplot der 3 Untersuchungszeitpunkte zur Darstellung der Ausreißer des Patienten 4 mit einer Linsenverkipfung von $0,76^\circ$ nach 1 Jahr, Patient 14 mit einer Linsenverkipfung von $5,52^\circ$ nach 1 Jahr und Patient 15 mit einer Linsenverkipfung von $11,13^\circ$ nach 3 Jahren.

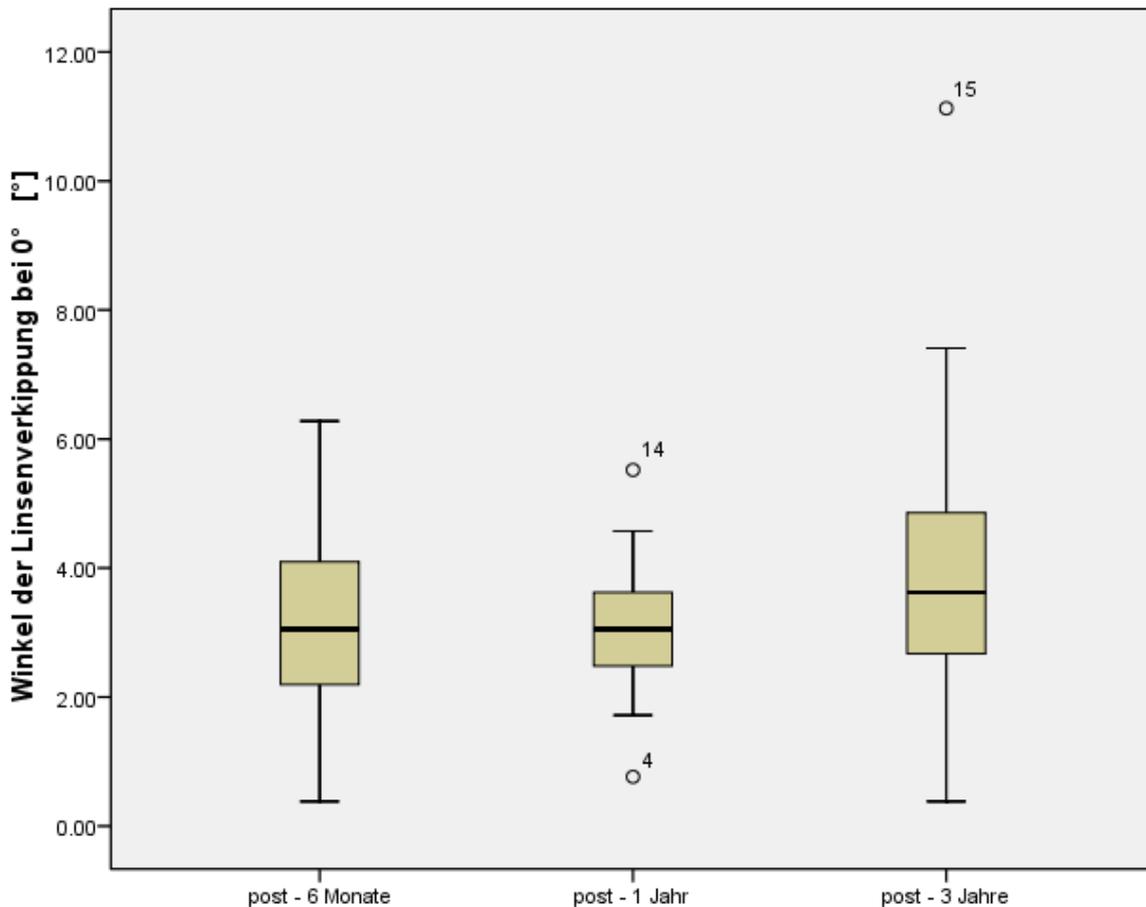


Abb. 12: Linsenverkipfung in Grad als Boxplot bei 0° zur Darstellung der Ausreißer zu den 3 postoperativen Messzeitpunkten

Unter Ausschluss der Patienten 4, 14 und 15 konnte bei Normalverteilung zwischen den Messreihen der 3 Messzeitpunkte ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Mittels *Korrelationstest* konnte eine signifikant hohe positive Korrelation mit 73,9% im Vergleich 6 Monate gegen 1 Jahr, eine signifikant mittlere positive Korrelation von 69,2% im Vergleich 6 Monate gegen 3 Jahre und eine geringe positive Korrelation von 32,4% im Vergleich 1 Jahr gegen 3 Jahre festgestellt werden.

Abbildung 13 stellt die Verkipfung der Intraokularlinse zu den 3 Untersuchungszeitpunkten für jeden Patienten einzeln dar.

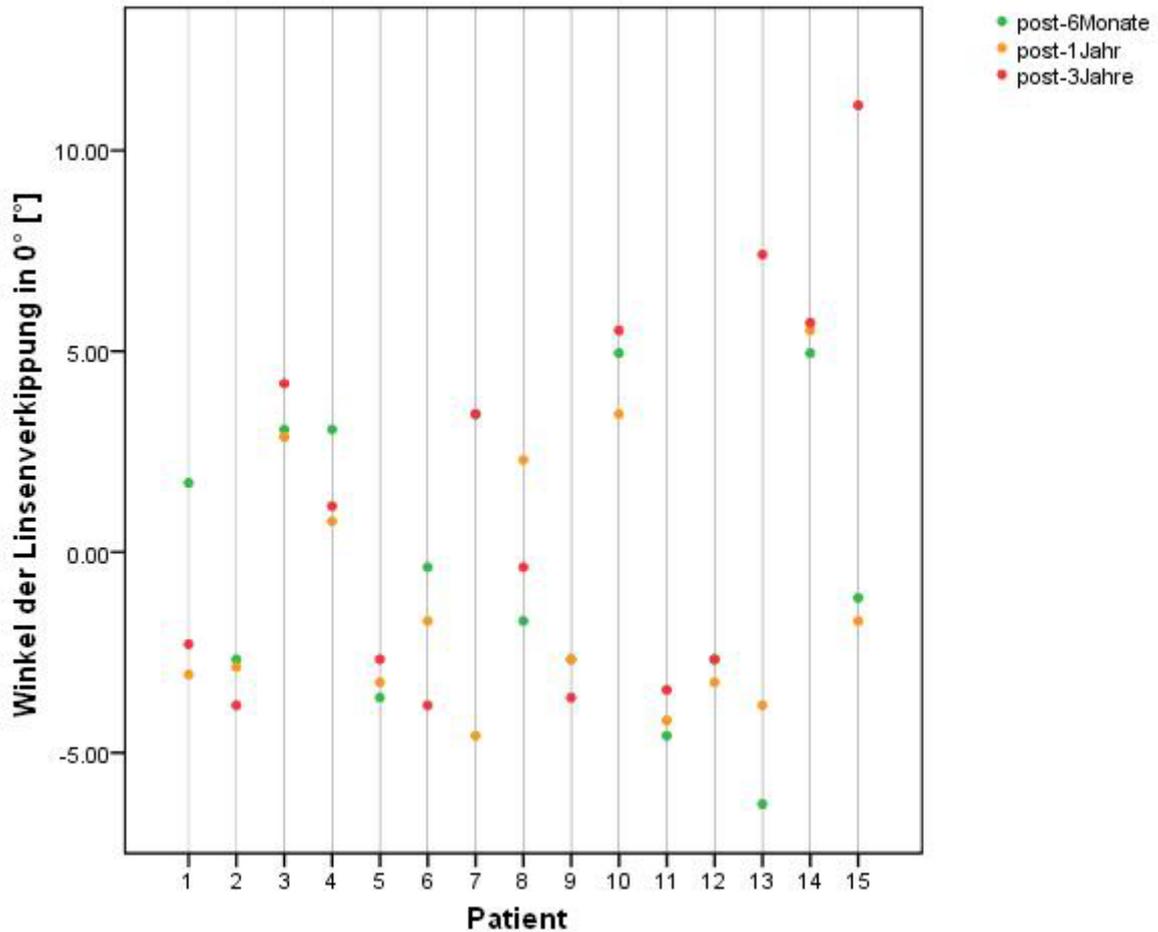


Abb. 13: Darstellung des Winkels der Linsenverkipfung bei 0° in Grad zu den einzelnen Messzeitpunkten für alle 15 Patienten

3.3.2 Linsenverkipfung bei 90°

Die mittlere Verkipfung der Intraokularlinse lag 6 Monate postoperativ bei $1,68 \pm 0,93^\circ$ mit einem Minimum von $0,19^\circ$ und einem Maximum von $3,81^\circ$. Nach 1 Jahr betrug die Verkipfung der Linse im Mittel $4,71 \pm 5,57^\circ$ mit einem Minimum von $0,19^\circ$ und einem Maximum von $20,64^\circ$. Postoperativ nach 3 Jahren lag die mittlere Verkipfung bei $3,11 \pm 1,97^\circ$ mit einem Minimum von $0,57^\circ$ und einem Maximum von $7,78^\circ$. Im Vergleich 6 Monate gegen 1 Jahr und 1 Jahr gegen 3 Jahre wurde eine Normalverteilung gefunden, 6 Monate gegen 3 Jahre jedoch keine Normalverteilung. Mittels *Signifikanztests* ergaben sich zwischen der Messreihe des postoperativen Untersuchungszeitpunktes 6 Monate und denen der weiteren postoperativen Untersuchungszeitpunkte statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Die Unterschiede zwischen den Messreihen der postoperativen Untersuchungszeitpunkte 1 Jahr und 3 Jahre waren mit $p = 0,683$ statistisch signifikant. Mittels Signifikanztest konnte mit $p = 0,008$ im Vergleich der 3 postoperativen Messreihen ein statistisch hoch signifikanter Unterschied gefunden werden. Der *Rangkorrelationstest* ergab im Vergleich 6 Monate gegen 1

Jahr sowie 1 Jahr gegen 3 Jahre und der *Korrelationstest* 6 Monate gegen 3 Jahre im Vergleich 6 Monate gegen 1 Jahr eine geringe positive Korrelation. Im Vergleich 6 Monate gegen 3 Jahre war mit -19,5% eine sehr geringe negative Korrelation und 1 Jahr gegen 3 Jahre mit 17,2% eine sehr geringe positive Korrelation nachweisbar. Abbildung 14 zeigt den Boxplot zur Darstellung der Ausreißer.

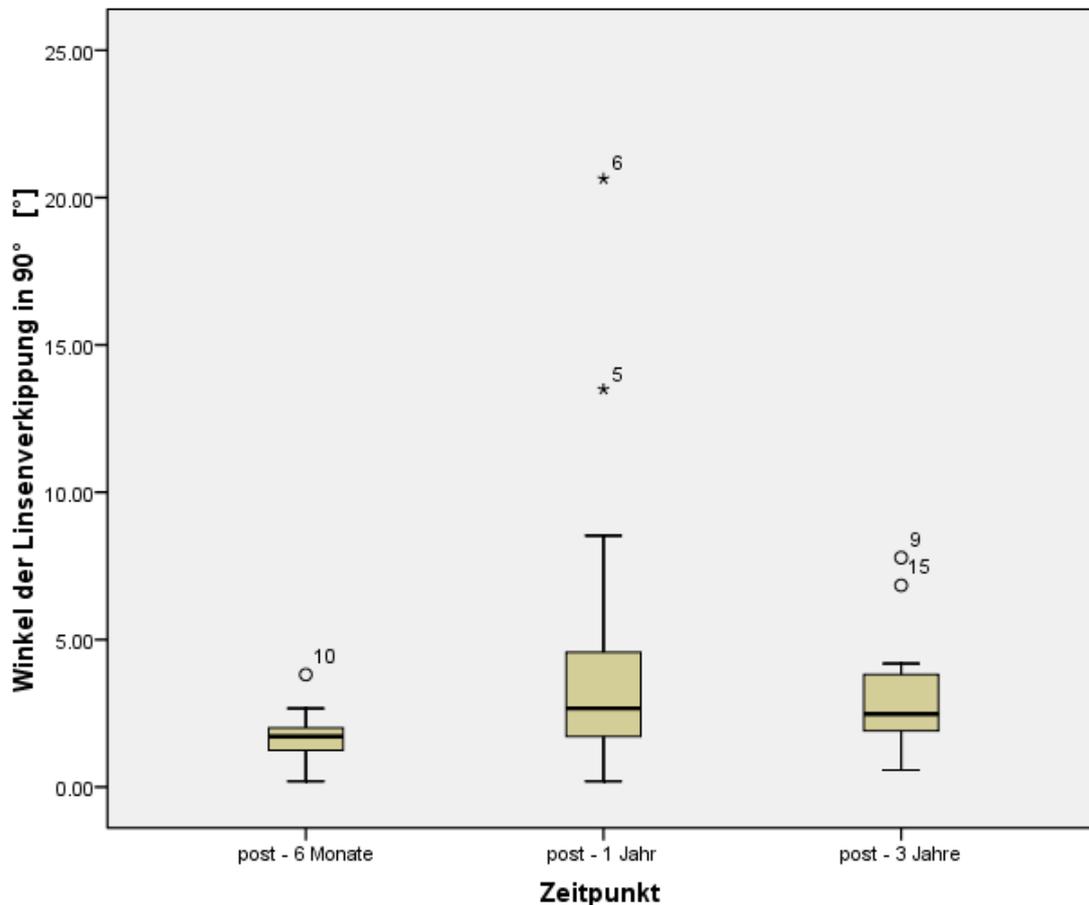


Abb. 14: Darstellung der Linsenverkipfung in Grad bei 90° zur Darstellung der Ausreißer zu den 3 postoperativen Messzeitpunkten

Auffällig waren unter anderem die Messergebnisse des Patienten 5 nach 1 Jahr mit 13,5°, des Patienten 6 nach 1 Jahr mit 20,64°, des Patienten 15 nach 3 Jahren mit 6,84° und des Patienten 9 nach 3 Jahren postoperativ mit 7,78°. Unter Ausschluss der Patienten 5, 6 und 15 ergibt sich im Vergleich der 3 postoperativen Messreihen kein statistisch signifikanter Unterschied, nach 6 Monaten postoperativ lag die Linsenverkipfung bei 90° im Mittel bei $1,54 \pm 0,98^\circ$ mit einem Minimum von $0,19^\circ$ und einem Maximum von $3,81^\circ$. Nach 1 Jahr betrug die Linsenverkipfung im Mittel $2,90 \pm 2,24^\circ$ mit einem Minimum von $0,19^\circ$ und einem Maximum von $8,53^\circ$. Der Mittelwert der Verkipfung nach 3 Jahren lag bei $2,76 \pm 1,85^\circ$ mit einem Minimum von $0,57^\circ$ und einem Maximum von $7,78^\circ$.

Im Vergleich 6 Monate gegen 1 Jahr ergibt sich mit 1,2% eine sehr geringe negative Korrelation, 6 Monate gegen 3 Jahre eine negative geringe Korrelation mit $-33,9\%$ und 1 Jahr gegen 3 Jahre eine signifikant positive mittlere Korrelation von $61,6\%$.

Abbildung 15 zeigt die einzelnen Messwerte der Verkipfung der Intraokularlinse bei 90° zu den 3 Messzeitpunkten für die einzelnen Patienten.

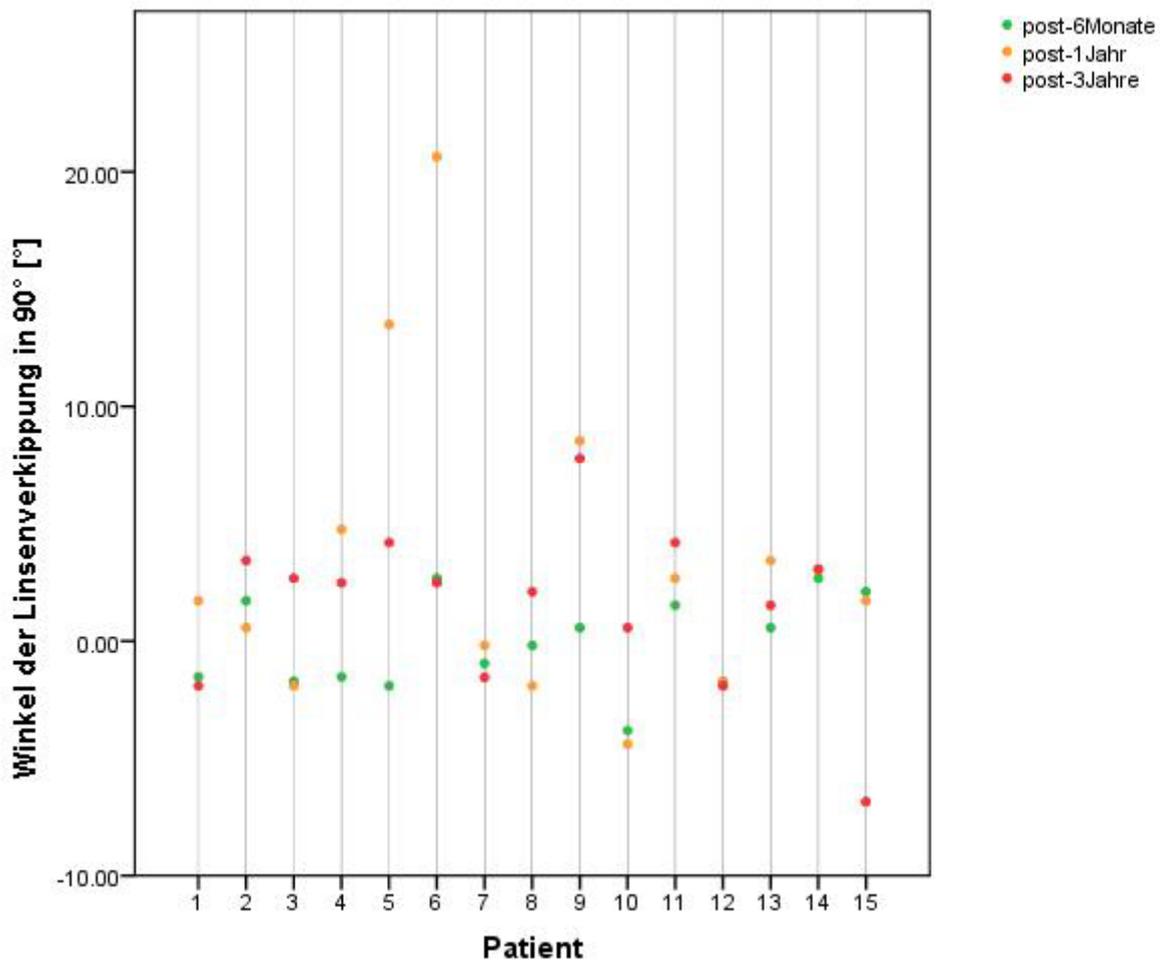


Abb. 15: Verkipfung der Linse bei 90° zu den 3 postoperativen Messzeitpunkten für die einzelnen Patienten

3.4 Retro-Illumineszenzaufnahme

Der Mittelwert des Linsenshifts lag 6 Monate postoperativ bei $0,25 \pm 0,20$ mm mit einem Minimum von $0,00$ mm und einem Maximum von $0,70$ mm. Nach 1 Jahr lag die Verschiebung im Mittel bei $0,26 \pm 0,17$ mm mit einem Minimum von $0,00$ mm und einem Maximum von $0,65$ mm. Postoperativ nach 3 Jahren betrug die Dezentrierung der Linse im Mittel $0,30 \pm 0,23$ mm mit einem Minimum von $0,00$ mm und einem Maximum von $0,90$ mm.

Die Werte des Linsenshifts der 3 Messzeitpunkte waren normal verteilt. Es konnte im Vergleich der 3 Messreihen kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der *Korrelationskoeffizient* zeigte im Vergleich 6 Monate zu 1 Jahr ($85,9\%$) und 1 Jahr zu 3 Jahren

(70,9%) eine signifikant hohe positive Korrelation sowie im Vergleich 6 Monate zu 3 Jahren eine signifikant mittlere positive Korrelation von 62,8%.

Abbildung 16 zeigt den Linsenshift als Boxplot zur Darstellung der Ausreißer.

