

Augenklinik und Poliklinik  
der Technischen Universität München  
Klinikum rechts der Isar  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. (Lon.) Chr.-P. Lohmann)

# Die Veränderung des cornealen Astigmatismus bei limbalem Schnitt

Heiko Lodes

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Dr. (Lon.) Chr.-P. Lohmann
2. Priv.-Doz. Dr. Univ. Tel-Aviv med. Fac. A. Wegner

Die Dissertation wurde am 20.11.2006 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 27.06.2007 angenommen.

1	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	4
2	EINLEITUNG	5
3	FRAGESTELLUNG	7
4	PATIENTEN UND METHODEN	8
4.1	Patientenauswahl	8
4.1.1	Patientenkollektiv	8
4.1.2	Ausschlusskriterien	8
4.2	Operationstechnik	9
4.2.1	Postoperative Therapie	11
4.3	Untersuchungsmethoden	12
4.3.1	Voruntersuchung	12
4.3.2	Nachuntersuchung	13
5	ERGEBNISSE	15
5.1	Biographische Daten	15
5.2	Visus und Refraktion	18
5.3	Der chirurgisch induzierte Astigmatismus	19
5.3.1	Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, K-Reading, IOL-Wert, Achsenlänge, Diabetes und Makulopathie	21
5.3.2	Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit vom Ausgangsstigmatismus	23

5.3.3	Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit von Ausgangsastigmatismus und Achse	24
5.3.4	Altersverteilung innerhalb der Gruppen 1, 2 