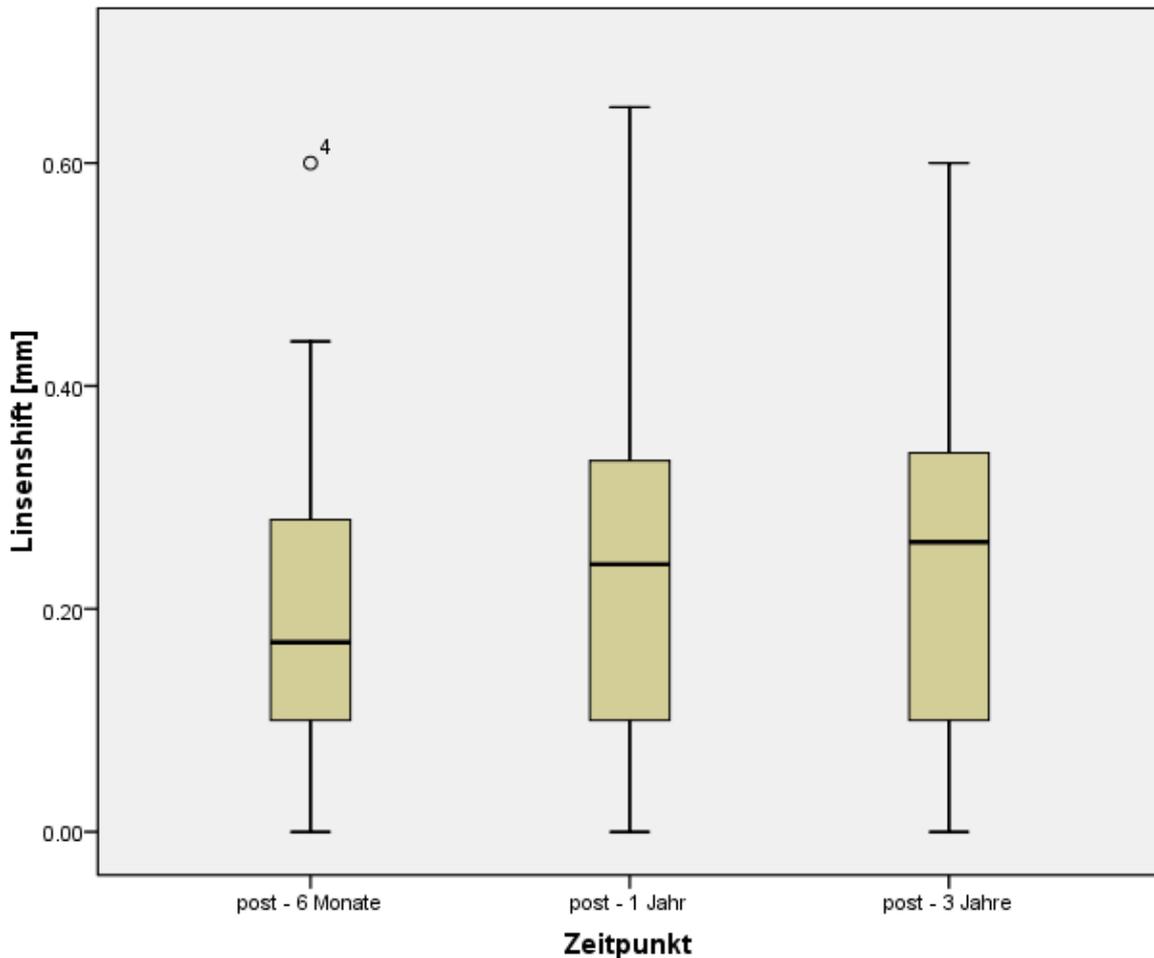


Abb. 16: Darstellung des Linsenshifts in Millimetern als Boxplot zur Darstellung der Ausreißer zu den 3 postoperativen Messzeitpunkten

Unter Ausschluss der Patienten 6 und 13 lag der Mittelwert des Linsenshifts nach 6 Monaten bei $0,21 \pm 0,17$ mm mit einem Maximum von 0,6 mm, nach 1 Jahr bei $0,24 \pm 0,17$ mm mit einem Maximum von 0,65 mm und nach 3 Jahren bei $0,25 \pm 0,17$ mm mit einem Maximum von 0,6 mm. Die minimale Dezentrierung betrug jeweils 0,00 mm. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den 3 Messzeitpunkten nachgewiesen werden.

Abbildung 17 zeigt den Linsenshift in Millimetern für die einzelnen Patienten.

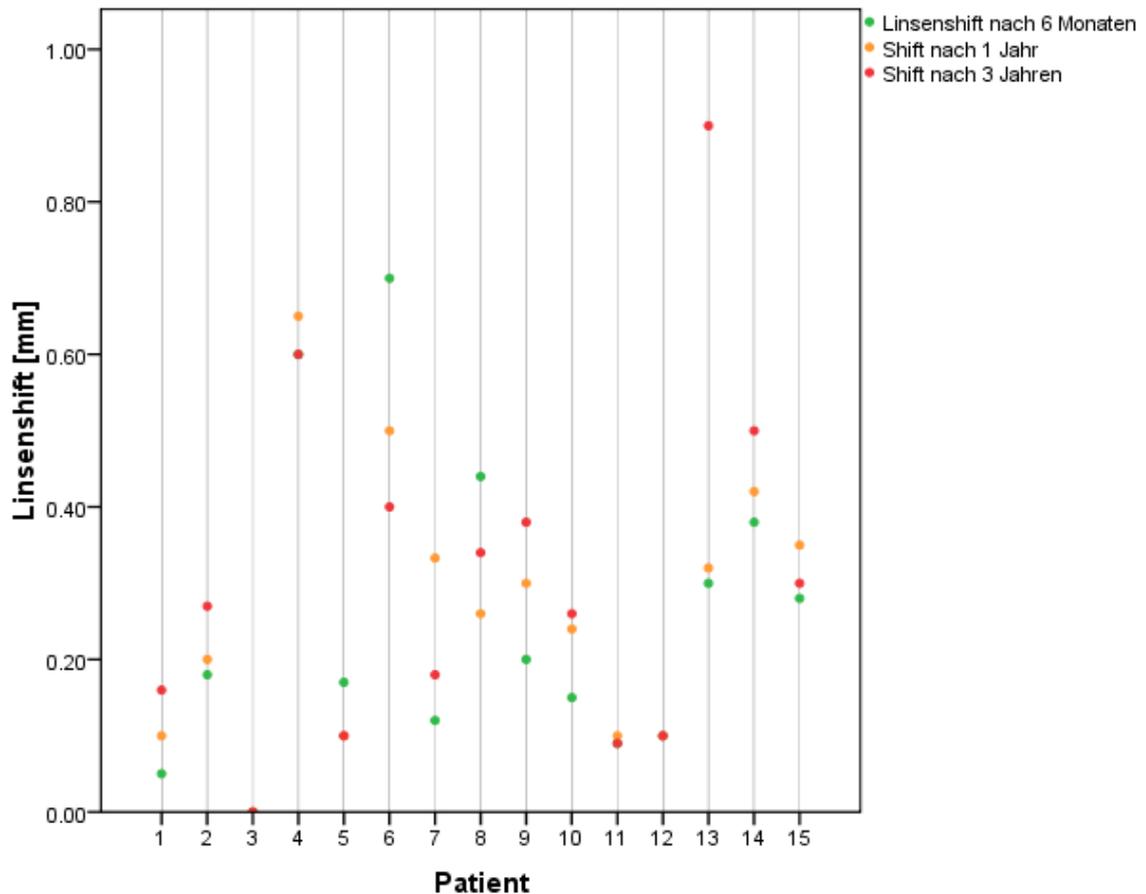


Abb. 17: Darstellung des Linsenshifts in Millimetern für jeden Patienten zu den 3 postoperativen Messzeitpunkten

3.5 Keratometrie

3.5.1 Keratometrie mit dem IOLMaster®

Die mittels IOLMaster® gemessenen mittleren Keratometerwerte betragen präoperativ $43,52 \pm 2,51$ dpt (Minimum 40,66 dpt; Maximum 48,22 dpt), postoperativ nach 6 Monaten $43,84 \pm 2,53$ dpt (Minimum 40,55 dpt; Maximum 48,64 dpt), nach 1 Jahr $43,63 \pm 2,55$ dpt (Minimum 40,52 dpt; Maximum 48,88 dpt) und nach 3 Jahren $43,48 \pm 2,31$ dpt (Minimum 40,54 dpt; Maximum 47,96 dpt). Im Vergleich der prä- und postoperativen Untersuchungen wurden vorwiegend höhere gemittelte Keratometerwerte zu den postoperativen Untersuchungszeitpunkten erfasst. Lediglich zum Untersuchungszeitpunkt nach 3 Jahren wurde ein etwas geringerer gemittelter Keratometerwert im Vergleich zum präoperativen Untersuchungszeitpunkt festgestellt.

Abbildung 18 zeigt die Keratometerwerte, gemessen mit dem IOL-Master, zu den Messzeitpunkten.

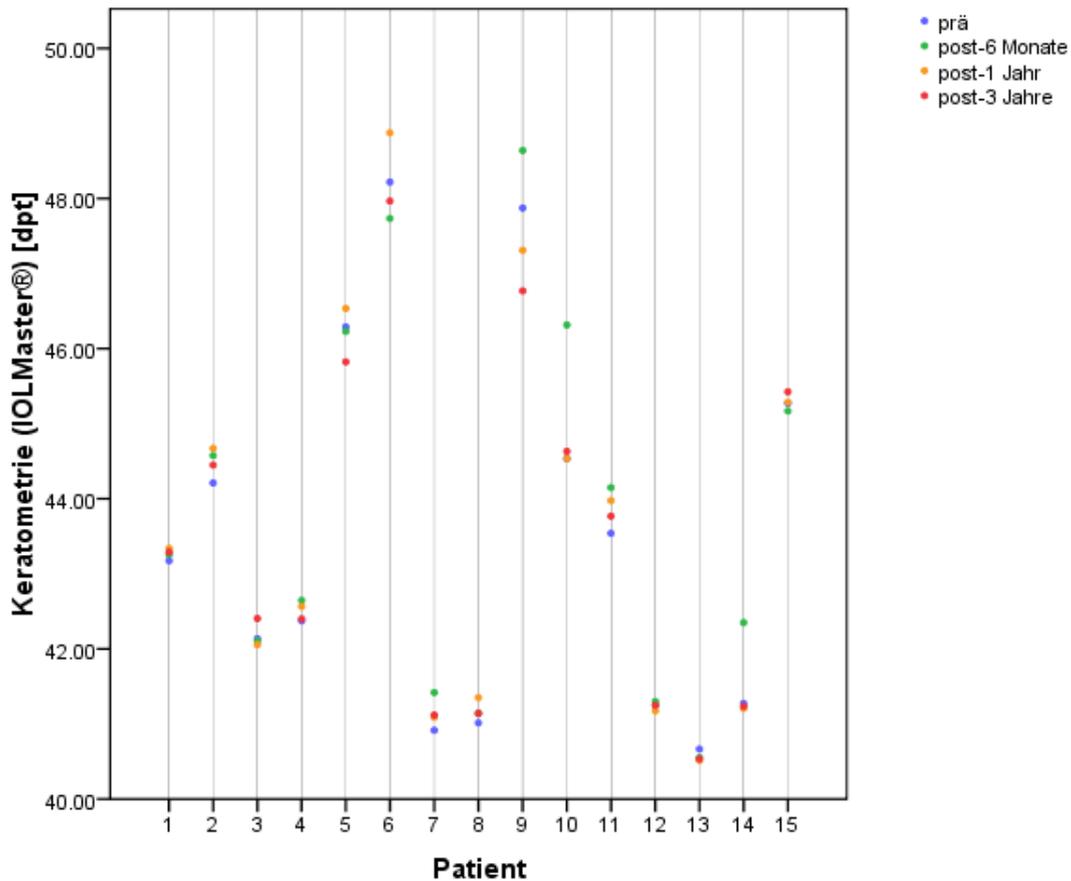


Abb. 18: Darstellung des gemittelten Keratometerwerts in Dioptrien präoperativ, 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ, gemessen mit dem IOLMaster®

Zwischen den gemittelten Messreihen zeigten sich gegenüber dem präoperativen zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt nach 6 Monaten $0,32 \pm 0,57$ dpt Unterschied (präoperativer Keratometerwert – Keratometerwert 6 Monate postoperativ: Median $-0,13$ dpt, Minimum $-1,78$ dpt; Maximum $0,48$ dpt). Die Differenz zwischen dem präoperativen und 1 Jahr postoperativen Keratometerwert lag bei $0,12 \pm 0,30$ dpt (präoperativer Keratometerwert – Keratometerwert nach 1 Jahr: Median $-0,17$ dpt, Minimum $-0,66$ dpt; Maximum $0,56$ dpt). Die Messreihe der postoperativen Untersuchungen nach 3 Jahren wies im Mittel gegenüber der Messreihe der präoperativen Untersuchung um $0,04 \pm 0,36$ dpt niedrigere Keratometerwerte auf. Der Median ergab hingegen eine Erhöhung von $0,10$ dpt mit Differenzen der Keratometerwerte präoperativ – 3 Jahre postoperativ zwischen $-0,27$ dpt (Vergrößerung) und $+1,11$ dpt (Verkleinerung). Die Änderung des postoperativen gegenüber dem präoperativen „Net Astigmatismus“, also dem reinen Astigmatismus ohne Berücksichtigung der Achse, lag nach 6 Monaten bei $0,05 \pm 1,17$ dpt (Median $0,00$ dpt) (Änderung = postoperativ – präoperativ), nach 1 Jahr bei $0,13 \pm 0,97$ dpt (Median: $0,01$ dpt) und nach 3 Jahren bei $-0,19 \pm 0,80$ dpt (Median $0,00$ dpt). Es zeigte sich vorwiegend eine Abflachung zwischen $-0,13 \pm 0,32$ dpt (Median $-0,13$ dpt) zum Zeitpunkt 3 Jahre und $-0,58 \pm 0,95$ dpt (Median $-0,37$ dpt) zum

Zeitpunkt 6 Monate, also eine Abnahme des Betrages im Verlauf der postoperativen Zeitpunkte. Es wurde vorwiegend eine Achsenänderung nach 6 Monaten von $0,08 \pm 0,72$ dpt (Median $+0,05$ dpt), nach 1 Jahr von $0,18 \pm 1,16$ dpt (Median $0,00$ dpt) und nach 3 Jahren von $-0,11 \pm 0,92$ dpt (Median $0,02$ dpt) gefunden, somit im Mittelwert nach 3 Jahren eine Drehung im Uhrzeigersinn, wobei der Median eine geringfügige Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn vorgab. Die kleinen Mittelwerte und großen Standardabweichungen sprechen für eine erhebliche Streuung der Werte mit positiven und negativen Änderungen.

Zu allen erfolgten Untersuchungszeitpunkten zeigten sich normalverteilte Messergebnisse ($p \geq 0,05$). Es konnte lediglich für den Vergleich der präoperativen zur postoperativen Messreihe nach 6 Monaten eine Signifikanz ($p=0,044$) ermittelt werden. Alle weiteren Vergleiche wiesen nicht signifikante Unterschiede auf ($p \geq 0,05$).

Ebenso zeigte die einfache *Varianzanalyse mit Messwiederholungen* mit $p=0,085$ keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messreihen der prä- und postoperativen Untersuchungszeitpunkte auf. Mittels *Korrelationstest* ergaben sich zwischen den prä- und postoperativen Messreihen der Keratometrie jeweils signifikant positive sehr hohe Korrelationen mit 99,2% präoperativ versus 3 Jahre postoperativ bis 99,5% 1 Jahr postoperativ gegen 3 Jahre postoperativ.

Bei der Auswertung der beiden Keratometerwerte mit Berücksichtigung der Achse waren die Werte zu allen Zeitpunkten vorwiegend normalverteilt.

Mittels *Signifikanztest* wurden für die meridionalen Polarwerte vorwiegend sowie für die schrägen Polarwerte nichtsignifikante Unterschiede festgestellt. Lediglich im Vergleich der meridionalen Polarwerte des präoperativen und des postoperativen Zeitpunkts zu 6 Monate zeigte sich eine Signifikanz mit $p=0,023$.

3.5.2 Keratometrie mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]

Die mittels Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] gemessenen mittleren Keratometerwerte betragen präoperativ $43,97 \pm 2,83$ dpt (Minimum $40,68$ dpt; Maximum $50,00$ dpt), postoperativ nach 1 Jahr $44,15 \pm 2,90$ dpt (Minimum $40,62$ dpt; Maximum $49,75$ dpt) und nach 3 Jahren $43,95 \pm 2,56$ dpt (Minimum $40,62$ dpt; Maximum $49,31$ dpt). Die postoperativen Keratometerwerte waren im Mittel höher als die präoperativen Werte.

Zwischen den Messreihen zeigten sich gegenüber dem präoperativen Untersuchungszeitpunkt zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt nach 1 Jahr mit $0,18 \pm 0,60$ dpt (Keratometerwert präoperativ – 1 Jahr postoperativ: Median: $-0,13$ dpt, Minimum $-1,50$ dpt; Maximum $1,25$ dpt) höhere Keratometerwerte.

Die Messreihe der postoperativen Untersuchung nach 3 Jahren weist im Mittel gegenüber der Messreihe der präoperativen Untersuchung mit $0,02 \pm 0,75$ dpt kleinere Keratometerwerte auf.

Der Median hingegen ergibt eine Vergrößerung von 0,19 dpt mit Differenzen der Keratometerwerte „präoperativ – 3 Jahre postoperativ“ zwischen -0,63 dpt (Vergrößerung) und 2,19 dpt (Verkleinerung).

Es zeigten sich zu allen 3 erfolgten Untersuchungszeitpunkten normalverteilte Messergebnisse ($p \geq 0,05$). Für die prä- und postoperativen Messreihen wurden mit $p \geq 0,05$ jeweils nicht signifikante Unterschiede verzeichnet. Ebenso zeigte die *einfache Varianzanalyse mit Messwiederholungen* mit $p=0,453$ keine Signifikanzen zwischen den Messreihen der prä- und postoperativen Untersuchungszeitpunkte auf. Mittels *Korrelationstest* ergaben sich zwischen den prä- und postoperativen Messreihen der Keratometrie jeweils signifikant positive sehr hohe Korrelationen mit 96,7% präoperativ versus 3 Jahre postoperativ bis 98,3% postoperativ nach 1 Jahr versus 3 Jahre postoperativ.

Abbildung 19 zeigt die Keratometerwerte des Kerato-Refraktometers KR-7000P® zu den 3 Messzeitpunkten.

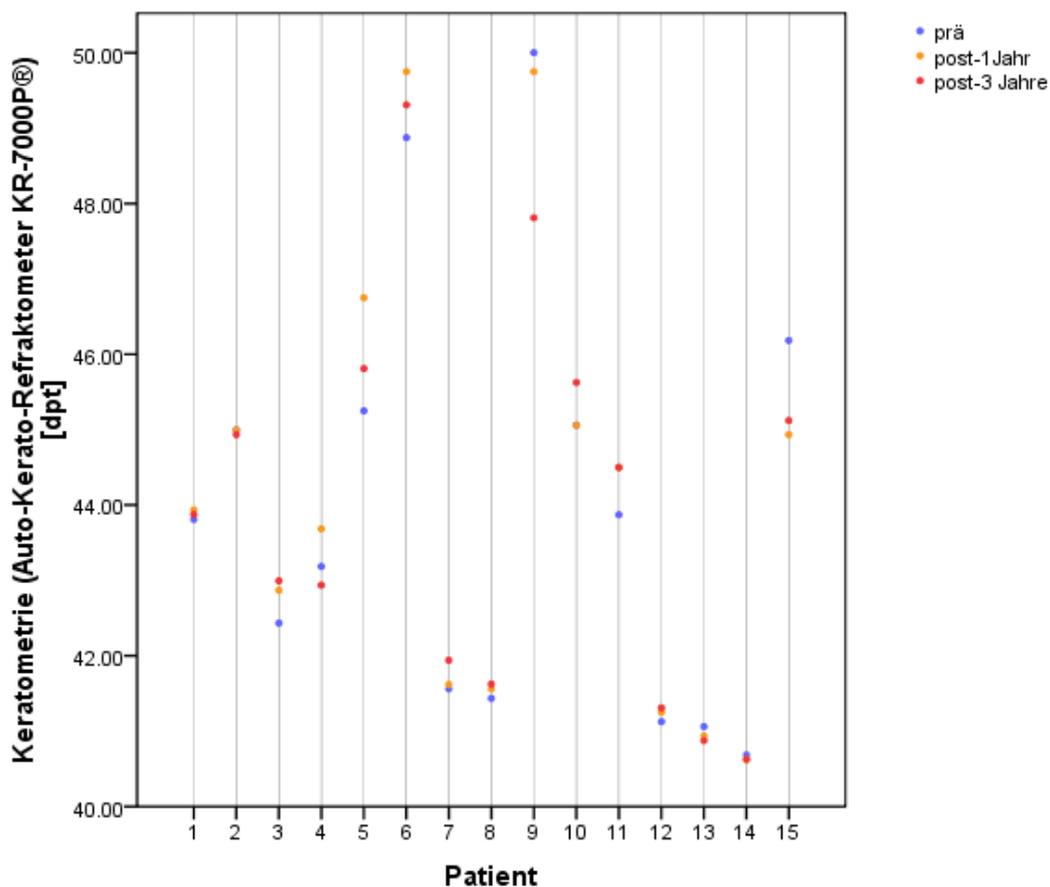


Abb. 19 Darstellung des gemittelten Keratometerwerts in Dioptrien präoperativ, 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ, gemessen mit dem Kerato-Refraktometer KR7000P®

3.5.3 Vergleich der Ergebnisse der gemittelten Keratometrie mittels IOLMaster[®] und Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]

Unter Anwendung des IOLMasters[®] wurden vorwiegend zu allen Untersuchungszeitpunkten kleinere Keratometerwerte erfasst als mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]. Im Mittel zeigten sich so Differenzen präoperativ zwischen dem IOLMaster[®] und dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] von $-0,45 \pm 0,71$ dpt (IOLMaster[®] - Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] präoperativ: Median $-0,53$ dpt, Minimum $-2,12$ dpt; Maximum $1,04$ dpt). Zum Untersuchungszeitpunkt nach 1 Jahr lag die Differenz zwischen dem IOLMaster[®] und dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] bei $-0,52 \pm 0,69$ dpt (IOLMaster[®] - Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] postoperativ nach 1 Jahr: Median $-0,53$ dpt, Minimum $-2,44$ dpt; Maximum $0,58$ dpt). Zum Untersuchungszeitpunkt nach 3 Jahren lag die Differenz der Keratometerwerte IOLMaster[®] - Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] bei $-0,47 \pm 0,52$ dpt (Keratometerwerte nach 3 Jahren IOLMaster[®] - Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]: Median $-0,54$ dpt, Minimum $-1,34$ dpt; Maximum $0,61$ dpt). Es zeigten sich zu allen 3 erfolgten Untersuchungszeitpunkten normalverteilte Messergebnisse ($p \geq 0,05$). Für die aufgestellten Vergleiche der präoperativen Messreihen sowie der postoperativen Messreihen nach 1 Jahr beider Geräte wurden signifikant unterschiedliche Messergebnisse verzeichnet ($p < 0,05$). Lediglich die Messreihen der postoperativen Untersuchung nach 3 Jahren wiesen im Vergleich der Ergebnisse des IOLMasters[®] mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] nicht signifikante Messergebnisse auf ($p \geq 0,05$).

Die erfassten Differenzen zwischen den Keratometer-Messreihen der beiden Geräte waren zu allen 3 Untersuchungszeitpunkten nicht signifikant ($p \geq 0,05$). Unter Anwendung des *Korrelationstests* ergaben sich zwischen den mittels IOLMaster[®] und Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] erfassten Keratometer-Messreihen signifikant positive sehr hohe Korrelationen zu allen 3 Untersuchungszeitpunkten mit 97,2% präoperativ bis 98,2% nach 3 Jahren.

Die berechneten Differenzen zwischen den Messreihen beider Geräte korrelierten positiv mittel ($r > 0,5$) bis hoch ($r > 0,7$) miteinander. Unter Anwendung des *Tests auf Ausreißer* fielen die Differenzen zwischen den Keratometrie-Messreihen mittels IOLMaster[®] und Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] (Keratometrie IOLMaster[®] - Keratometrie Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]) des Patienten 9 zu den Untersuchungszeitpunkten prä- und 1 Jahr postoperativ auf. Sie entsprach stets dem „kleinsten Extremwert“ bzw. der größten negativen Differenz (Keratometrie IOLMaster[®] < Keratometrie Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]).

Die Differenzen der Keratometrie-Messreihen mittels IOLMaster[®] und Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] (Keratometrie IOLMaster - Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]) des Patienten 14 wiesen hingegen bei nahezu allen 3 Untersuchungszeitpunkten die größte positive Differenz,

also den „größten Extremwert“ (Keratometrie IOLMaster[®] > Keratometrie Kerato-Refraktometer KR-7000P[®]) auf.

3.6 Aberrometrie

Bei Patient 5 und Patient 9 konnte zu keinem Zeitpunkt eine Aberrometrie durchgeführt werden, bei Patient 3 konnte nach 1 Jahr und nach 3 Jahren sowie bei Patient 4 nach 1 Jahr keine Wellenfrontbestimmung durchgeführt werden. Dementsprechend wurden 10 Augen in die statistische Beurteilung eingeschlossen. Bei Patient 5 konnte keine optimale Mydriasis erreicht werden, während die anderen Patienten unzureichend compliant waren.

3.6.1 Coma in der x-Achse (Coma x)

Abbildung 20 zeigt den Boxplot der Coma in der x-Achse zu den 3 Untersuchungszeitpunkten.

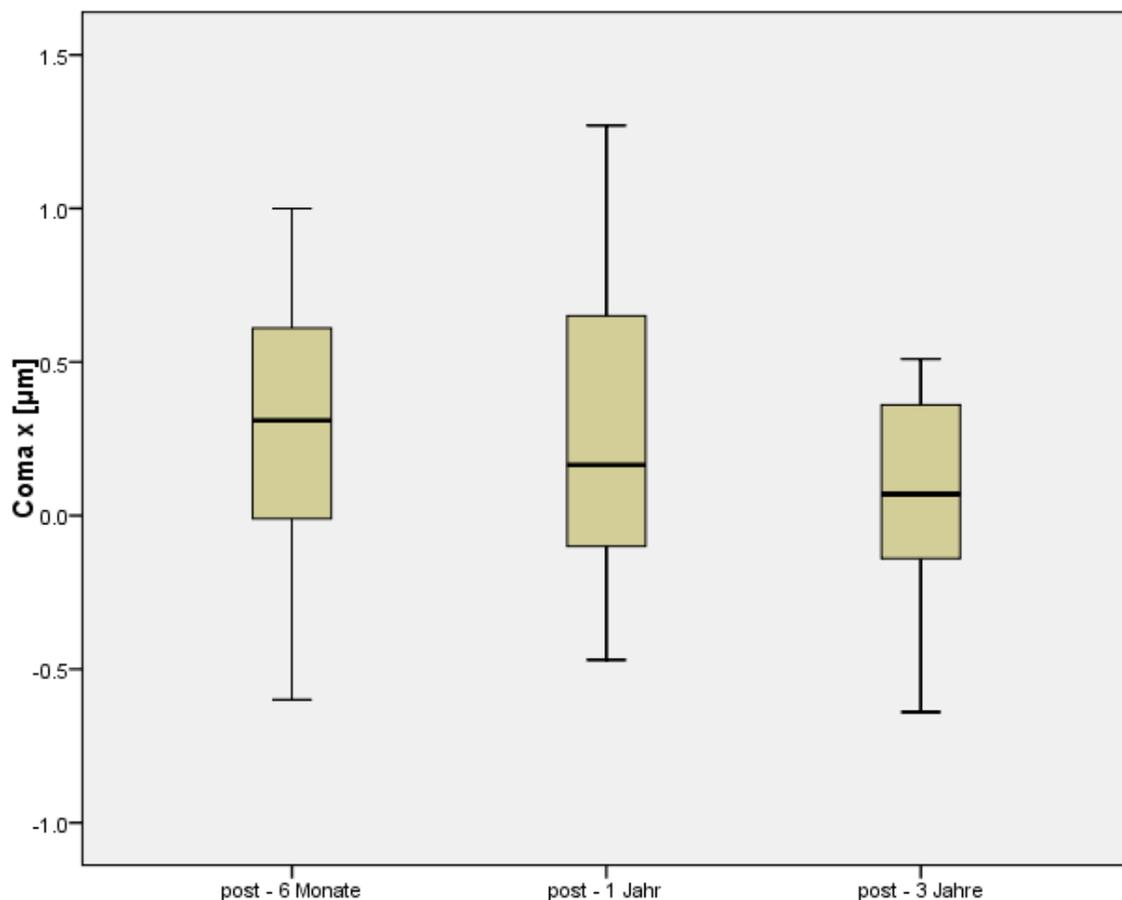


Abb. 20: Darstellung der Coma x in Mikrometern als Boxplot zu den 3 postoperativen Messzeitpunkten

Coma x betrug nach 6 Monaten im Mittel $0,29 \pm 0,46 \mu\text{m}$ mit einem Minimum von $-0,6 \mu\text{m}$ und einem Maximum von $1,00 \mu\text{m}$. Nach 1 Jahr lag Coma x im Mittel bei $0,27 \pm 0,51 \mu\text{m}$ mit einem

Minimum von $-0,47 \mu\text{m}$ und einem Maximum von $1,27 \mu\text{m}$. Nach 3 Jahren lag der Mittelwert der Coma x bei $0,07 \pm 0,35 \mu\text{m}$ mit einem Minimum von $-0,64 \mu\text{m}$ und einem Maximum von $0,51 \mu\text{m}$.

Bei Normalverteilung konnte zwischen den postoperativen Zeitpunkten 6 Monate und 1 Jahr mit $p=0,762$ und 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ mit $p=0,061$ kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Es ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied mit $p=0,014$ im Vergleich 6 Monate gegen 3 Jahre. Mit der *einfachen Varianzanalyse mit Messwiederholungen* konnte zwischen den Untersuchungszeitpunkten mit $p=0,047$ der Coma x ein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Mittels *Korrelationstest* konnte zwischen den 3 Untersuchungszeitpunkten signifikant hohe positive Korrelationen zwischen 82,3% (6 Monate vs. 1 Jahr) und 85,6% (1 Jahr vs. 3 Jahre) nachgewiesen werden.

3.6.2 Coma in der y-Achse (Coma y)

Coma y betrug nach 6 Monaten im Mittel $0,09 \pm 0,24 \mu\text{m}$ mit einem Minimum von $-0,29 \mu\text{m}$ und einem Maximum von $0,50 \mu\text{m}$. Der Mittelwert der Coma y lag nach 1 Jahr bei $0,09 \pm 0,30 \mu\text{m}$ mit einem Minimum von $-0,44 \mu\text{m}$ und einem Maximum von $0,39 \mu\text{m}$. Postoperativ nach 3 Jahren lag Coma y im Mittel bei $0,04 \pm 0,31 \mu\text{m}$ mit einem Minimum von $-0,39 \mu\text{m}$ und einem Maximum von $0,57 \mu\text{m}$. Zwischen den Messreihen der 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkte wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede gefunden. Mittels *Korrelationstests* konnten im Vergleich 6 Monate gegen 1 Jahr (86,7%) und 6 Monate gegen 3 Jahre (82,3%) postoperativ signifikant hohe positive Korrelationen nachgewiesen werden sowie zwischen den Zeitpunkten 1 Jahr gegen 3 Jahre eine signifikant sehr hohe positive Korrelation von 90,3%.

Abbildung 21 zeigt die Verteilung der Comawerte in der y-Achse für die 3 postoperativen Untersuchungszeiträume.

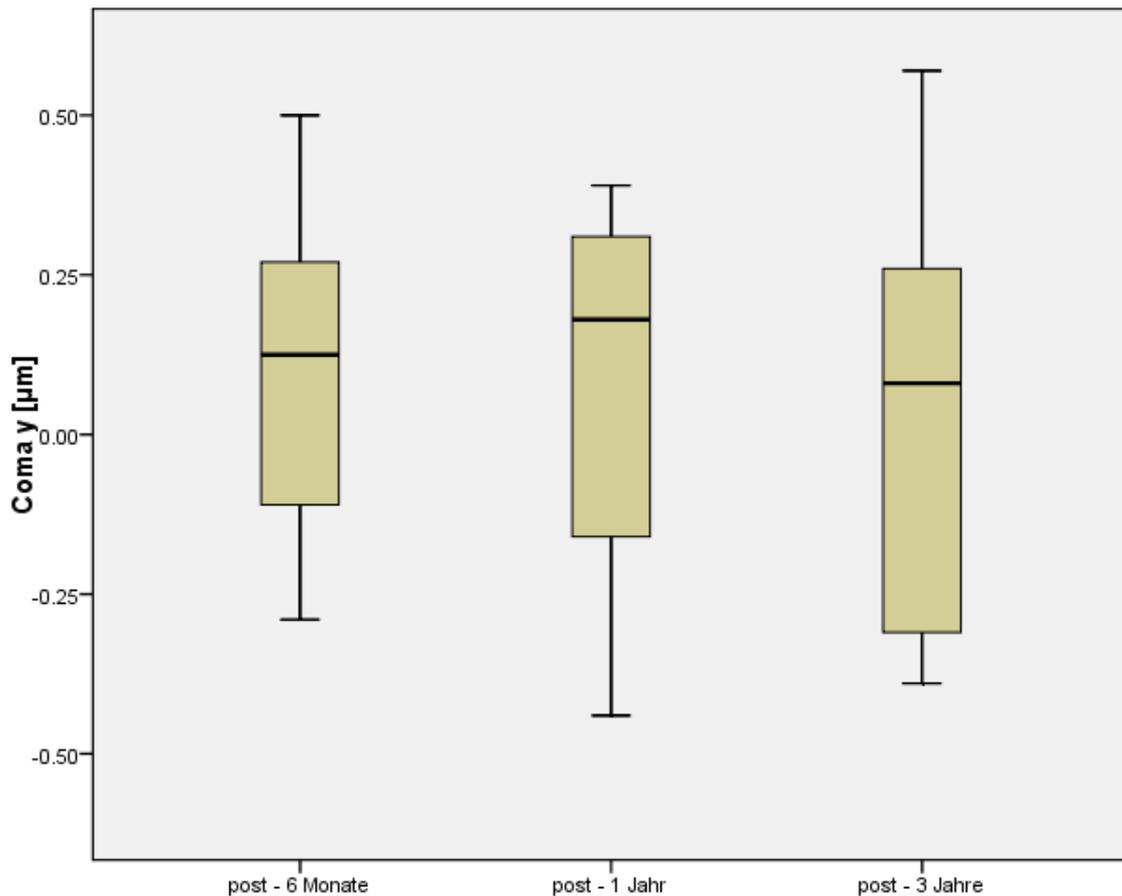


Abb. 21: Darstellung der Coma y in Mikrometern als Boxplot zu den 3 postoperativen Messzeitpunkten

3.6.3 Vergleich der Aberrometrie in der x-Achse mit der Linsenverkipfung bei 0°

Im Vergleich der Coma in der x-Achse mit der Linsenverkipfung bei 0° konnte zu den 3 Zeitpunkten kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Mittels *Korrelationstest* konnte nach 6 Monaten (-31,9%) und 3 Jahren (-44,9%) eine geringe negative Korrelation sowie nach 1 Jahr eine mittlere negative Korrelation (-53,9%) ermittelt werden.

Ohne die Ausreißer (Patienten 7, 13 und 15 wegen der Linsenverkipfung und Patient 9 und 5 wegen der Coma) konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied bestimmt werden. Mit dem Korrelationstest ergaben sich für den Zeitpunkt nach 6 Monaten eine signifikant negative mittlere Korrelation und für die Zeitpunkte 1 Jahr (-77,5%) und 3 Jahre (-85,8%) postoperativ signifikant hohe negative Korrelationen.

3.6.4 Vergleich der Aberrometrie in der y-Achse mit der Linsenverkipfung bei 90°

Im Vergleich der Coma in der y-Achse mit der Linsenverkipfung bei 90° ergab sich für die 3 Untersuchungszeitpunkte kein statistisch signifikanter Unterschied. Mittels *Korrelationstests* waren 6 Monate (-19,9%) und 1 Jahr (-8,5%) postoperativ eine sehr geringe negative

Korrelation und nach 3 Jahren eine signifikant hohe negative Korrelation (-80,9%) nachweisbar.

Ohne die Ausreißer (Patienten 6 und 15 wegen der Linsenverkipfung und Patienten 5 und 9 wegen der Coma-Daten) konnten ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Untersuchungszeitpunkten festgestellt werden. Mittels *Korrelationstest* war im Vergleich der Coma in der y-Achse und der Linsenverkipfung bei 90° eine geringe negative Korrelation nach 6 Monaten (-29,0%) und 1 Jahr (-23,7%) sowie eine signifikant hohe negative Korrelation (-70,8%) nach 3 Jahren nachweisbar.

3.7 Nachstar

Die Beurteilung des Nachstars erfolgte anhand subjektiver Kriterien. Der Nachstar ist in Abbildung 22 für die 3 postoperativen Untersuchungszeiträume grafisch dargestellt.

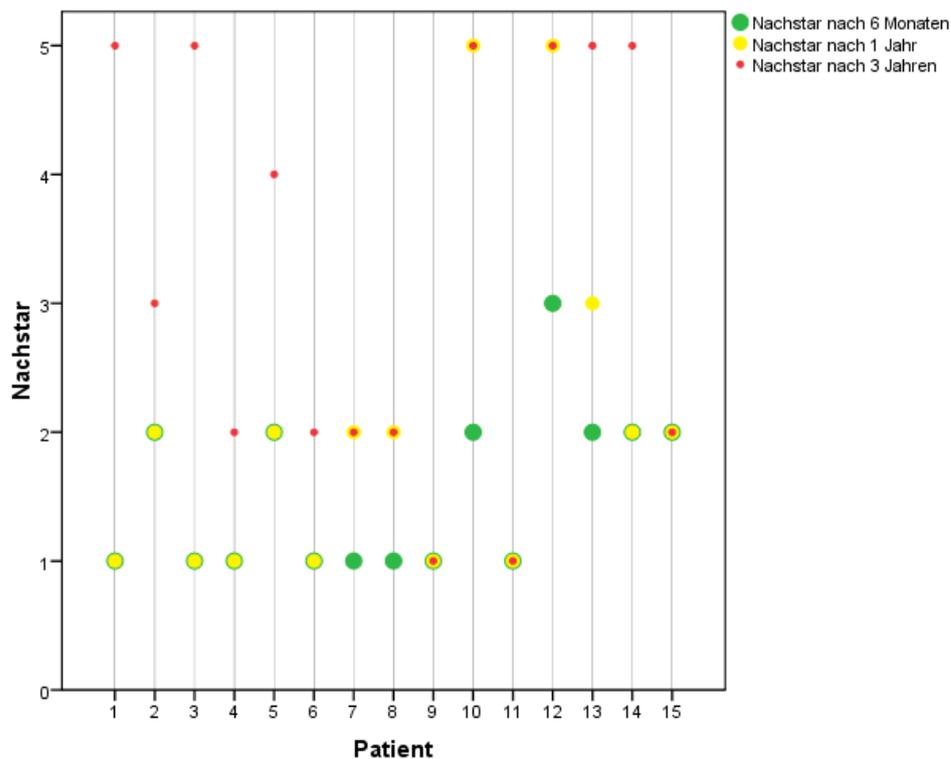


Abb. 22: Darstellung des Nachstars 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ (x-Achse). In der y-Achse ist der Nachstar wie folgt bewertet: 1 = kein Nachstar, 2 = geringer Nachstar, 3 = mäßiger Nachstar, 4 = starker Nachstar, 5 = Z.n. Nd:YAG-Kapsulotomie

Postoperativ war nach 6 Monate bei 53,3% der Augen (8 Augen) kein Nachstar, bei 40% (6 Augen) kaum eine Trübung der hinteren Kapsel und bei 6,7% (1 Auge) ein mäßiger Nachstar nachweisbar. Nach 1 Jahr wurde bei jeweils 40% der Augen (6 Augen) kein bzw. nur ein

geringer Nachstar gefunden, bei jeweils 6,7% (1 Auge) bestand eine mäßige Trübung der hinteren Kapsel und bei 13,3% (2 Augen) war eine Nd:YAG-Kapsulotomie durchgeführt worden. Nach 3 Jahren postoperativ hatten 13,3% (2 Augen) keine Trübungen der hinteren Kapsel, bei 33,3% (5 Augen) war ein geringer Nachstar, bei 6,7% (1 Auge) war eine mäßige bzw. eine starke Trübung nachweisbar und bei 40% (6 Augen) war eine Nd:YAG-Kapsulotomie durchgeführt worden. Keinen bzw. nur einen geringen Nachstar wiesen somit nach 6 Monaten 93,3% (14 Augen) der Fälle auf, nach einem Jahr 80% (12 Augen) und nach drei Jahren 46,7% (7 Augen).

Eine Nd:YAG-Kapsulotomie war bei 13,3% (2 Augen) im Zeitraum zwischen sechs Monaten und einem Jahr und im Zeitraum zwischen einem und drei Jahren bei 26,6% (4 Augen) durchgeführt worden. Grafisch ist dies in Abbildung 23 dargestellt.

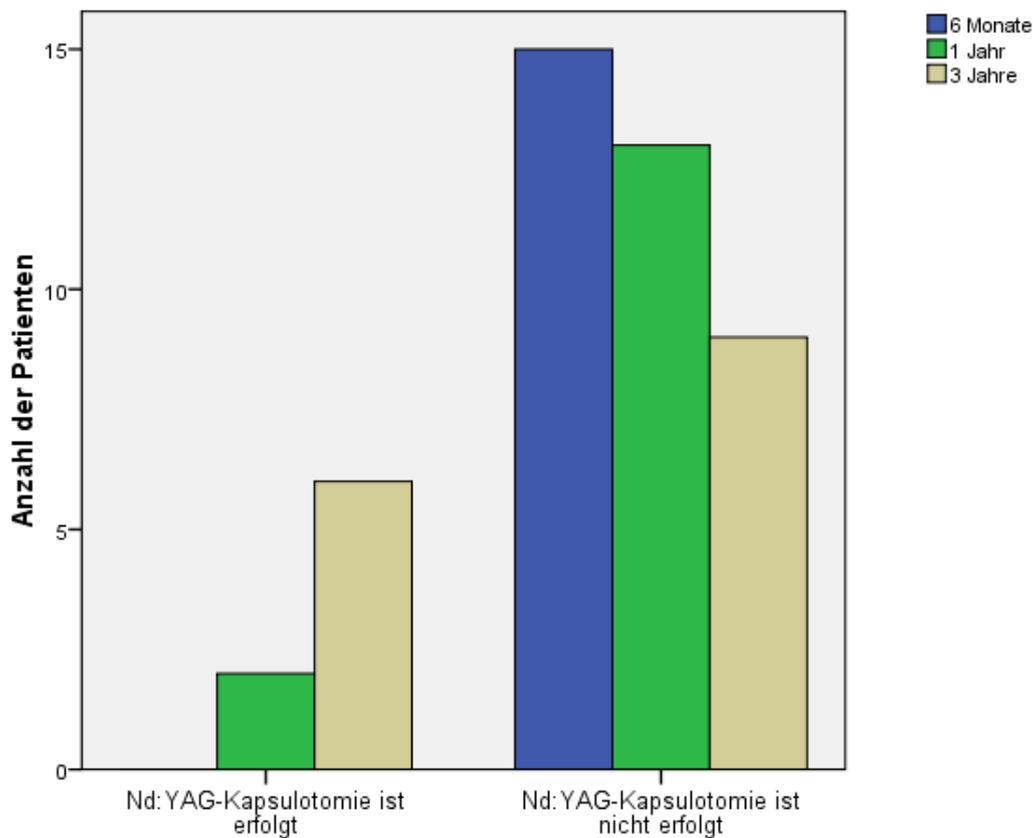


Abb. 23: Vergleich der Nd:YAG-Kapsulotomierate. Die Ordinate zeigt die Anzahl der Patienten $n = 15$ an, in der Abszisse ist aufgeführt, ob und zu welchem Zeitpunkt eine Nd:YAG-Kapsulotomie erfolgt ist oder nicht

4 Diskussion

4.1 Methodenkritik

Auf eine Vergleichsgruppe mit anderen Linsentypen wurde verzichtet, weil in der Literatur ausreichend Studien, vor allem zur Linsenzentrierung, vorhanden sind. Auch war die Studiendauer aus organisatorischen Gründen verlängert. Teilergebnisse dieser Arbeit wurden jedoch bereits auf dem 18. Kongress der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und refraktive Chirurgie 2004, auf der 54. Tagung der Vereinigung Norddeutscher Augenärzte 2005 und der 150. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft veröffentlicht.^{191,192,193}

In dieser Studie lag die maximale Bulbuslänge eines operierten Auges bei 25,58 mm. Bei Patienten mit einer hoher Myopie und damit auch einem größeren Auge ist auch der Kapselsack größer und eine Intraokularlinse hat mehr Bewegungsspielraum. Deshalb kann für diese Patienten keine sichere Aussage über die Positionsstabilität der hier untersuchten Intraokularlinse getroffen werden. Da der Gesamtdurchmesser einer herkömmlichen Intraokularlinse aber ebenso groß ist wie der der Acri.Smart 48S-5[®], kann man aber von einer ähnlichen Lagestabilität dieser Intraokularlinsen bei Patienten mit hoher Myopie ausgehen.

Da die ersten postoperativen Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit erst nach 6 Monaten erfolgten und nicht, wie in manchen anderen Studien, bereits in der 1. postoperativen Woche, können über den frühen postoperativen Verlauf nur eingeschränkt Aussagen getroffen werden. Hohe Fallzahlen wie beispielsweise in einer Studie von DICK et al. mit 103 Augen sind statistisch aussagekräftiger.⁶⁰ In der vorliegenden Studie wurden durch die hohe Abbruchrate, bedingt durch die Studiendauer, nur 15 Patienten ausgewertet. Allerdings wurden Langzeitergebnisse über einen Zeitraum von 3 Jahren erhoben. Da für die Patienten für die Einschätzung des langfristigen Operationserfolges die dauerhafte Lagestabilität nach Abschluss der Kapselsackschrumpfung entscheidend ist, sind Langzeitergebnisse zur Lagestabilität von Intraokularlinsen von Wichtigkeit.

Die Wellenfrontanalyse war bei einigen Patienten nicht möglich, da diese Untersuchung eine hohe Compliance seitens des Patienten erfordert. Neben einer ausreichend weiten Pupille müssen die Patienten in der Lage sein, ausreichend lange ruhig zu fixieren, was vor allem älteren Patienten mit Allgemeinerkrankungen wie z.B. Morbus Parkinson nicht möglich ist.

4.2 Betrachtung der Ergebnisse und Vergleich mit der Literatur

4.2.1 Visus und Refraktionsbestimmung

Primäres Ziel einer Kataraktoperation ist im Regelfall eine Verbesserung der Sehschärfe. Dieses kann auch bei anderen den Visus beeinträchtigenden Erkrankungen des Auges erreicht werden.¹⁴⁴ Bei älteren Untersuchungen von HAMMER et al. stieg der korrigierte Visus von präoperativ 0,2 auf $0,85 \pm 0,27$ nach Implantation der Linse Acamed 40 C[®] und auf $0,8 \pm 0,33$ nach Implantation der Linse Pharmacia 912[®] an.⁸⁰ In einer Studie von CINHÜSEYINOGLU et al. lag der mittlere bestkorrigierte Visus 6 Monate nach Phakoemulsifikation und Implantation der ThinOptx[®] bei $0,76 \pm 0,17$.⁴¹

Bei Untersuchungen von DOGRU et al. im Vergleich der ThinOptx-Linse[®] mit dem Linsentyp AcrySof[®] war der bestkorrigierte postoperative Visus annähernd gleich. Nach Implantation der ThinOptx[®] betrug er bei allen Patienten und nach Implantation der AcrySof[®] bei 90% mindestens 0,8.⁶¹ In unserer Studie lag der postoperative unkorrigierte Visus im Mittel bei 0,35 nach 6 Monaten und 0,23 nach 3 Jahren. Der bestkorrigierte Visus betrug nach 6 Monaten 0,72, nach 1 Jahr 0,76 und nach 3 Jahren 0,62. Damit ist der Visusgewinn bei den von uns operierten Patienten geringer als in den beiden zitierten Vergleichsstudien. Allerdings waren in dieser Arbeit Begleiterkrankungen an den Augen wie diabetische Retinopathie mit Makulopathie im Falle des Patienten 10, altersabhängige Makuladegeneration im Falle der Patienten 6, 9, 13 und 14 sowie Pseudoexfoliationssyndrom mit beginnend dekompensierter Pseudoexfoliationssyndrom-Keratopathie und glaukomatöser Optikusatrophie kein Ausschlusskriterium, was den geringeren Visusanstieg erklärt.

In einer Untersuchung von CINHÜSEYINOGLU et al. lag das mittlere sphärische Äquivalent 6 Monate nach MICS und Implantation der ThinOptx-Linse[®] der Firma ThinOptX Inc.[®] bei $-0,38 \pm 0,44$ dpt, die Werte lagen zwischen $+1,0$ dpt und $-1,5$ dpt.⁴¹

Mit Werten des sphärischen Äquivalents von $-1,12 \pm 1,20$ dpt nach 6 Monaten, $-1,08 \pm 1,56$ dpt nach 1 Jahr und $-0,80 \pm 1,50$ dpt nach 3 Jahren liegen unsere Patienten über den Werten von CINHÜSEYINOGLU et al. Die Ergebnisse liegen jedoch mit $0,22 \pm 1,01$ dpt Abweichung des berechneten vom erreichten sphärischen Äquivalent in einem guten Bereich. Die bei Patient 5 bestehende Schwankung der Refraktion wird durch die Keratopathie bei Pseudoexfoliationssyndrom, an welcher der Patient leidet, erklärt. Patienten mit Pseudoexfoliationssyndrom haben an sich eher eine geringere Hornhautdicke.² Bei zunehmendem Versagen des Endothels kommt es zu einer Visusverschlechterung, Hornhautquellung und durch die Quellung auch zu einer Veränderung der Refraktion.^{134,184}

Neu auftretende Lichtsensationen, die dem Patienten vor der Kataraktoperation nicht bekannt waren, sind eine mögliche Nebenwirkung nach Implantation jeder Intraokularlinse.^{58,188,201,214} Besonders häufig waren jedoch Berichte über die Wahrnehmung solcher Phänomene nach

Implantation von Multifokallinsen oder Linsen mit einer 5,5 mm-Optik.²⁰⁸ In einer Studie berichten CINHÜSEYINOGLU et al. über 5 Patienten, die nach MICS und Implantation der ThinOptx[®]-Linse der Firma ThinOptX Inc.[®] über Halos und Blendempfindlichkeit klagten, die im Verlauf verschwanden. Eine mögliche Erklärung für das Verschwinden der Phänomene ist nach CINHÜSEYINOGLU et al. die postoperativ zunächst weitere Pupille.⁴¹ Dieses Phänomen kann aber auch durch die Entstehung der Vorderkapsel­fibrose verursacht sein.

Auch auf direkte Nachfrage nach Blendungserscheinungen oder Halos wurden in dieser Studie von den Patienten keinerlei Beschwerden zu irgendeinem Zeitpunkt postoperativ geäußert. Möglich ist aber, dass direkt nach der Operation aufgetretene Lichtsensationen zum Zeitpunkt der ersten postoperativen Untersuchung nach 6 Monaten bereits wieder vergessen worden waren.

4.2.2 Vorderkammertiefe

DICK et al. wiesen in einer vergleichenden Studie Änderungen der Vorderkammertiefe nach Implantation der multizonal progressiv asphärischen, faltbaren Silikonlinse Array SA-40N[®] im Median von 4,90 mm in der ersten postoperativen Woche und 4,78 mm nach 6 Monaten nach, nach Implantation der monofokalen faltbaren Silikonlinse AMO SI-40NB[®] von 4,96 mm nach 1 Woche und 4,88 mm nach 6 Monaten.⁶⁰ KOEPL et al. dagegen fanden einen signifikanten Vorwärtsshift der Linse AR40e[®] vom AMO[®] von $196 \pm 117 \mu\text{m}$ nach Implantation dieser Linse in den Kapselsack im Verlauf eines Monats postoperativ. Dies entsprach einer Refraktionsänderung von -0,31 Dioptrien.¹⁰⁴ IWASE et. al. konnten dagegen bei Untersuchungen über 48 Wochen zum Linsenshift im Falle der PMMA-Linse 811C und 824C von Pharmacia[®] sowie der Acryllinse AcrySof MA60BM[®] von Alcon[®] im Gegensatz zur Silikonlinse AQ110NV[®] von Cannon Starr[®] eine nichtsignifikante Veränderung der Vorderkammertiefe feststellen.⁹⁰ SCHMICKLER fand nach Implantation der multifokalen Linse ReSTOR[®] eine Vorderkammertiefe nach 1 Tag von $3,18 \pm 0,1 \text{ mm}$, nach 1 Woche von $3,18 \pm 0,10 \text{ mm}$, nach 1 Monat von $3,29 \pm 0,22 \text{ mm}$ und nach 3 Monaten von $3,14 \pm 0,19 \text{ mm}$, mit der multifokalen Linse Tecnis[®] nach 1 Tag von $3,16 \pm 0,17 \text{ mm}$, nach 1 Woche von $3,17 \pm 0,20 \text{ mm}$, nach 1 Monat von $3,18 \pm 0,25 \text{ mm}$ und nach 3 Monaten $3,20 \pm 0,14 \text{ mm}$.¹⁹⁸ Untersuchungen von WILHELM et al. ergaben eine Vorderkammertiefe von 3,1 mm bis 4,99 mm.²³³ Bei der in unserer Studie untersuchten Acryllinse konnte während des Untersuchungszeitraumes mit dem Orbscan II[®] ebenfalls keine statistisch signifikante Veränderung der Vorderkammertiefe festgestellt werden. Die beobachteten geringen Schwankungen der Messwerte zueinander waren zwar vorhanden, lagen aber im Bereich der Standardabweichung.

Im Gegensatz zu den zitierten Studien wurde in der vorliegenden Arbeit die Vorderkammertiefe erst nach 6 Monaten und nicht frühzeitig nach Linsenimplantation bestimmt. Die Veränderungen der Vorderkammertiefe scheinen jedoch vor allem in der frühen postoperativen Phase stattzufinden. Schlussfolgernd wurden zu allen 3 postoperativen Untersuchungszeitpunkten annähernd gleiche Messergebnisse der Vorderkammertiefe mit einer maximalen Differenz zwischen den Messergebnissen der postoperativen Zeitpunkte 6 Monate und 3 Jahre von 0,12 mm festgestellt.

Die geringe Vorderkammertiefe bei Patient 5 erklärt sich durch eine Hyperopie mit relativem anterioren Nanophthalmus. Bei diesem Patienten wurde mit 25 dpt auch die Linse mit der höchsten Brechkraft implantiert.

4.2.3 Linsenverkipfung

Die korrekte Positionierung sowie die Positionsstabilität von Kunstlinsen im Auge können mit einer Scheimpflug-Dokumentation exakt kontrolliert und vermessen werden.^{101,228} DE SOUZA et al. konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen der Scheimpflugfotografie und der Ultraschall-Biomikroskopie zur Messung der Vorderkammertiefe bei Vorhandensein einer kammerwinkelgestützten Vorderkammerlinse aufzeigen.⁵⁰ In einer vergleichenden Studie von DICK et al. hinsichtlich des Verhaltens zweier Linsen im Kapselsack nach Phakoemulsifikation und Inzision von 3,2 mm lag nach 6 Monaten die Verkipfung bei der faltbaren Silikonlinse AMO SI 40 NB[®] bei 1,07° (Spannweite 0°-2,5°), bei der faltbaren Silikonlinse Array SA-40 N[®] bei 0,96° (Spannweite 0°-2,6°).⁶⁰ BAUMEISTER et al. fanden einen statistisch nicht-signifikanten Unterschied des Tilts einer faltbaren Silikonlinse mit scharfer Kante von 3,03±1,79° und 2,34±1,81°, einer Silikonlinse mit runder Kante von 3,26±1,69° und einer Acryllinse mit scharfer Kante von 2,32±1,41° über 12 Monate.¹⁹

In dieser Studie lag die Verkipfung der Linse mit 3,12±1,58° nach 6 Monaten, mit 3,06±1,20° nach 1 Jahr und mit 4,08±2,62° nach 3 Jahren bei 0° sowie unter Ausschluss der Ausreißer nach 6 Monaten bei 3,15±1,59°, nach 1 Jahr bei 3,16±0,79° und nach 3 Jahren bei 3,60±1,72°. Bei 90° lag die Verkipfung der Linse unter Berücksichtigung der Ausreißer nach 6 Monaten bei 1,54±0,98°, nach 1 Jahr bei 2,90±2,24° und nach 3 Jahren bei 2,76±1,85°. Es wurden jeweils statistisch nichtsignifikante Unterschiede zwischen den 3 Messzeitpunkten festgestellt. Die im Mittel etwas höheren Werte der Verkipfung werten wir als eine geringfügig höhere Instabilität, wahrscheinlich im Zusammenhang mit der kleineren Linsenoptik von 5,5 mm.

Im Rahmen verschiedener Studien wurde auch nach mehreren Jahren eine Zunahme der Kapsel fibrose nachgewiesen.^{49,112,195} Durch diese sowie eine erfolgte Nd:YAG-Kapsulotomie können wahrscheinlich ebenso Veränderungen der Linsenposition verursacht werden.

HILD et al. berichten über eine Verkippung der natürlichen Linse um im Mittel $2,6^\circ$ nach temporal. Sie fanden eine positive Korrelation des Betrages der horizontalen Coma mit der horizontalen Verkippung und Dezentrierung der horizontalen Linse. Am häufigsten ist die natürliche Linse nach temporal und unten dezentriert. Die Linsenverkippung in vertikaler Richtung wird als gering angegeben.⁸⁵ Wenn man nach dieser Studie von einer natürlichen Dezentrierung der Augenlinse ausgeht, sollten bei der Bestimmung der Dezentrierung der Intraokularlinse auch präoperative Messwerte erhoben werden.

4.2.4 Retro-Illumineszenzaufnahme

Zahlreiche Autoren haben die Dezentrierung verschiedener Intraokularlinsen untersucht. Tabelle 1 zeigt die Dezentrierung von Intraokularlinsen abhängig vom Linsentyp in den im Folgenden genannten Studien.

Tab. 1 Dezentrierung der Intraokularlinsen in den im Text zitierten Studien mit Angabe der Dezentrierung

Autor	Beschreibung der Linse oder der Krankheit	Dezentrierung
AUFFARTH ¹⁴	Autopsieaugen, Patienten mit PEX	0,75±0,38 mm
AUFFARTH ¹⁴	Autopsieaugen, Patienten ohne PEX	0,40±0,29 mm
AUFFARTH ¹³	single-piece- Silikonlinsen	0,37±0,31 mm
AUFFARTH ¹³	three-piece- Silikonlinsen	0,26±0,13 mm
TOGNETTO ²¹⁷	AMO SI 40 NB [®] , nach 18,26 Monaten	0,20±0,16 mm
DICK ⁶⁰	AMO SI 40 NB [®]	0,17 mm
DICK ⁶⁰	Array SA-40 N [®]	0,16 mm
BAUMEISTER ¹⁹	Silikonlinse mit scharfer Kante nach 12 Monaten	0,24±0,13 mm
BAUMEISTER ¹⁹	Silikonlinse mit scharfer Kante nach 12 Monaten	0,29±0,21 mm
BAUMEISTER ¹⁹	Silikonlinse mit runder Kante	0,23±0,13 mm
BAUMEISTER ¹⁹	Acryllinse mit scharfer Kante	0,24±0,10 mm
SCHAUERSBERGER ¹⁹⁴	CeeOn 911 A	bis 0,5 mm
SCHAUERSBERGER ¹⁹⁴	AcrySof-Linse [®]	bis 0,25 mm
HAMMER ⁸⁰	Pharmacia 921 nach 6 Monaten	0,47±0,3 mm
HAMMER ⁸⁰	Acrimed 40 C nach 6 Monaten	0,40±0,0 mm
VERBRUGGEN ²²³	Morcher 89 A	0,256±0,15 mm

Es gibt verschiedene, aufwändige Verfahren, um das Dezentrierungsverhalten von intraokularen Linsenimplantaten zu bestimmen. SCHMIDBAUER et. al. führten Messungen zur Dezentrierung in der Apple-Miyake-Sicht an enukleierten Augen durch.¹⁹⁹ Diese Methode

bietet zwar die Möglichkeit einer genauen Lagebestimmung der Linse in Bezug zum Kapselsack, ist aber natürlich im klinischen Alltag nicht geeignet.

Die Methode der Retro-Illuminzenzaufnahme zur Messung der Dezentrierung wurde von vielen Autoren verwendet.^{60,80,223} Auch wenn die Ergebnisse bei unterschiedlichen Messmethoden nicht genau vergleichbar sind, stimmen sie ungefähr überein.²²³

Um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten, erfordert diese Untersuchung eine ausreichend weite Pupille und eine gute Qualität der Bilder. BECKER et. al. verwendeten eine modifizierte Methode, bei der eine Art Schießscheibe in einer Computersimulation über die Linse gelegt wird.²⁰ Auf diese Art kann auch die Rotation der Linse im Kapselsack gemessen werden, was für torische Linsen besonders wichtig ist. Da in der vorliegenden Arbeit der Shift durch die Kapselsackschrumpfung untersucht wurde, erscheint uns unsere Messmethode für diese Fragestellung als ausreichend. Im Hinblick auf die Entwicklung von torischen, über Parazentesen implantierbaren Faltnissen wird die von BECKER et. al. verwendete Technik zunehmend wichtiger.

In Autopsie-Augen fanden AUFFARTH et al. mit $0,75 \pm 0,38$ mm eine signifikant höhere Dezentrierung in Augen mit Pseudoexfoliationssyndrom mit bekannter Zonulainstabilität als in der Kontrollgruppe ohne Pseudoexfoliationssyndrom mit $0,40 \pm 0,29$ mm. Allerdings wurde als Hauptgrund für die Dezentrierung der bereits dezentrierte Kapselsack angegeben.¹⁴

In einer weiteren Studie fanden AUFFARTH et al. eine Dezentrierung von single-piece- und three-piece-Silikonlinsen von $0,37 \pm 0,31$ mm bzw. $0,26 \pm 0,13$ mm in der Apple-Miyake-Ansicht. Im Vergleich mit der Kontrollgruppe mit PMMA-Linsen ergab sich kein signifikanter Unterschied.¹³

TOGNETTO et al. fanden bei vergleichenden Untersuchungen an Autopsie-Augen nach Kataraktoperation und Implantation der Intraokularlinse AMO SI 40 NB[®] nach durchschnittlich 18,26 Monaten eine mittlere Dezentrierung von $0,20 \pm 0,16$ mm. Eine statistisch signifikante Korrelation der Dezentrierung zum Zeitpunkt seit der Operation wurde nicht angegeben.²¹⁷

In einer bereits erwähnten Studie von DICK et al. hinsichtlich des Zentrierungsverhaltens mit einer Inzisionsgröße von 3,2 mm lag die Dezentrierung nach 6 Monaten bei der faltbaren Silikonlinse AMO SI 40 NB[®] bei 0,17 mm (Spannweite 0–0,9 mm), bei der faltbaren Silikonlinse Array SA-40 N[®] bei 0,16 mm (Spannweite 0–0,58 mm).⁶⁰ BAUMEISTER et al. fanden mittels Messungen mit einer Scheimpflug-Kamera keinen statistisch signifikanten Unterschied der Dezentrierung einer faltbaren Silikonlinse mit scharfer Kante von $0,24 \pm 0,13$ mm (Gruppe 1) und $0,29 \pm 0,21$ mm (Gruppe 2), einer Silikonlinse mit runder Kante von $0,23 \pm 0,13$ mm und einer Acryllinse mit scharfer Kante von $0,24 \pm 0,10$ mm über 12 Monate.¹⁹ SCHAUERSBERGER et al. wiesen eine statistisch signifikant höhere Dezentrierung

der Silikonlinse im Vergleich der CeeOn 911 A[®] mit der AcrySof-Linse[®] nach.¹⁹⁴ SUBBRANAMIAM et al. berichteten über eine frühzeitige Dezentrierung einer Silikonlinse mit Plattenhaptik mit einem Durchmesser von 10,5 mm bei 4 von 1299 operierten Augen, wobei eine Explantation der Intraokularlinse in 3 dieser Fälle wegen Doppelbildern und Blendempfindlichkeit durchgeführt werden musste.²¹⁰

Bei HAMMER et al. lag die Dezentrierung 6 Monate postoperativ bei einer mit unserer Methode vergleichbaren Messmethode im Falle der Linse Pharmacia 912[®] bei $0,47 \pm 0,3$ mm und im Falle der Acrimed 40 C bei $0,40 \pm 0,0$ mm.⁸⁰

Als klinisch relevant sehen DICK et al. eine Linsenverschiebung in der Frontalebene von mehr als 0,5 mm an.⁶⁰ Auch VERBRUGGEN et al. fanden bei einer Dezentrierung von $0,30 \pm 0,17$ mm im Vergleich zum Limbus bzw. von $0,26 \pm 0,15$ mm im Vergleich zur dilatierten Pupille keine signifikante Korrelation zwischen dem Visus und der Dezentrierung.²²³

In unserer Studie betrug die Dezentrierung der Acri.Smart-Linse 48S-5[®] im Mittel $0,25 \pm 0,20$ mm nach 6 Monaten, $0,26 \pm 0,17$ mm nach 1 und $0,30 \pm 0,23$ mm nach 3 Jahren. Unter Berücksichtigung der Ausreißer lag die Verschiebung nach 6 Monaten bei $0,21 \pm 0,17$ mm, nach 1 Jahr bei $0,24 \pm 0,17$ mm und nach 3 Jahren bei $0,25 \pm 0,17$ mm. Damit liegt die Dezentrierung der Intraokularlinse im Vergleich mit den anderen Studien im unteren Bereich und auch bei dem Großteil der Patienten unter der von DICK et al. als kritisch angegebenen Grenze von 0,5 mm Dezentrierung.⁶⁰

4.2.5 Keratometrie

ELBAZ et al. verglichen die Keratometriewerte des IOLMasters[®] mit denen eines automatischen Keratometers, REULAND et al. die des IOLMasters[®] mit denen der Pentacam[®]. In beiden Arbeitsgruppen konnten statistisch nichtsignifikante Unterschiede der Messergebnisse festgestellt werden.^{65,178}

KOHNEN et al. fanden, dass die Inzisionsbreite den kornealen Astigmatismus in Bezug auf die Stabilität beeinflusst.¹⁰⁸ Verschiedene Autoren berichten über den Einfluss der Inzisionsgröße und Inzisionsform auf den postoperativen Astigmatismus.^{22,81,187,205}

Auch die Lokalisation der Inzision relativ vom Limbus aus gesehen hat Einfluss auf den postoperativen Astigmatismus.^{45,48,169}

Auch wenn Inzisionen um 3 mm bei der Phakoemulsifikation im Vergleich zu den früher üblichen Schnittbreiten von 5 mm Weite und mehr bei der Implantation von PMMA-Linsen mit einer geringeren Astigmatismusinduktion assoziiert sind, so können auch diese zu einer dauerhaften Abflachung der Hornhaut im Bereich des Meridians der Inzision führen.^{66,111} Beim Vergleich einer 5 mm breiten Inzision mit einer 3,2 mm großen Inzision berichteten DICK et al.

und OLSON et al. über statistisch signifikante Vorteile zugunsten der schmalen Inzision bezüglich des chirurgisch induzierten Astigmatismus.^{54,170}

Nach Untersuchungen von NIELSEN kann der resultierende Astigmatismus dabei zwischen 0,5 dpt und 1,75 dpt betragen.¹⁵⁴ Deshalb führen viele Ophthalmochirurgen bei der konventionellen Phakoemulsifikation zur Korrektur des präoperativ bestehenden Astigmatismus die Inzision im Bereich des steilsten Hornhautmeridians durch.^{23,88}

Bei BORASIO et al. lag der chirurgisch induzierte Astigmatismus nach 3 Wochen nach clear-cornea incision im steileren Hornhautmeridian bei 0,63 dpt, nach temporaler Schnitfführung bei 0,34 dpt.²⁸ BARQUET et al. fanden 12 Monate nach Phakoemulsifikation und Hinterkammerlinsenimplantation über einen 3,5 mm großen Tunnel eine Änderung der Keratometerwerte von 0,71 dpt nach temporaler Inzision und von 1,41 dpt nach nasaler Inzision.¹⁵ Bei JIANG et al. waren bei einer clear-cornea incision die Astigmatismuswerte (gemessen mit dem NIDEK OPD-Scan aberrometer and topographer[®]) nach 3 Monaten von $0,58 \pm 0,39$ dpt auf $0,73 \pm 0,41$ dpt verändert.⁹³

BEN SIMON et al. berichten über eine statistisch nicht signifikante Astigmatismusreduktion nach einer 3,2 mm messenden Inzision im Bereich des steilsten Hornhautmeridians von $0,9 \pm 0,4$ präoperativ auf $0,7 \pm 0,5$ postoperativ, gemessen mit einem computerisierten Videokeratometer und manueller Keratometrie nach JAVAL.²³

In einer Studie von CINHÜSEYINOGLU et al. lag der präoperative Astigmatismus bei $0,65 \pm 0,43$ dpt, nach MICS und Implantation der ThinOptx-Linse[®] der Firma ThinOptX Inc.[®] nach 1 Monat bei $0,66 \pm 0,46$ dpt und nach 6 Monaten bei $0,65 \pm 0,48$. Die Inzisionsgröße lag bei ca. 1,4 mm.⁴¹ Der mittlere induzierte Astigmatismus betrug nach einer Studie von DOGRU et al. nach Implantation der ThinOptx-Linse[®] lediglich $0,06 \pm 0,5$ dpt und nach Implantation der AcrySof-Linse[®] bei $0,25 \pm 0,6$ dpt. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte nicht nachgewiesen werden, allerdings war die korneale Inzision auf 2,2 mm für die Implantation der ThinOptx-Linse[®] erweitert worden.⁶¹

Im Rahmen dieser Studie wiesen die mittleren Keratometerwerte zu den 3 Untersuchungszeitpunkten vorwiegend keinen statistisch signifikanten Unterschied zueinander auf. Dies demonstriert, dass die Inzision bei der MICS keine statistisch signifikante Änderung des gemittelten kornealen Astigmatismus bewirkt.

Zur Ermittlung des tatsächlich induzierten Astigmatismus erfolgte die Berechnung unter Berücksichtigung der beiden Keratometerwerte und der Gradzahl. Statistisch signifikante Unterschiede konnten nur zwischen den meridionalen Polarwerten des Astigmatismus präoperativ und 6 Monate postoperativ mit $p=0,023$ nachgewiesen werden. Zwischen allen weiteren meridionalen sowie zwischen allen obliquen Polarwerten lagen nichtsignifikante Unterschiede vor. Vorwiegend kam es zu einer Abflachung der Keratometerwerte mit

Abnahme des Betrages im Verlauf der postoperativen Untersuchungen. Nach 3 Jahren lag eine Drehung des Astigmatismus im Uhrzeigersinn vor, wobei der Median eine geringfügige Änderung der Achsenlage entgegen dem Uhrzeigersinn auch 6 Monate und 1 Jahr postoperativ aufwies.

Im Vergleich der Keratometerwerte des IOLMasters[®] mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] wurden zu allen Untersuchungszeitpunkten vorwiegend kleinere Keratometerwerte mit dem IOLMaster[®] erfasst. Präoperativ und 1 Jahr postoperativ waren die Ergebnisse der Keratometerwerte statistisch signifikant unterschiedlich. Allerdings lag eine sehr hohe Korrelation der Werte miteinander vor. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Keratometerwerte vom Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] zum IOLMaster[®] nicht ohne Umrechnung übertragbar sind.

4.2.6 Aberrometrie

Aberrationen am Auge können zu einer signifikant schlechteren Abbildung auf der Retina führen.³⁹ Die Wellenfrontanalyse kann als zusätzliche Messmethode der Sehqualität verwendet werden.⁵²

In der vorliegenden Studie lag die Coma x nach 6 Monaten bei $0,29 \pm 0,46 \mu\text{m}$, nach 1 Jahr bei $0,26 \pm 0,51 \mu\text{m}$ und nach 3 Jahren bei $0,07 \pm 0,34 \mu\text{m}$. Die Coma y betrug nach 6 Monaten $0,09 \pm 0,23 \mu\text{m}$, nach 1 Jahr $0,09 \pm 0,30 \mu\text{m}$ und nach 3 Jahren $0,04 \pm 0,31 \mu\text{m}$. Unter Ausschluss der Ausreißer ergaben sich im Vergleich der Coma x mit der Linsenverkipfung bei 0° eine negative mittlere Korrelation nach 6 Monaten und für die Zeitpunkte 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ hohe negative Korrelationen. Im Vergleich der Coma y mit der Linsenverkipfung bei 90° ergaben sich geringe negative Korrelationen für die Zeitpunkte nach 6 Monaten und 1 Jahr sowie eine hohe negative Korrelation für den Zeitpunkt nach 3 Jahren.

HILD et al. berichteten über eine Verkipfung der natürlichen Linse im Mittel um $2,6^\circ$ nach temporal. Sie fanden eine positive Korrelation des Betrages der horizontalen Coma mit der horizontalen Verkipfung und Dezentrierung der horizontalen Linse. Am häufigsten ist die natürliche Linse nach temporal und unten dezentriert. Die Linsenverkipfung in vertikaler Richtung wird als gering angegeben.⁸⁵ Nach den in der vorliegenden Studie erhobenen Daten ist die Korrelation zwischen der Coma und der Linsenverkipfung schwankend zwischen niedriger und hoher Korrelation. Dass die Korrelation negativ ist, kann dadurch erklärt werden, dass bei der Linsenverkipfung lediglich der Betrag der Verkipfung und nicht das Vorzeichen, also die Richtung der Verkipfung, berücksichtigt wurde.

4.2.7 Nachstar

Die Entwicklung des Nachstars ist ein multifaktoriell bedingter Prozess, der neben der Operationstechnik entscheidend vom Material und Kantendesign der implantierten Intraokularlinse beeinflusst wird. FINDL et al. verwendeten zum Zweck der objektiven Graduierung des Nachstars anhand von Retro-Illumineszenzaufnahmen ein eigenes Softwareprogramm.⁶⁹ Ein automatisiertes, untersucherunabhängiges Verfahren ist bei Studien immer anzustreben, jedoch war dies für die vorliegende Arbeit nicht verfügbar. Die Beurteilung des Nachstars erfolgte subjektiv, jedoch ausschließlich von einem Untersucher. Es wurde eingeschätzt, inwieweit die Trübungen der hinteren Kapsel den Visus beeinträchtigen.

Die Rate für die Nd:YAG-Kapsulotomie nach Implantation der AcrySof-Linse[®] wird mit 8,5% nach 3 Jahren und 14,5% nach 5 Jahren angegeben.⁴⁹ SCHAUMBERG et al. gaben die Inzidenz eines klinisch signifikanten Nachstars mit etwa 10% nach 1 Jahr, 20% nach 3 Jahren und 30% nach 5 Jahren an.¹⁹⁵ In einer Studie von SPÄTH et al. zur Acryl-Intraokularlinse Akreos Disc[®] und Akreos Fit[®] hatte nach 1 Jahr keiner der untersuchten Patienten eine Nd:YAG-Kapsulotomie. Die Nachstarentwicklung wurde als gering angegeben.²⁰⁶ Bei JAVDANI et al. wurde eine Nd:YAG-Kapsulotomie von 8,9% nach Implantation einer hydrophoben Intraokularlinse (AcrySof MA-30, Alcon) gegenüber 24,4% einer hydrophilen Intraokularlinse (Galand Visional, Société médicale de précision) nach 18 Monaten nachgewiesen.⁹²

In dieser Arbeit war nach 1 Jahr bei 13,3% und nach 3 Jahren bei 40,0% der Patienten eine Nd:YAG-Kapsulotomie erfolgt. Im Vergleich mit den zitierten Studien ist die Nachstar- und YAG-Kapsulotomie in dieser Arbeit höher. Dafür kommen verschiedene Ursachen in Frage. In Untersuchungen von BUEHL et al. fand sich eine verringerte Nachstarinzidenz bei Linsen mit einer hinteren scharfen Kante.³³ Obwohl auch die Kapseladhäsivität des Optikmaterials wie beispielsweise bei der AcrySof-Linse[®] als weiterer Einflussfaktor auf die Entstehung des Nachstars angesehen wird, scheinen im Wesentlichen die scharfe Kante und die flache Rückfläche den Nachstar zu vermeiden.^{150,167,224} Diese scharfe Kante ist im Bereich der Plattenhaptik unterbrochen. Dies kann eine Ursache für die vermehrte Nachstarentwicklung sein. DUBBELMANN et al. und LIU et al. fanden heraus, dass Intraokularlinsen mit größerer Optik (6,0–6,5 mm) geringere Nachstarwerte ergeben als Linsen mit kleinerer Optik (5,5 mm).^{63,124} Auch die hier untersuchte Linse Acri.Smart 48S-5[®] hat nur eine Optik von 5,5 mm. Als mögliche Ursache für die höhere Nachstarrate muss demnach auch eine zu runde Kante im Bereich der Haptik und eine kleine Optik in Betracht gezogen werden.

4.2.8 OP-Methode

Bei der mikroinvisionalen Kataraktchirurgie wird die Schnittweite auf weniger als 2 mm durch die Trennung der Funktion der Phakoemulsifikation und der Irrigation verringert. Die Reduzierung der Schnittbreite erbringt prinzipielle Vorteile wie die Verbesserung der Vorderkammerstabilität, die Verringerung des operativen Traumas, die Reduktion des induzierten Astigmatismus und durch eine kleinere Wundöffnung die Verringerung der Gefahr einer Endophthalmitis.^{4,5,115} Auch die chirurgisch induzierte Alteration der Blut-Kammerwasser-Schranke eines 5 mm großen Tunnels im Vergleich zu einem schmalen Tunnel zeigte bei Messungen mit der Laser-Flare-Photometrie statistisch signifikante Vorteile zugunsten der schmalen Inzision.⁵⁹

GRUETERICH et al. konnten in einer retrospektiven Studie eine stabile Lage der Linse nach MICS bei Kindern vorweisen.⁷⁷ Allerdings sind auch Einschränkungen aus Sicht des Operateurs zu berücksichtigen.¹⁴² Bei der Phakoemulsifikation ist die Wundprotektion der Hornhaut geringer, da die Ultraschallspitze nicht mehr von einem Kunststoffschlauch, in dem die Spülflüssigkeit fließen kann, geschützt wird.^{24,172} Verbrennungen des Inzisionsgebietes werden aber durch einen gepulsten Phakoemulsifikationsmodus, bei dem es in den Pausen zur Abkühlung des Phakotips kommt, vermieden.²³² Theoretisch sind die Flusseigenschaften durch Trennung der Irrigation und Aspiration verbessert. Von einigen Autoren wird allerdings die Gefahr der Verletzung der intraokularen Gewebe als erhöht angegeben, da durch die geringeren Flüssigkeitsmengen, die durch die kleineren Öffnungen der modifizierten Handstücke fließen, es beim ungeübten Operateur zu einer instabilen Vorderkammer kommen kann.^{98,231} Auch müssen durch die relativ kleinen Zugänge spezielle rollbare Intraokularlinsen zur Verfügung stehen und geeignete Implantationstechniken angewandt werden, was heute mit der Linse Acri.Smart[®], deren Nachfolgern und Konkurrenzmodellen allerdings gegeben ist.^{3,143} Eine weitere Gefahr kann die Undichtigkeit nach Überdehnung der Inzisionswunde durch die Manipulation sein.¹⁷¹ Deshalb favorisieren verschiedene Autoren die koaxiale Mikro-Phakoemulsifikation, da sich die Vorderkammer sehr stabil darstellen soll.^{115,173,222} WIRBELAUER et al. wiesen bei der koaxialen Mikro-Phakoemulsifikation zwar eine deutliche Reduzierung der Schnittbreite nach, andererseits war die effektive Phakoemulsifikationszeit im Vergleich zur konventionellen Phakoemulsifikation verlängert.²³⁶

Nach Auffassung verschiedener anderer Autoren hat die bimanuelle MICS wiederum ein hohes Entwicklungspotential zur Verbesserung der Kataraktchirurgie.^{4,5,37,95,115,212} Die Arbeitsgruppen um ALIO, KURZ und TANAKA konnten die Phakoemulsifikationszeit mittels MICS im Vergleich zur koaxialen Phakoemulsifikation signifikant senken.^{4,115,212} CAVALLINI et al. erreichten mit der bimanuellen Phakoemulsifikation eine Verringerung der Operationszeit.³⁷ Andere Studien belegen dagegen, dass sowohl die Operationszeit als auch die

Phakoemulsifikationszeit im Vergleich zur Standard-Phakoemulsifikation verlängert sind.^{46,95} Die von MÖGLICH et al. berichteten Verzögerungen, insbesondere bei der Implantation der Kunstlinse, können zum einen durch die Umgewöhnung von der bisherigen Phakoemulsifikation auf eine neue Operationsmethode erklärt werden. Andererseits ist die Geschwindigkeit der Phakoemulsifikation und Absaugung von Linsenrinde durch die kleineren Lumina der feinen Instrumente limitiert.¹⁴²

Nach einer Studie von CINHÜSEYINOGLU et al. konnte bei der MICS die Operationszeit ebenfalls beschleunigt werden, Vorderkammer und Kapselsack waren intraoperativ stabil, die Visusrehabilitation war beschleunigt und intra- sowie postoperative Komplikationen seltener.⁴¹ Auch in unserer Studie traten keine wesentlichen Komplikationen auf, und die von WIRBELAUER et al. diskutierte Unsicherheit der Biokompatibilität und Stabilität der über Parazentesen implantierbaren Intraokularlinsen konnte in unserer Studie nicht bestätigt werden.^{234,235}

Zunehmend wird, soweit dies möglich ist, die Korrektur der Refraktion als Bestandteil der Kataraktchirurgie mit angesehen.¹²³ In Anbetracht der operativen Möglichkeiten sollte man als Ophthalmochirurg die Induktion eines Astigmatismus vermeiden oder sogar einen präoperativ bestehenden Astigmatismus durch die Wahl eines geeigneten Verfahrens reduzieren.^{72,107} Mit der konventionellen Phakoemulsifikation kann man einen präoperativ bestehenden kornealen Astigmatismus durch die Schnittführung korrigieren, auch wenn das Ergebnis nur unzureichend vorherzusagen ist.^{29,99} Mit der MICS ist diese Art von Korrektur nur durch zusätzliche Schnitterweiterung möglich.

Durch die Verbreitung von MICS und der 23-Gauge-Technik wird auch bei Verbindung von Katarakt-OP und pars-plana-Vitrektomie eine minimal invasive Ophthamo-Mikrochirurgie möglich, wie auch erstmals von WERSCHNIK et al. auf der Tagung der DOG 2008 in einem Referat dargestellt wurde.²³⁰

4.2.9 Acri.Smart-Linse 48S-5®

Intraokularlinsen mit Plattenhaptik galten als die Prototypen bezüglich des Intraokularlinsendesigns bei der Phakoemulsifikation über Parazentesen, da mit ihnen erstmalig der volle Vorteil der Kleinschnittinzision intraoperativ zum Tragen kam.⁵⁷ Während DICK et al. über vermehrte Komplikationen wie Dezentrierung, Rotation und Vorderkapsel fibrosierung nach Implantation von Intraokularlinsen mit Plattenhaptik berichteten, konnten CUMMING et al. vor allem bessere Visusergebnisse nach Implantation von Intraokularlinsen mit Plattenhaptik im Vergleich zu dreistückigen Intraokularlinsen nachweisen.^{47,202} Für die MICS war und ist die Entwicklung von faltbaren zu rollbaren und langfristig möglicherweise sogar injizierbaren Intraokularlinsen essentiell.^{61,164,174} Nach

MAMALIS et al. sind besonders ein optimaler Herstellungsprozess bei der Linsenfertigung sowie Materialeigenschaften und Design der Linse für ein gutes postoperatives Ergebnis erforderlich.¹²⁹

In unserer Studie wies die Acri.Smart-Linse 48S-5[®] eine stabile Lage im Kapselsack auf. Lediglich die Nachstarrate war erhöht. Dies hängt wahrscheinlich mit der kleineren Linsenoptik und der fehlenden scharfen Hinterkante zusammen. Durch die mittlerweile verfügbaren, rollbaren Intraokularlinsen mit 6,0 mm-Optik kann die Nachstarrate möglicherweise weiter reduziert werden.

Eine interessante Erkenntnis in der bereits erwähnten Studie von DOGRU et. al war eine statistisch signifikant erniedrigte Kontrastempfindlichkeit in der Gruppe der Patienten, bei denen eine ThinOptx-Linse[®] implantiert worden war. Dies wurde auf die dünnere Optik zurückgeführt, die die Aberrationen höherer Ordnung zu verringern scheinen.⁶¹

AUER et al. berichten, dass es ein Jahr postoperativ in 70% nach Implantation einer Silikonlinse mit Plattenhaptik zu einer moderaten bis schweren Vorderkapselschrumpfung gekommen war.¹⁰ Dieses Phänomen war bei den in dieser Studie untersuchten Patienten nach Implantation einer Acryl-Linse nicht zu beobachten.

4.3 Schlussfolgerungen und Ausblicke

Vor allem bei Patienten mit einer verminderten Compliance wie Kindern oder geistig behinderten Patienten ist eine geringe Inzisionsgröße bei nahtloser Kataraktchirurgie wünschenswert, damit es weniger wahrscheinlich zu einem Seidel-Phänomen durch Manipulation am Auge kommt. Gleiches trifft für Manipulationen wie Eindellen während der pars-plana-Vitrektomie bei kombinierten Eingriffen zu. Dieses Ziel scheint durch die Einführung der Kataraktchirurgie durch korneale Mikroinzisionen erreicht worden zu sein. In dieser Studie wies die über Parazentesen implantierbare Intraokularlinse Acri.Smart 48S-5[®] eine stabile Lage auf, was sowohl die Verkipfung der Linse als auch den Linsenshift nach vorn und hinten oder seitwärts betrifft.

Die Nachstarrate war nach Implantation der Acri.Smart 48S-5[®] erhöht. Diese Rate wird wahrscheinlich bei der größeren Optik der Nachfolgemodelle in Zukunft niedriger sein. Für diese Modelle sollten weitere Untersuchungen erfolgen.

Da die Ansprüche an die Sehleistung nach Kataraktoperationen zunehmend gestiegen sind und der Astigmatismus durch Wellenfrontfehler statistisch signifikant die Abbildungen auf der Retina verschlechtert, sollte die Induktion des Astigmatismus soweit wie möglich reduziert werden. Dies ist durch die MICS gelungen.

Die von anderen Autoren berichtete Korrelation zwischen der Coma und der Linsenverkipfung war in dieser Studie nur teilweise nachzuvollziehen. Allerdings werden Wellenfrontfehler

beispielsweise auch durch den Nachstar verändert, was die Messung unter Umständen mit beeinflussen kann. Außerdem erfolgte in der vorliegenden Arbeit die Bestimmung der Linsenverkippung mittels manueller Vermessung. Hier ist für weiterführende Studien eine automatisierte Berechnung zu empfehlen.

Die von HILD et al. berichtete Verkippung der natürlichen Linse kann unter Umständen auch eine Verkippung der Kunstlinse nach Kataraktoperation zur Folge haben.⁸⁵ Diese Tatsache sollte durch präoperative Bestimmung der Verkippung der natürlichen Linse bei zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden.

5 Zusammenfassung

Um den postoperativ induzierten Astigmatismus und andere Komplikationen nach Kataraktoperation weiter zu minimieren, werden immer kleinere Zugangswege gefordert. Dies erfordert geeignete Intraokularlinsen, die über diese Inzisionen implantiert werden können. Die Linse Acri.Smart 48S-5[®] der Firma Acri.Tec[®] war nach Angaben der Firma und Literaturrecherche eine der ersten weltweit verfügbaren Linsen, die über einen kornealen Zugang unter 2 mm implantiert werden konnten. Um den Einfluss der extremen Faltbarkeit dieser Linse auf die postoperative Stabilität im Auge sowie den induzierten Astigmatismus zu untersuchen, wurden 15 Patienten präoperativ, nach 6 Monaten, 1 und 3 Jahren nach bimanueller Phakoemulsifikation mit Implantation einer Acri.Smart-Linse 48S-5[®] untersucht. Die Bestimmung einer Verschiebung der Kunstlinse im Verhältnis zur Pupille wurde mit Retro-Illumineszenzaufnahmen durchgeführt. Die Verkippung der Acri.Smart 48S-5[®] wurde mit der Scheimpflug-Kamera Pentacam[®] gemessen. Der Orbscan II[®] wurde eingesetzt, um die Vorderkammertiefe und damit eine Verlagerung der Kunstlinse nach vorne oder hinten zu bestimmen. Veränderungen der Keratometerwerte wurden mit dem IOLMaster[®] und mit dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] untersucht.

In allen Fällen konnte keine wesentliche Dezentrierung in den verschiedenen Ebenen gemessen werden. Es konnten lediglich statistisch signifikante Unterschiede des meridionalen Astigmatismus präoperativ und 6 Monate postoperativ nachgewiesen werden. Zwischen den übrigen meridionalen sowie zwischen allen obliquen Polarwerten konnte keine statistisch relevante Veränderung des kornealen Astigmatismus nachgewiesen werden. Zwischen den gemittelten Werten des kornealen Astigmatismus wurde ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt, auch wenn die Werte sehr hoch korrelierten.

Daraus kann man schließen, dass Keratometerwerte, die mit verschiedenen Geräten erhoben wurden, nicht ohne Umrechnung übertragbar sind.

Die hydrophobe Acri.Smart[®]-Linse weist eine stabile Lage und Zentrierung im Kapselsack auf und ist für die Implantation als intraokulare Korrektur nach Phakoemulsifikation über Parazentesen durchaus geeignet.

Mit dieser Mikroinzisionstechnik kann die Induktion des kornealen Astigmatismus weiter verringert werden.

6 Literaturverzeichnis

- 1 **Agarwal**, A., Agarwal, A., Agarwal, S., Narang, P., Narang, S.: Phakonit: phacoemulsification through a 0.9 mm corneal incision. *J Cataract Refract Surg* 27 (2001) 1548- 1552
- 2 **Aghaian**, E., Choe, J. E., Lin, S., Stamper, R. L.: Central corneal thickness of Caucasians, Chinese, Hispanics, Filipinos, African Americans, and Japanese in a glaucoma clinic. *Ophthalmology* 111 (2004) 2211- 2219
- 3 **Alio**, J., Rodriguez-Prats, J. L., Galal, A.: Advances in microincision cataract surgery intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 17 (2006) 80- 93
- 4 **Alio**, J., Rodriguez-Prats, J. L., Galal, A., Ramzy, M.: Outcomes of microincision cataract surgery versus coaxial phacoemulsification. *Ophthalmology* 112 (2005) 1997- 2003
- 5 **Alio**, J. L., Rodriguez-Prats, J. L., Vianello, A., Galal, A.: Visual outcome of microincision cataract surgery with implantation of an Acri.Smart lens. *J Cataract Refract Surg* 31 (2005) 1549- 1556
- 6 **Apple**, D. J., Peng, Q., Visessook, N., Werner, L., Pandey, S. K., Escobar-Gomez, M., Ram, J., Auffarth, G. U.: Eradication of posterior capsule opacification: documentation of a marked decrease in Nd:YAG laser posterior capsulotomy rates noted in an analysis of 5416 pseudophakic human eyes obtained postmortem. *Ophthalmology* 108 (2001) 505- 518
- 7 **Apple**, D. J., Ram, J., Foster, A., Peng, Q.: Elimination of cataract blindness: a global perspective entering the new millenium. *Surv Ophthalmol* 45 Suppl 1 (2000) S1- 196
- 8 **Apple**, D. J., Solomon, K. D., Tetz, M. R., Assia, E. I., Holland, E. Y., Legler, U. F., Tsai, J. C., Castaneda, V. E., Hoggatt, J. P., Kostick, A. M.: Posterior capsule opacification. *Surv Ophthalmol* 37 (1992) 73- 116
- 9 **Assia**, E. I., Apple, D. J., Barden, A., Tsai, J. C., Castaneda, V. E., Hoggatt, J. S.: An experimental study comparing various anterior capsulectomy techniques. *Arch Ophthalmol* 109 (1991) 642- 647
- 10 **Auer**, C. Gonvers, M.: Implant intraoculaire monobloc en silicone et fibrose de la capsule antérieure. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 206 (1995) 293- 295
- 11 **Auffarth**, G. U., Borkensein, A. F., Ehmer, A., Mannsfeld, A., Rabsilber, T. M., Holzer, M. P.: Scheimpflug- und Topographiesysteme in der ophthalmologischen Diagnostik. *Ophthalmologie* 105 (9) (2008) 810- 817

- 12 **Auffarth**, G. U., Golescu, A., Becker, K. A., Volcker, H. E.: Quantification of posterior capsule opacification with round and sharp edge intraocular lenses. *Ophthalmology* 110 (2003) 772- 780
- 13 **Auffarth**, G. U., McCabe, C., Wilcox, M., Sims, J. C., Wesendahl, T. A., Apple, D. J.: Centration and fixation of silicone intraocular lenses: clinicopathological findings in human autopsy eyes. *J Cataract Refract Surg* 22 Suppl 2 (1996) 1281- 1285
- 14 **Auffarth**, G. U., Tsao, K., Wesendahl, T. A., Apple, D. J.: Hinterkammerlinsen-zentrierung in Autopsieaugen mit und ohne Pseudoexfoliationssyndrom. *Ophthalmologie* 92 (1995) 750- 755
- 15 **Barequet**, I. S., Yu, E., Vitale, S., Cassard, S., Azar, D. T., Stark, W. J.: Astigmatism outcomes of horizontal temporal versus nasal clear corneal incision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 30 (2004) 418- 423
- 16 **Barrett**, G. D.: The evolution of hydrogel implants. *Dev Ophthalmol* 22 (1991) 70- 71
- 17 **Bath**, P. E., Boerner, C. F., Dang, Y.: Pathology and physics of YAG-laser intraocular lens damage. *J Cataract Refract Surg* 13 (1987) 47- 49
- 18 **Baumeister**, M., Buhren, J., Schnitzler, E. M., Ohrloff, C., Kohnen, T.: Scheimpflug-fotografische Untersuchungen nach Implantation phaker Vorder- und Hinterkammer-Intraokularlinsen: Erste Erfahrungen. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 218 (2001) 125- 130
- 19 **Baumeister**, M., Neidhardt, B., Strobel, J., Kohnen, T.: Tilt and decentration of three-piece foldable high-refractive silicone and hydrophobic acrylic intraocular lenses with 6-mm optics in an intraindividual comparison. *Am J Ophthalmol* 140 (2005) 1051- 1058
- 20 **Becker**, K. A., Auffarth, G. U., Volcker, H. E.: Messmethode zur Bestimmung der Rotation und der Dezentrierung von Intraokularlinsen. *Ophthalmologie* 101 (2004) 600- 603
- 21 **Becker**, R., Graf, M.: Die Darstellung der Sehschärfe in ophthalmologischen Publikationen. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 221 (2004) 1046- 1050
- 22 **Beltrame**, G., Salvetat, M. L., Chizzolini, M., Driussi, G.: Corneal topographic changes induced by different oblique cataract incisions. *J Cataract Refract Surg* 27 (2001) 720- 727
- 23 **Ben Simon**, G. J., Desatnik, H.: Correction of pre-existing astigmatism during cataract surgery: comparison between the effects of opposite clear corneal incisions and a single clear corneal incision. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 243 (2005) 321- 326

- 24 **Berdahl**, J. P., DeStafeno, J. J., Kim, T.: Corneal wound architecture and integrity after phacoemulsification evaluation of coaxial, microincision coaxial, and microincision bimanual techniques. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 510-515
- 25 **Bhermi**, G. S., Spalton, D. J., El Osta, A. A., Marshall, J.: Failure of a discontinuous bend to prevent lens epithelial cell migration in vitro. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 1256- 1261
- 26 **Binkhorst**, C. D.: Five hundred planned extracapsular extractions with iridocapsular and iris-clip lens implantation in senilce cataract. In: Boyd (Hrsg):*Highlights of Ophthalmology*. 20 (1978) 267-269
- 27 **Bonnet**, R., Gerhard, J. P., Massin, M.: Les verres de contact. *Bull Soc Ophtalmol Fr* (1966) Suppl 265
- 28 **Borasio**, E., Mehta, J. S., Maurino, V.: Surgically induced astigmatism after phacoemulsification in eyes with mild to moderate corneal astigmatism: temporal versus on-axis clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 32 (2006) 565- 572
- 29 **Bradley**, M. J., Coombs, J., Olson, R. J.: Analysis of an approach to astigmatism correction during cataract surgery. *Ophthalmologica* 220 (2006) 311- 316
- 30 **Brown**, N.: Quantitative slit-image photography of the lens. *Trans Ophthalmol Soc U K* 92 (1972) 303- 307
- 31 **Brown**, N.: Slit-image photography and measurement of the eye. *Med Biol Illus* 23 (1973) 192- 203
- 32 **Buehl**, W., Findl, O., Menapace, R., Rainer, G., Sacu, S., Kiss, B., Petternel, V., Georgopoulos, M.: Effect of an acrylic intraocular lens with a sharp posterior optic edge on posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 1105- 1111
- 33 **Buehl**, W., Findl, O., Menapace, R., Sacu, S., Kriechbaum, K., Koepl, C., Wirtitsch, M.: Long-term effect of optic edge design in an acrylic intraocular lens on posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 31 (2005) 954- 961
- 34 **Buehl**, W., Menapace, R., Sacu, S., Kriechbaum, K., Koepl, C., Wirtitsch, M., Georgopoulos, M., Findl, O.: Effect of a silicone intraocular lens with a sharp posterior optic edge on posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 30 (2004) 1661- 1667
- 35 **Bühren**, J., Kohnen, T.: Anwendung der Wellenfrontanalyse in Klinik und Wissenschaft: Vom irregulären Astigmatismus zu Aberrationen höherer Ordnung - Teil I: Grundlagen. *Ophthalmologe* 104 (2007) 909- 925

- 36 **Casanova**, G.: Geschichte meines Lebens. In: Loos E. (Hrsg): Propyläen-Verlag, Berlin, 1967, S. 166- 169
- 37 **Cavallini**, G. M., Campi, L., Masini, C., Pelloni, S., Pupino, A.: Bimanual microphacoemulsification versus coaxial miniphacoemulsification: prospective study. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 387- 392
- 38 **Chalita**, M. R., Xu, M., Krueger, R. R.: Correlation of aberrations with visual symptoms using wavefront analysis in eyes after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg* 19 (2003) S682- S686
- 39 **Charman**, W. N.: Wavefront aberration of the eye: a review. *Optom Vis Sci* 68 (1991) 574- 583
- 40 **Chen**, T. T.: Clinical experience with soft intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 13 (1987) 50- 53
- 41 **Cinhuseyinoglu**, N., Celik, L., Yaman, A., Arikan, G., Kaynak, T., Kaynak, S.: Microincisional cataract surgery and Thinoptx rollable intraocular lens implantation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 244 (2006) 802- 807
- 42 **Clayman**, H. M.: Bimanual phacoemulsification. *Aust J Ophthalmol* 12 (1994) 71- 74
- 43 **Cleasby**, G. W.: Bimanual phacoemulsification. *Ophthalmic Surg* 11 (1980) 348- 349
- 44 **Colvard**, D. M. Dunn, S. A.: Intraocular lens centration with continuous tear capsulotomy. *J Cataract Refract Surg* 16 (1990) 312- 314
- 45 **Cravy**, T. V.: Routine use of a lateral approach to cataract extraction to achieve rapid and sustained stabilization of postoperative astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 17 (1991) 415- 423
- 46 **Crema**, A. S., Walsh, A., Yamane, Y., Nose, W.: Comparative study of coaxial phacoemulsification and microincision cataract surgery. One-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 1014- 1018
- 47 **Cumming**, J. S.: Surgical complications and visual acuity results in 536 cases of plate haptic silicone lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 19 (1993) 275- 277
- 48 **Dam-Johansen**, M., Olsen, T.: Induced astigmatism after 4 and 6 mm scleral tunnel incision. A randomized study. *Acta Ophthalmol Scand* 75 (1997) 669- 674
- 49 **Davison**, J. A.: Neodymium:YAG laser posterior capsulotomy after implantation of AcrySof intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 30 (2004) 1492- 1500

- 50 de Souza**, R. F., Allemann, N., Forseto, A., Barros, P. S., Chamon, W., Nose, W.: Ultrasound biomicroscopy and Scheimpflug photography of angle-supported phakic intraocular lens for high myopia. *J Cataract Refract Surg* 29 (2003) 1159- 1166
- 51 Delcourt**, C., Cristol, J. P., Tessier, F., Leger, C. L., Michel, F., Papoz, L.: Risk factors for cortical, nuclear, and posterior subcapsular cataracts: the POLA study. *Pathologies Oculaires Liees a l'Age. Am J Epidemiol* 151 (2000) 497- 504
- 52 Denoyer**, A., Denoyer, L., Marotte, D., Georget, M., Pisella, P. J.: Intraindividual comparative study of corneal and ocular wavefront aberrations after biaxial microincision versus coaxial small-incision cataract surgery. *Br J Ophthalmol* (2008) PMID: 18757472
- 53 Devgan**, U.: Surgical techniques in phacoemulsification. *Curr Opin Ophthalmol* 18 (2007) 19- 22
- 54 Dick**, B., Kohnen, T., Jacobi, F., Jacobi, K. W.: Langzeitergebnisse nach Implantation verschiedener Intraokularlinsen über einen Hornhauttunnel. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 211 (1997) 106- 112
- 55 Dick**, B., Kohnen, T., Jacobi, K. W.: Endothelzellverlust nach Phakoemulsifikation und 3,5 vs. 5 mm Hornhauttunnelinzision. *Ophthalmologie* 92 (1995) 476- 483
- 56 Dick**, B., Schwenn, O., Pfeiffer, N.: Schadensausmaß bei verschiedenen Intraokularlinsenmaterialien durch die Neodymium:YAG-Laser Kapsulotomie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 211 (1997) 263- 271
- 57 Dick**, H. B., Augustin, A. J.: Aktueller Vergleich von Intraokularlinsen - eine Übersicht. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 218 (2001) 469- 478
- 58 Dick**, H. B., Krummenauer, F., Schwenn, O., Krist, R., Pfeiffer, N.: Objective and subjective evaluation of photic phenomena after monofocal and multifocal intraocular lens implantation. *Ophthalmology* 106 (1999) 1878- 1886
- 59 Dick**, H. B., Schwenn, O., Krummenauer, F., Krist, R., Pfeiffer, N.: Inflammation after sclerocorneal versus clear corneal tunnel phacoemulsification. *Ophthalmology* 107 (2000) 241- 247
- 60 Dick**, H. B., Schwenn, O., Krummenauer, F., Weidler, S., Pfeiffer, N.: Refraktion, Vorderkammertiefe, Dezentrierung und Tilt nach Implantation monofokaler und multifokaler Silikonlinsen. *Ophthalmologie* 98 (2001) 380- 386
- 61 Dogru**, M., Honda, R., Omoto, M., Fujishima, H., Yagi, Y., Tsubota, K., Kojima, T., Matsuyama, M., Nishijima, S., Yagi, Y.: Early visual results with the rollable ThinOptX intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 30 (2004) 558- 565

- 62 **Drews**, R. C.: Depth of Field in Slit Lamp Photography. An Optical Solution Using the Scheimpflug Principle. *Ophthalmologica* 148 (1964) 143- 150
- 63 **Dubbelman**, M., Weeber, H. A., van der Heijde, R. G., Volker-Dieben, H. J.: Radius and asphericity of the posterior corneal surface determined by corrected Scheimpflug photography. *Acta Ophthalmol Scand* 80 (2002) 379- 383
- 64 **el Maghraby**, A., Anwar, M., el Sayyad, F., Matheen, M., Marzouky, A., Gazayerli, E., Salah, T., Ballew, C.: Effect of incision size on early postoperative visual rehabilitation after cataract surgery and intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 19 (1993) 494- 498
- 65 **Elbaz**, U., Barkana, Y., Gerber, Y., Avni, I., Zadok, D.: Comparison of different techniques of anterior chamber depth and keratometric measurements. *Am J Ophthalmol* 143 (2007) 48- 53
- 66 **Ernest**, P., Tipperman, R., Eagle, R., Kardasis, C., Lavery, K., Sensoli, A., Rhem, M.: Is there a difference in incision healing based on location? *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) 482- 486
- 67 **Fechner**, P. U.: Ältere Geschichte der Linsenimplantation: Tadini und Casaamata. In: Fechner, P. U. (Hrsg): *Intraokularlinsen Grundlagen und Operationslehre*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1980, 4- 5
- 68 **Fechner**, P. U., Fechner, M. U., Reis, H.: Der Okulist Tadini. Zur Geschichte der künstlichen Augenlinse. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 176 (1980) 1003- 1011
- 69 **Findl**, O., Buehl, W., Menapace, R., Georgopoulos, M., Rainer, G., Siegl, H., Kaider, A., Pinz, A.: Comparison of 4 methods for quantifying posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 29 (2003) 106- 111
- 70 **Fine**, I. H.: Cortical cleaving hydrodissection. *J Cataract Refract Surg* 18 (1992) 508- 512
- 71 **Fine**, I. H., Packer, M., Hoffman, R. S.: New phacoemulsification technologies. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 1054- 1060
- 72 **Gills**, J. P.: Treating astigmatism at the time of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 13 (2002) 2- 6
- 73 **Gimbel**, H. V., Neuhann, T.: Development, advantages, and methods of the continuous circular capsulorhexis technique. *J Cataract Refract Surg* 16 (1990) 31- 37
- 74 **Gimbel**, H. V., Neuhann, T.: Continuous curvilinear capsulorhexis. *J Cataract Refract Surg* 17 (1991) 110- 111

- 75 **Gonvers**, M., Bornet, C., Othenin-Girard, P.: Implantable contact lens for moderate to high myopia: relationship of vaulting to cataract formation. *J Cataract Refract Surg* 29 (2003) 918- 924
- 76 **Grabow**, H. B.: Early results of 500 cases of no-stitch cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 17 Suppl (1991) 726- 730
- 77 **Grueterich**, M., Lackerbauer, C. A., Kampik, A.: Performance of the Acri.Smart 46S intraocular lens in pediatric microincision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 34 (2008) 591- 595
- 78 **Haargaard**, B. Fledelius, H. C.: Down's syndrome and early cataract. *Br J Ophthalmol* 90 (2006) 1024- 1027
- 79 **Haigis**, W.: Biometrie. In: Straub W., Kroll P., Kühle H.J. (Hrsg):*Augenärztliche Untersuchungsmethoden*. Enke, Stuttgart, 1995, S. 255- 304
- 80 **Hammer**, U., Goldhahn, A., Tost, F., Wilhelm, F., Duncker, G. I. W.: Postoperatives Zentrierungsverhalten und Hornhautbefunde bei verschiedenen Silikonfaltlinsen. In: Kohnen, T., Ohrloff, C., Wenzel, M. (Hrsg):*13. Kongreß der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und refraktive Chirurgie*. Biermann, Köln, 13, 1999, S. 115- 118
- 81 **Hayashi**, K., Hayashi, H., Nakao, F., Hayashi, F.: The correlation between incision size and corneal shape changes in sutureless cataract surgery. *Ophthalmology* 102 (1995) 550- 556
- 82 **Hendrickson**, P., Koch H. R.: Photographische Dokumentationsverfahren. In: Hockwin O. Koch H.R. (Hrsg):*Arzneimittelnebenwirkungen am Auge*. Fischer Verlag, Stuttgart, 1977, S. 387- 411
- 83 **Herse**, P., Yao, W.: Variation of corneal thickness with age in young New Zealanders. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 71 (1993) 360- 364
- 84 **Hidalgo-Simón**, A.: Small is beautiful: IOL-Injection through a 1.4 mm incision. *Euro Times* 7 (2002) 17
- 85 **Hild**, M., Kaymak H., Mester U.: Wie genau ist die natürliche Linse zentriert? *Klin Monatsbl Augenheilkd* 225 (2008)
- 86 **Hockwin**, O., Laser, H., Wegener, A.: Investigations on rat eyes with diabetic cataract and naphthalene cataract by Zeiss-Scheimpflug measuring system SLC. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 224 (1986) 502- 506
- 87 **Hoffer**, K. J.: The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 19 (1993) 700- 712

- 88 **Holladay**, J. T., Cravy, T. V., Koch, D. D.: Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery. *J Cataract Refract Surg* 18 (1992) 429- 443
- 89 **Holladay**, J. T., Prager, T. C., Ruiz, R. S., Lewis, J. W., Rosenthal, H.: Improving the predictability of intraocular lens power calculations. *Arch Ophthalmol* 104 (1986) 539- 541
- 90 **Iwase**, T., Tanaka, N., Sugiyama, K.: Postoperative refraction changes in phacoemulsification cataract surgery with implantation of different types of intraocular lens. *Eur J Ophthalmol* 18 (2008) 371- 376
- 91 **Jaffe**, N. S., Eichenbaum, D. M., Clayman, H. M., Light, D. S.: A comparison of 500 Binkhorst implants with 500 routine intracapsular cataract extractions. *Am J Ophthalmol* 85 (1978) 24- 27
- 92 **Javdani**, S. M., Huygens, M. M., Callebaut, F.: Neodymium: YAG capsulotomy rates after phacoemulsification with hydrophobic and hydrophilic acrylic intraocular lenses. *Bull Soc Belge Ophtalmol* (2002) 13- 17
- 93 **Jiang**, Y., Le, Q., Yang, J., Lu, Y.: Changes in corneal astigmatism and high order aberrations after clear corneal tunnel phacoemulsification guided by corneal topography. *J Refract Surg* 22 (2006) S1083- S1088
- 94 **Josifova**, T., Schneider, U., Henrich, P. B., Schrader, W.: Eye disorders in diabetes: potential drug targets. *Infect Disord Drug Targets* 8 (2008) 70- 75
- 95 **Kahraman**, G., Amon, M., Franz, C., Prinz, A., Abela-Formanek, C.: Intraindividual comparison of surgical trauma after bimanual microincision and conventional small-incision coaxial phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 618- 622
- 96 **Kappelhof**, J. P., Vrensen, G. F.: The pathology of after-cataract. A minireview. *Acta Ophthalmol Suppl* (1992) 13- 24
- 97 **Kelman**, C. D.: Phaco-emulsification and aspiration. A new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 64 (1967) 23- 35
- 98 **Khng**, C., Packer, M., Fine, I. H., Hoffman, R. S., Moreira, F. B.: Intraocular pressure during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 32 (2006) 301- 308
- 99 **Khokhar**, S., Lohiya, P., Murugiesan, V., Panda, A.: Corneal astigmatism correction with opposite clear corneal incisions or single clear corneal incision: comparative analysis. *J Cataract Refract Surg* 32 (2006) 1432- 1437

- 100 **Kimura**, W., Kimura, T., Sawada, T., Taguchi, H., Hirokane, C., Ohte, A., Hitani, H.: Postoperative decentration of three-piece silicone intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 22 Suppl 2 (1996) 1277- 1280
- 101 **Klos**, K. M., Richter, R., Schnaudigel, O., Ohrloff, C.: Image analysis of implanted rigid and foldable intraocular lenses in human eyes using Scheimpflug photography. *Ophthalmic Res* 31 (1999) 130- 133
- 102 **Kluge**, F.: Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. Walter de Gruyter GmbH, Berlin, 24 (2002) 876- 877
- 103 **Kluge**, F.: Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. Walter de Gruyter GmbH, Berlin, 24 (2002) 476- 477
- 104 **Koeppl**, C., Findl, O., Kriechbaum, K., Sacu, S., Drexler, W.: Change in IOL position and capsular bag size with an angulated intraocular lens early after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 31 (2005) 348- 353
- 105 **Koh**, S., Maeda, N., Kuroda, T., Hori, Y., Watanabe, H., Fujikado, T., Tano, Y., Hirohara, Y., Mihashi, T.: Effect of tear film break-up on higher-order aberrations measured with wavefront sensor. *Am J Ophthalmol* 134 (2002) 115- 117
- 106 **Kohnen**, T.: The variety of foldable intraocular lens materials. *J Cataract Refract Surg* 22 Suppl 2 (1996) 1255- 1258
- 107 **Kohnen**, T., Dick, B., Jacobi, K. W.: Comparison of the induced astigmatism after temporal clear corneal tunnel incisions of different sizes. *J Cataract Refract Surg* 21 (1995) 417- 424
- 108 **Kohnen**, T., Lambert, R. J., Koch, D. D.: Incision sizes for foldable intraocular lenses. *Ophthalmology* 104 (1997) 1277- 1286
- 109 **Kohnen**, T., Magdowski, G., Koch, D. D.: Oberflächenqualität faltbarer Intraocularlinsen aus Silikon - eine rasterelektronenmikroskopische Studie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 207 (1995) 253- 263
- 110 **Kohnen**, T., Magdowski, G., Koch, D. D.: Scanning electron microscopic analysis of foldable acrylic and hydrogel intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 22 Suppl 2 (1996) 1342- 1350
- 111 **Kondrot**, E. C.: Keratometric cylinder and visual recovery following phacoemulsification and intraocular lens implantation using a self-sealing cataract incision. *J Cataract Refract Surg* 17 Suppl (1991) 731- 733
- 112 **Kremer**, F. B., Walton, P., Gensheimer, G.: Determination of corneal thickness using ultrasonic pachometry. *Ann Ophthalmol* 17 (1985) 506- 507

- 113 **Kubo**, E., Maekawa, K., Tanimoto, T., Fujisawa, S., Akagi, Y.: Biochemical and morphological changes during development of sugar cataract in Otsuka Long-Evans Tokushima fatty (OLETF) rat. *Exp Eye Res* 73 (2001) 375- 381
- 114 **Kucuksumer**, Y., Bayraktar, S., Sahin, S., Yilmaz, O. F.: Posterior capsule opacification 3 years after implantation of an AcrySof and a MemoryLens in fellow eyes. *J Cataract Refract Surg* 26 (2000) 1176- 1182
- 115 **Kurz**, S., Krummenauer, F., Gabriel, P., Pfeiffer, N., Dick, H. B.: Biaxial microincision versus coaxial small-incision clear cornea cataract surgery. *Ophthalmology* 113 (2006) 1818- 1826
- 116 **Lachenmayr**, B.: Optik und Abbildungsfehler. In: Lachenmayr, B., Friedburg, D., Hartmann, E., Buser, A. (Hrsg): *Auge - Brille - Refraktion*. Thieme Verlag, Stuttgart, 4, 2006, S. 111- 117
- 117 **Lachenmayr**, B., Friedburg, D., Hartmann, E., Buser, A.: Subjektive Refraktionsbestimmung. *Auge - Brille - Refraktion*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 4, 2006, S. 59- 65
- 118 **Langerman**, D. W.: Architectural design of a self-sealing corneal tunnel, single-hinge incision. *J Cataract Refract Surg* 20 (1994) 84- 88
- 119 **Leaming**, D. V.: Practice styles and preferences of ASCRS members--1999 survey. *J Cataract Refract Surg* 26 (2000) 913- 921
- 120 **Lee**, A. C., Qazi, M. A., Pepose, J. S.: Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol* 19 (2008) 13- 17
- 121 **Lege**, B. A., Haigis, W.: Laser interference biometry versus ultrasound biometry in certain clinical conditions. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 242 (2004) 8- 12
- 122 **Liang**, J., Grimm, B., Goelz, S., Bille, J. F.: Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 11 (1994) 1949- 1957
- 123 **Linebarger**, E. J., Hardten, D. R., Shah, G. K., Lindstrom, R. L.: Phacoemulsification and modern cataract surgery. *Surv Ophthalmol* 44 (1999) 123- 147
- 124 **Liu**, Z., Huang, A. J., Pflugfelder, S. C.: Evaluation of corneal thickness and topography in normal eyes using the Orbscan corneal topography system. *Br J Ophthalmol* 83 (1999) 774- 778
- 125 **Lutz**, J.: Embryonale Periode (Beginn der 4. Woche bis zum Ende der 8. Woche). In: Collins, J. F. Augustin A. J. (Hrsg): *Augenheilkunde*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, (1997) 870- 871

- 126 Lutz, J.:** Fetale Periode (Beginn des 3. Monats bis zur Geburt). In: Collins, J. F. Augustin, A. J. (Hrsg):Augenheilkunde. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, (1997) 871- 872
- 127 Lutz, J.:** Physiologie, anatomische Abbildungen, Embryologie und Grundbegriffe der Genetik - Anatomische Abbildungen. In: Collins, J. F. Augustin, A. J. (Hrsg):Augenheilkunde. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1997, S. 863- 863
- 128 Lutz, J.:** Postnatale Periode. In: Collins, J. F., Augustin, A. J. Hrsg):Augenheilkunde. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1997, S. 873- 874
- 129 Mamalis, N.,** Brubaker, J., Davis, D., Espandar, L., Werner, L.: Complications of foldable intraocular lenses requiring explantation or secondary intervention-2007 survey update. J Cataract Refract Surg 34 (2008) 1584- 1591
- 130 Mamalis, N.,** Phillips, B., Kopp, C. H., Crandall, A. S., Olson, R. J.: Neodymium: YAG capsulotomy rates after phacoemulsification with silicone posterior chamber intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 22 Suppl 2 (1996) 1296- 1302
- 131 Maraini, G.,** Sperduto, R. D., Ferris, F., Clemons, T. E., Rosmini, F., Ferrigno, L.: A randomized, double-masked, placebo-controlled clinical trial of multivitamin supplementation for age-related lens opacities. Clinical trial of nutritional supplements and age-related cataract report no. 3. Ophthalmology 115 (2008) 599- 607
- 132 Mazzocco, T. R.:** Early clinical experience with elastic lens implants. Trans Ophthalmol Soc U K 104 (Pt 5) (1985) 578- 579
- 133 Meacock, W. R.,** Spalton, D. J., Boyce, J. F., Jose, R. M.: Effect of optic size on posterior capsule opacification: 5.5 mm versus 6.0 mm AcrySof intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 27 (2001) 1194- 1198
- 134 Meek, K. M.,** Dennis, S., Khan, S.: Changes in the refractive index of the stroma and its extrafibrillar matrix when the cornea swells. Biophys J 85 (2003) 2205- 2212
- 135 Menapace, R.:** Prevention of PCO. In: Kohnen, T., Koch D.D. (Hrsg): Cataract and Refractive Surgery, essentials in ophthalmology. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2004, S. 101- 122
- 136 Menapace, R.:** Kapselchirurgie und Linsenwahl: Leitlinien zur Nachstarvermeidung. Spektrum der Augenheilkunde 21/2 (2007) 101- 103
- 137 Menapace, R.:** Nachstarprophylaxe - Ein gelöstes Problem? Spektrum der Augenheilkunde 21 (2007) 166- 178

- 138 Menapace, R.:** Nachstarbildung nach Intraokularlinsenimplantation Teil 1: Genese und Prävention durch die Optimierung konventioneller Linsenimplantate und Operationstechniken. *Ophthalmologie* 104 (2007) 253- 262
- 139 Menapace, R., Amon, M., Papapanos, P., Radax, U.:** Evaluation of the first 100 consecutive PhacoFlex silicone lenses implanted in the bag through a self-sealing tunnel incision using the Prodigy inserter. *J Cataract Refract Surg* 20 (1994) 299- 309
- 140 Menapace, R., Wirtitsch, M., Findl, O., Buehl, W., Kriechbaum, K., Sacu, S.:** Effect of anterior capsule polishing on posterior capsule opacification and neodymium:YAG capsulotomy rates: three-year randomized trial. *J Cataract Refract Surg* 31 (2005) 2067- 2075
- 141 Milauskas, A. T.:** Silicone intraocular lens implant discoloration in humans. *Arch Ophthalmol* 109 (1991) 913- 915
- 142 Möglich, M., Wirbelauer C., Häberle, H.:** Bimanuelle Phakoemulsifikation und Intraokularlinsen für die mikroinzisionale Kataraktchirurgie. In: Behrens-Baumann, W., Auffarth, G. U., Pham, D. T. (Hrsg):19. Kongreß der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und refraktiver Chirurgie. Biermann, Köln, 2005, S. 25- 29
- 143 Möglich, M., Wirbelauer, C., Häberle, H.:** Analyse der okulären Aberrationen nach Mikroinzisionaler-Kataraktchirurgie (MICS). In: Kohnen, T., Auffarth, G. U., Pham, D. T. (Hrsg):Biermann, Köln, 20. Kongreß der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und refraktive Chirurgie, 2006, S. 355- 360
- 144 Monestam, E., Wachmeister, L.:** Impact of cataract surgery on the visual ability of the very old. *Am J Ophthalmol* 137 (2004) 145- 155
- 145 Montes-Mico, R., Alio, J. L., Munoz, G., Perez-Santonja, J. J., Charman, W. N.:** Postblink changes in total and corneal ocular aberrations. *Ophthalmology* 111 (2004) 758- 767
- 146 Muller-Jensen, K., Barlinn, B., Zimmerman, H.:** Astigmatism reduction: no-stitch 4.0 mm versus sutured 12.0 mm clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 22 (1996) 1108- 1112
- 147 Münchow, W.:** Zur Geschichte der intraokularen Korrektur der Aphakie. *Klinische Monatsblätter* 145 (1964) 171- 171
- 148 Naeser, K., Hjortdal, J.:** Polar value analysis of refractive data. *J Cataract Refract Surg* 27 (2001) 86- 94

- 149 Nagamoto, T., Fujiwara, T.:** Inhibition of lens epithelial cell migration at the intraocular lens optic edge: role of capsule bending and contact pressure. *J Cataract Refract Surg* 29 (2003) 1605- 1612
- 150 Nagata, T., Minakata, A., Watanabe, I.:** Adhesiveness of AcrySof to a collagen film. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) 367- 370
- 151 Nagata, T., Watanabe, I.:** Optic sharp edge or convexity: comparison of effects on posterior capsular opacification. *Jpn J Ophthalmol* 40 (1996) 397- 403
- 152 Neuhann, T.:** Theorie und Operationstechnik der Kapsulorhexis. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 190 (1987) 542- 545
- 153 Neumann, A. C., Cobb, B.:** Advantages and limitations of current soft intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 15 (1989) 257- 263
- 154 Nielsen, P. J.:** Prospective evaluation of surgically induced astigmatism and astigmatic keratotomy effects of various self-sealing small incisions. *J Cataract Refract Surg* 21 (1995) 43- 48
- 155 Niesel, P.:** Spaltlampenphotographie der Linse für Messzwecke. *Ophthalmologica* 152 (1966) 387- 395
- 156 Niesel, P.:** Spaltlampenphotographie mit der Haag-Streit-Spaltlampe 900. *Ophthalmologica* 151 (1966) 489- 504
- 157 Ninomiya, S., Fujikado, T., Kuroda, T., Maeda, N., Tano, Y., Oshika, T., Hirohara, Y., Mihashi, T.:** Changes of ocular aberration with accommodation. *Am J Ophthalmol* 134 (2002) 924- 926
- 158 Nishi, O.:** Incidence of posterior capsule opacification in eyes with and without posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 12 (1986) 519- 522
- 159 Nishi, O., Nishi, K.:** Preventing posterior capsule opacification by creating a discontinuous sharp bend in the capsule. *J Cataract Refract Surg* 25 (1999) 521- 526
- 160 Nishi, O., Nishi, K.:** Preventive effect of a second-generation silicone intraocular lens on posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 1236- 1240
- 161 Nishi, O., Nishi, K.:** Effect of the optic size of a single-piece acrylic intraocular lens on posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 29 (2003) 348- 353
- 162 Nishi, O., Nishi, K., Akura, J.:** Speed of capsular bend formation at the optic edge of acrylic, silicone, and poly(methyl methacrylate) lenses. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 431- 437

- 163 Nishi, O., Nishi, K., Akura, J., Nagata, T.:** Effect of round-edged acrylic intraocular lenses on preventing posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 27 (2001) 608- 613
- 164 Nishi, O., Nishi, K., Mano, C., Ichihara, M., Honda, T.:** Lens refilling with injectable silicone in rabbit eyes. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) 975- 982
- 165 Nishi, O., Nishi, K., Mano, C., Ichihara, M., Honda, T.:** The inhibition of lens epithelial cell migration by a discontinuous capsular bend created by a band-shaped circular loop or a capsule-bending ring. *Ophthalmic Surg Lasers* 29 (1998) 119- 125
- 166 Nishi, O., Nishi, K., Osakabe, Y.:** Evaluation of posterior capsule opacification using a new posterior view method in rabbits: single-piece acrylic versus 3-piece acrylic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 31 (2005) 2369- 2374
- 167 Nishi, O., Nishi, K., Sakanishi, K.:** Inhibition of migrating lens epithelial cells at the capsular bend created by the rectangular optic edge of a posterior chamber intraocular lens. *Ophthalmic Surg Lasers* 29 (1998) 587- 594
- 168 Nishi, O., Nishi, K., Wickstrom, K.:** Preventing lens epithelial cell migration using intraocular lenses with sharp rectangular edges. *J Cataract Refract Surg* 26 (2000) 1543- 1549
- 169 Olsen, T., Dam-Johansen, M.:** Evaluating surgically induced astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 20 (1994) 517- 522
- 170 Olson, R. J., Crandall, A. S.:** Prospective randomized comparison of phacoemulsification cataract surgery with a 3.2-mm vs a 5.5-mm sutureless incision. *Am J Ophthalmol* 125 (1998) 612- 620
- 171 Osher, R. H.:** Microcoaxial phacoemulsification Part 2: clinical study. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 408- 412
- 172 Osher, R. H., Injev, V. P.:** Thermal study of bare tips with various system parameters and incision sizes. *J Cataract Refract Surg* 32 (2006) 867- 872
- 173 Osher, R. H., Injev, V. P.:** Microcoaxial phacoemulsification Part 1: laboratory studies. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 401- 407
- 174 Pandey, S. K., Werner, L., Agarwal, A., Agarwal, A., Lal, V., Patel, N., Hoyos, J. E., Callahan, J. S., Callahan, J. D.:** Phakonit. cataract removal through a sub-1.0 mm incision and implantation of the ThinOptX rollable intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 1710- 1713
- 175 Paul, T., Braga-Mele, R.:** Bimanual microincisional phacoemulsification: the future of cataract surgery? *Curr Opin Ophthalmol* 16 (2005) 2- 7

- 176 **Ravin**, J. G.: Henry "Jullundur" Smith's "Extraction of cataract in the capsule": a landmark article. *Arch Ophthalmol* 123 (2005) 544- 545
- 177 **Retzlaff**, J. A., Sanders, D. R., Kraff, M. C.: Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. *J Cataract Refract Surg* 16 (1990) 333- 340
- 178 **Reuland**, M. S., Reuland, A. J., Nishi, Y., Auffarth, G. U.: Corneal radii and anterior chamber depth measurements using the IOLmaster versus the Pentacam. *J Refract Surg* 23 (2007) 368- 373
- 179 **Ridley**, H.: Further observations on intraocular acrylic lenses in cataract surgery. *J Int Coll Surg* 18 (1952) 825- 833
- 180 **Ridley**, H.: Intra-ocular acrylic lenses after cataract extraction. *Lancet* 1 (1952) 118- 121
- 181 **Ridley**, H.: Intra-ocular acrylic lenses; a recent development in the surgery of cataract. *Br J Ophthalmol* 36 (1952) 113- 122
- 182 **Ridley**, H.: Intra-ocular acrylic lenses after cataract extraction. *Bull World Health Organ* 81 (1952) 758- 761
- 183 **Robison**, W. G., Jr., Houlder, N., Kinoshita, J. H.: The role of lens epithelium in sugar cataract formation. *Exp Eye Res* 50 (1990) 641- 646
- 184 **Rodrigues**, M. M., Krachmer, J. H., Hackett, J., Gaskins, R., Halkias, A.: Fuchs' corneal dystrophy. A clinicopathologic study of the variation in corneal edema. *Ophthalmology* 93 (1986) 789- 796
- 185 **Roy**, P. N., Mehra, K. S., Deshpande, P. J.: Cataract surgery performed before 800 B.C. *Br J Ophthalmol* 59 (1975) 171
- 186 **Rucker**, C. W.: Cataract: A Historical Perspective. *Invest Ophthalmol* 4 (1965) 377- 383
- 187 **Samuelson**, S. W., Koch, D. D., Kuglen, C. C.: Determination of maximal incision length for true small-incision surgery. *Ophthalmic Surg* 22 (1991) 204- 207
- 188 **Samuelson**, T. W., Chu, Y. R., Kreiger, R. A.: Evaluation of giant-cell deposits on foldable intraocular lenses after combined cataract and glaucoma surgery. *J Cataract Refract Surg* 26 (2000) 817- 823
- 189 **Sanders**, D. R., Retzlaff, J., Kraff, M. C.: Comparison of the SRK II formula and other second generation formulas. *J Cataract Refract Surg* 14 (1988) 136- 141

- 190 Sanders**, D. R., Retzlaff, J. A., Kraff, M. C., Gimbel, H. V., Raanan, M. G.: Comparison of the SRK/T formula and other theoretical and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 16 (1990) 341- 346
- 191 Schäferhoff**, C., Hammer, T., Werschnik, C., Duncker, G. I. W., Wilhelm F.: Untersuchung zur Positionsstabilität der Acri.Smart-Linse. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde Band 221 Supplement 1* (2004) S3- S3
- 192 Schäferhoff**, C., Hammer, T., Wilhelm, F., Werschnik, C.: Ein-Jahres-Ergebnisse der Lagestabilität der Acri.Smart-Linse. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde Band 222 Supplement 2* (2005) S7- S7
- 193 Schäferhoff**, C., Hammer, T., Sel, S., Wilhelm, F.: Langzeitergebnisse des Astigmatismusverlaufes und der Lagestabilität nach bimanueller Phakoemulsifikation und Implantation der Linse 48S-5. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 224 (2007)
- 194 Schauersberger**, J., Amon, M., Kruger, A., Abela, C., Schild, G., Kolodjaschna, J.: Comparison of the biocompatibility of 2 foldable intraocular lenses with sharp optic edges. *J Cataract Refract Surg* 27 (2001) 1579- 1585
- 195 Schaumberg**, D. A., Dana, M. R., Christen, W. G., Glynn, R. J.: A systematic overview of the incidence of posterior capsule opacification. *Ophthalmology* 105 (1998) 1213- 1221
- 196 Schiferli**, R. A.: Theoretisch praktische Abhandlung über den grauen Star. Gabler, Jena und Leipzig, (1797)
- 197 Schlötzer-Schrehardt**, U., Naumann, G. O. H.: Linse. In: Naumann G. O. H. (Hrsg): *Pathologie des Auges II*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2 (1997) 875- 879
- 198 Schmickler**, S.: Postoperative changes in refraction and anterior chamber depth in different multifocal intraocular lenses. *J Refract Surg* 24 (2008) 306- 308
- 199 Schmidbauer**, J. M., Escobar-Gomez, M., Apple, D. J., Peng, Q., Arthur, S. N., Vargas, L. G.: Effect of haptic angulation on posterior capsule opacification in modern foldable lenses with a square, truncated optic edge. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 1251- 1255
- 200 Schmidbauer**, J. M., Vargas, L. G., Apple, D. J., Auffarth, G. U., Peng, Q., Arthur, S. N., Escobar-Gomez, M.: Nachstarrate, Zentrierverhalten, Biokompatibilität und Fixation intraokularer Faltlinsen - eine Milleniumsanalyse 1221 pseudophaker Autopsieaugen. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 218 (2001) 649- 657

- 201 **Schmitz**, S., Dick, H. B., Krummenauer, F., Schwenn, O., Krist, R.: Contrast sensitivity and glare disability by halogen light after monofocal and multifocal lens implantation. *Br J Ophthalmol* 84 (2000) 1109- 1112
- 202 **Schwenn**, O., Kottler, U., Krummenauer, F., Dick, H. B., Pfeiffer, N.: Effect of large positioning holes on capsule fixation of plate-haptic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 26 (2000) 1778- 1785
- 203 **Seth**, R. K., Abedi, G., Daccache, A. J., Tsai, J. C.: Cataract secondary to electrical shock from a Taser gun. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 1664- 1665
- 204 **Sharan**, S., Sharma, S., Billson, F. A.: Congenital rubella cataract: a timely reminder in the new millennium? *Clin Experiment Ophthalmol* 34 (2006) 83- 84
- 205 **Singer**, J. A.: Frown incision for minimizing induced astigmatism after small incision cataract surgery with rigid optic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 17 Suppl (1991) 677- 688
- 206 **Späth**, U., Liekfeld, A., Hartmann, C., Pham, D. T.: Nachstarentwicklung nach Implantation der Acryl-Intraokularlinsen Akreos Disc[®] und Akreos Fit[®] - Pilotstudien. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 220 (2003) 695- 698
- 207 **Spiegel**, A. D., Springer, C. R.: Babylonian medicine, managed care and Codex Hammurabi, circa 1700 B.C. *J Community Health* 22 (1997) 69- 89
- 208 **Steinert**, R. F., Deacon, J.: Enlargement of incision width during phacoemulsification and folded intraocular lens implant surgery. *Ophthalmology* 103 (1996) 220- 225
- 209 **Steinert**, R. F., Puliafito, C. A., Kumar, S. R., Dudak, S. D., Patel, S.: Cystoid macular edema, retinal detachment, and glaucoma after Nd:YAG laser posterior capsulotomy. *Am J Ophthalmol* 112 (15-10-1991) 373- 380
- 210 **Subramaniam**, S., Tuft, S. J.: Early decentration of plate-haptic silicone intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 27 (2001) 330- 332
- 211 **Sugita**, M., Kato, S., Sugita, G., Oshika, T.: Migration of lens epithelial cells through haptic root of single-piece acrylic-foldable intraocular lens. *Am J Ophthalmol* 137 (2004) 377- 379
- 212 **Tanaka**, T., Koshika, S., Usui, M.: Cataract surgery using the bimanual phacoemulsification technique with an Accurus system and Mackool microphaco tip. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 1770- 1774
- 213 **Taskapili**, M., Gulkilik, G., Ozsutcu, M., Kucuksahin, H.: Acute bilateral dense cortical cataracts as a first manifestation of juvenile diabetes mellitus in a 12-year-old girl. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 45 (2008) 177- 178

- 214 **Tester**, R., Pace, N. L., Samore, M., Olson, R. J.: Dysphotopsia in phakic and pseudophakic patients: incidence and relation to intraocular lens type(2). *J Cataract Refract Surg* 26 (2000) 810- 816
- 215 **Thibos**, L. N., Applegate, R. A., Schwiegerling, J. T., Webb, R.: Standards for reporting the optical aberrations of eyes. *J Refract Surg* 18 (2002) S652- S660
- 216 **Timson**, D. J., Reece, R. J.: Functional analysis of disease-causing mutations in human galactokinase. *Eur J Biochem* 270 (2003) 1767- 1774
- 217 **Tognetto**, D., Sanguinetti, G., Cernobori, R., Basile, A., Ravalico, G., Bussani, R., Silvestri, F.: Intraocular lens decentration and posterior capsule opacification: anatomic-pathologic findings after implantation of AMOSI40 IOLS. *Eur J Ophthalmol* 16 (2006) 46- 51
- 218 **Truscott**, R. J.: Human cataract: the mechanisms responsible; light and butterfly eyes. *Int J Biochem Cell Biol* 35 (2003) 1500- 1504
- 219 **Tscherning**, M.: Die monochromatischen Aberrationen des menschlichen Auges. *Z Psychol Physiol Sinne* 6 (1984) 456- 471
- 220 **Tsuneoka**, H., Shiba, T., Takahashi, Y.: Ultrasonic phacoemulsification using a 1.4 mm incision: clinical results. *J Cataract Refract Surg* 28 (2002) 81- 86
- 221 **Uusitalo**, R. J., Ruusuvaara, P., Jarvinen, E., Raivio, I., Krootila, K.: Early rehabilitation after small incision cataract surgery. *Refract Corneal Surg* 9 (1993) 67- 70
- 222 **Vasavada**, V., Vasavada, V., Raj, S. M., Vasavada, A. R.: Intraoperative performance and postoperative outcomes of microcoaxial phacoemulsification. Observational study. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 1019- 1024
- 223 **Verbruggen**, K. H., Rozema, J. J., Gobin, L., Coeckelbergh, T., De Groot, V., Tassignon, M. J.: Intraocular lens centration and visual outcomes after bag-in-the-lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 33 (2007) 1267- 1272
- 224 **Versura**, P., Torreggiani, A., Cellini, M., Caramazza, R.: Adhesion mechanisms of human lens epithelial cells on 4 intraocular lens materials. *J Cataract Refract Surg* 25 (1999) 527- 533
- 225 **Wegener** A.: Retroillumination. In: Straub, W., Kroll, P., Kühle, H. J. (Hrsg): *Augenärztliche Untersuchungsmethoden*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 1995, S. 106- 111
- 226 **Wegener**, A.: Densitometrie der Linse, Retroillumination, Scheimpflugsysteme. In: Kroll, P., Kühle, M., Kühle, H. J. (Hrsg): *Augenärztliche Untersuchungsmethoden*. Thieme, Stuttgart New York, 3, 2007, S. 330- 337

- 227 **Wegener**, A., Laser, H.: Imaging of the spatial density distribution on the capsule of the lens with Scheimpflug photography. *Ophthalmic Res* 28 Suppl 2 (1996) 86- 91
- 228 **Wegener**, A., Laser, H.: Optische Schnittbild-Vermessung des vorderen Augenabschnittes nach Scheimpflug: Möglichkeiten und Grenzen - eine Übersicht. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 218 (2001) 67- 77
- 229 **Weikert**, M. P.: Update on bimanual microincisional cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 17 (2006) 62- 67
- 230 **Werschnik**, C., Wilhelm, F.: Kleinschnittchirurgie bei kombinierten Eingriffen. Vortrag auf dem 106. Kongreß der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft e.V. Berlin (2008)
- 231 **Wilbrandt**, H. R., Wilbrandt, T. H.: Evaluation of intraocular pressure fluctuations with differing phacoemulsification approaches. *J Cataract Refract Surg* 19 (1993) 223- 231
- 232 **Wilhelm**, F., Cseke, C., Werschnik, C.: Phakoemulsifikation über die Parazentesen mit dem bimanuellen System. *Ophthalmol-Chirurgie* 16 (2004) 17- 24
- 233 **Wilhelm**, F., Kietzmann, G., Freitag, H.: Zur Korrelation von prognostizierter und tatsächlich erreichter Refraktion. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 209 (1996) 114- 116
- 234 **Wirbelauer**, C., Pham, D. T.: Einfluß der Geometrie und der Polymere auf die biomechanische Verformbarkeit von Intraokularlinsen aus Hydrophilem Acrylat. In: Kohnen, T., Auffarth, G. U., Pham, D. T. (Hrsg): Biermann, Köln, 2006, S. 143- 151
- 235 **Wirbelauer**, C., Pham, D. T.: Potenzial und Probleme der hydrophilen Acrylmaterialien für Intraokularlinsen. In: Kohnen, T., Auffarth, G. U., Pham, D. T. (Hrsg): Biermann, Köln, 20. Kongreß der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und refraktive Chirurgie 2006, S. 115- 125
- 236 **Wirbelauer**, C., Pham, D. T.: Operative Erfahrungen mit der koaxialen Phakoemulsifikation. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 225 (2008) 212- 216
- 237 **Wolf**, N., Pendergrass, W., Singh, N., Swisshelm, K., Schwartz, J.: Radiation cataracts: mechanisms involved in their long delayed occurrence but then rapid progression. *Mol Vis* 14 (2008) 274- 285
- 238 **Worst**, J.: Extracapsular surgery in lens implantation (Binkhorst lecture). Part iv. Some anatomical and pathophysiological implications. *J Am Intraocul Implant Soc* 4 (1978) 7- 14

- 239 Zernike, F.:** Beugungstheorie des Schneidenverfahrens und seiner verbesserten Form, der Phasenkontrastmethode. *Physica* 1 (1934) 689- 704
- 240 Zhu, M., Collins, M. J., Robert, I. D.:** Microfluctuations of wavefront aberrations of the eye. *Ophthalmic Physiol Opt* 24 (2004) 562- 571

7 Thesen

1. Die Entwicklung der Microincisional Cataract Surgery war nach Entwicklung der Phakoemulsifikation und der Faltlinsen ein weiterer Fortschritt auf dem Weg der Kleinschnittchirurgie.
2. Die Intraokularlinse Acri.Smart 48S-5[®] war nach Angaben der Firma Acri.Tec[®] die erste zugelassene Linse weltweit, die über eine Inzision unter 2 mm implantiert werden konnte.
3. Da die Intraokularlinse im Verlauf den bei der Kapselsackfibrosierung auftretenden Kräften standhalten muss, während der Implantation aber stark gefaltet wird, wurde die Lagestabilität der Linse im Kapselsack bei 15 Patienten untersucht. Hierbei wurde die Lage der Kunstlinse anhand der Vorderkammertiefe zur Messung einer Bewegung nach vorne oder hinten, mittels Scheimpflugaufnahmen zur Bestimmung einer Verkippung der Linse sowie durch Retro-Illuminzenzaufnahmen zur Messung eines Seitwärtsshiftes präoperativ, 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ bestimmt.
4. Eine mögliche Induktion des kornealen Astigmatismus wurde anhand der Keratometerwerte, gemessen mit dem IOLMaster[®] und dem Kerato-Refraktometer KR-7000P[®], untersucht.
5. Das erreichte sphärische Äquivalent entspricht der für die Linse Acri.Smart 48S-5[®] berechneten postoperativen Refraktion in ausreichendem Ausmaß.
6. Die Vorderkammertiefe wies bei den untersuchten Patienten keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Zeitpunkten 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre nach Microincision Cataract Surgery auf.
7. Eine statistisch signifikante Änderung der Verkippung der Linse Acri.Smart 48S-5[®] bei 0° konnte im Vergleich der postoperativen Zeitpunkte 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre nicht nachgewiesen werden.
8. Bei 90° konnte unter Ausschluss der Ausreißer ebenfalls keine statistisch signifikante Änderung der Verkippung der Linse Acri.Smart 48S-5[®] im Vergleich der 3 postoperativen Messzeitpunkte nachgewiesen werden.
9. Die Verkippung der Linse Acri.Smart 48S-5[®] war zu den Zeitpunkten 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre nach Katarakt-OP in der Ebene 0° höher als in der Ebene 90°.
10. Die Bestimmung der Linsenverkippung wurde manuell durchgeführt. Hier sind automatisierte Berechnungen zu empfehlen.

11. Mittels Retro-Illumineszenzaufnahmen konnte keine statistisch signifikante Änderung der Lage der Linse Acri.Smart 48S-5[®] zu den postoperativen Zeitpunkten 6 Monate, 1 Jahr und 3 Jahre nach Microincision Cataract Surgery nachgewiesen werden.
12. Die Verschiebung der Linse Acri.Smart 48S-5[®] in der Frontalebene lag im Vergleich mit anderen Linsentypen im unteren Bereich.
13. Eine statistisch signifikante Veränderung des meridionalen Astigmatismus konnte nur im Vergleich der Messergebnisse der Keratometerwerte zu den Zeitpunkten präoperativ und 6 Monate postoperativ nachgewiesen werden. Zwischen den Ergebnissen der Messwerte zu den Zeitpunkten präoperativ, 1 Jahr und 3 Jahre postoperativ wurde kein statistisch signifikanter Unterschied gefunden.
14. Es wurde keine statistisch signifikante Veränderung der obliquen Polarwerte im Vergleich der Messwerte zu den 4 Untersuchungszeitpunkten nachgewiesen.
15. Die mit dem IOLMaster[®] gemessenen gemittelten Keratometerwerte waren zu den 4 Untersuchungszeitpunkten im Vergleich mit den Werten des Kerato-Refraktometer KR-7000P[®] niedriger und unterschieden sich statistisch signifikant. Allerdings lag eine sehr hohe Korrelation der Werte vor. Die Werte sind daher nicht ohne Umrechnung übertragbar.
16. Eine Korrelation des Wellenfrontfehlers Coma mit der Verkippung der Kunstlinse konnte im Gegensatz zu anderen Arbeiten nicht zu allen Untersuchungszeitpunkten nachgewiesen werden.
17. Die im Vergleich zu anderen Kunstlinsen höhere Nachstarentwicklung wird auf die kleinere Linsenoptik von 5,5 mm und die Form der Plattenhaptik der Linse Acri.Smart 48S-5[®] zurückgeführt. Da die Nachfolgemodelle eine Optik von 6 mm besitzen, sollten diese Kunstlinsen ebenfalls in Studien untersucht werden. Standardisierte Untersuchungsverfahren zur Nachstarbestimmung sind hierfür wünschenswert.
18. Komplikationen bei der Microincision Cataract Surgery wurden nicht nachgewiesen.
19. Durch die Kombination der Microincision Cataract Surgery mit der 23 Gauge-Vitrektomie ist auch bei Kombinationsoperationen eine minimal invasive Ophthalmomikrochirurgie möglich.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Christian Schäferhoff
Geburtsdatum: 11. Februar 1975
Geburtsort: Singen / Hohentwiel
Familienstand: verheiratet mit Dr. med. Anne Schäferhoff

Schulausbildung

1981 – 1983 Lerchenäckerschule, Esslingen am Neckar
1983 – 1986 Silcherschule, Esslingen am Neckar
1986 – 1995 Georgii – Gymnasium, Esslingen am Neckar
28.06.1995 Abschluss mit dem Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife

Zivildienst

1995 – 1996 Station für Gastroenterologie und Infektiologie der Städtischen Kliniken Esslingen am Neckar

Studium

10/1996 – 11/2002 Medizinstudium an der Universität Rostock
08.09.1998 Physikum
31.08.1999 Erstes Staatsexamen
17.09.2001 Zweites Staatsexamen
24.10.2002 Drittes Staatsexamen
25.10.2002 Erlaubnis für die Tätigkeit als Arzt im Praktikum

Praktisches Jahr

22.10.2001 – 22.09.2002

1. Terial, Augenheilkunde: Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde der Universität Rostock, Direktor: Prof. Dr. med. R. Guthoff
2. Terial, Chirurgie: Chirurgische Klinik und Poliklinik der Universität Rostock, Kommissarischer Direktor: Prof. Dr. med. W. Schareck
Department of Surgery der East State Tennessee University, James H. Quillen College of Medicine, Johnson City, USA
Direktor: D. N. Walters, M. D.

3. Terial, Innere Medizin: Teaching Hospital of the Medical School der East State Tennessee University, James H. Quillen College of Medicine, Johnson City, USA
Executive Associate Dean for Academic and Faculty Affairs:
P. C. Bagnell, M. D.

Facharztausbildung

01.12.2002 – 31.05.2004 Arzt im Praktikum an der Universitätsklinik und Poliklinik für Augenheilkunde der Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg,
Direktor: Prof. Dr. med. G. I. W. Duncker

30.06.2004 Approbation als Arzt

01.07.2004 – 04.06.2008 Arzt in Weiterbildung an der Augenklinik der HELIOS Kliniken Schwerin, Lehrkrankenhaus der Universität Rostock,
Direktor: Prof. Dr. med. F. Wilhelm

04.06.2008 Anerkennung als Facharzt für Augenheilkunde nach der Weiterbildungsordnung vom 01.08.1996

seit 05.06.2008 Facharzt an der Augenklinik der HELIOS Kliniken Schwerin, Lehrkrankenhaus der Universität Rostock,
Direktor: Prof. Dr. med. F. Wilhelm

Schwerin, den 01.12.2008 Christian Schäferhoff

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbst verfasst und mich dabei keiner anderen als der von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel bedient habe, sowie wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Schwerin, den 01.12.2008 Christian Schäferhoff

Hinweis auf Publikationen

- Vorträge zu dieser Arbeit wurden auf folgenden Fortbildungen gehalten:

18. Kongress der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation

Untersuchung zur Positionsstabilität der Acri.Smart-Linse

Schäferhoff C., Hammer T., Werschnik C, Duncker G.I.W., Wilhelm F.

Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Band 221 Supplement, S3, 2004

54. Tagung der Vereinigung Norddeutscher Augenärzte

Ein-Jahres-Ergebnisse der Lagestabilität der Acri.Smart-Linse

Schäferhoff C., Hammer T., Wilhelm F., Werschnik C.

Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Band 222 Supplement 2, S7, 2005

- Poster zu dieser Arbeit:

105. Kongress der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft e.V. (2007)

Langzeitergebnisse des Astigmatismusverlaufes und der Lagestabilität nach bimanueller Phakoemulsifikation und Implantation der Linse 48S-5[®]

Schäferhoff C, Hammer T, Sel S, Wilhelm F., Werschnik C.

Erklärung über frühere Promotionsversuche

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich weder diese noch eine andere Dissertation früher oder jetzt an einer in- und ausländischen Fakultät zu Promotionszwecken eingereicht habe.

Schwerin, den 01.12.2008 Christian Schäferhoff

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. F. Wilhelm herzlich bedanken für die Vergabe des interessanten Themas dieser Arbeit, seine stetige Unterstützung und wertvolle inhaltliche Beratung jederzeit im Verlauf des Entstehens sowie für seine abschließende kritische Durchsicht der vorliegenden Arbeit.

Herrn Prof. Dr. G. I. W. Duncker danke ich dafür, dass er mir die Untersuchung der Patienten über einen Zeitraum von 3 Jahren an der Universitätsklinik und Poliklinik für Augenheilkunde Halle-Wittenberg ermöglichte.

Herrn PD Dr. Th. Hammer danke ich herzlich für seine fachliche Hilfe und die anregenden Gespräche.

Herrn Dr. S. Sel danke ich für seine organisatorische Unterstützung bei der Untersuchung der Patienten. Ohne seine Hilfe wäre die Fortführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Frau Dr. C. Werschnik und meiner Schwester Beate danke ich herzlich für ihre sorgfältigen Korrekturen und hilfreichen Kommentare.

Danken möchte ich auch sehr Frau R. Steinicke, die mir bei der Untersuchung der Patienten stets hilfreich zur Seite stand und Informationen zu allen Geräten liefern konnte.

Ein großes Dankeschön gilt auch allen anderen Mitarbeitern der Universitätsklinik und Poliklinik für Augenheilkunde der Universität Halle/Saale, die mir bei der Arbeit direkt oder indirekt ihre Hilfe zuteil werden ließen.

Frau Dipl.-Ing. S. Lange danke ich für die statistische Auswertung der Daten und ihre erklärenden Ausführungen zu statistischen Verfahren.

Meiner Frau Anne danke ich für ihre ausdauernde Hartnäckigkeit, mit der sie mich zur Fertigstellung dieser Arbeit motivierte.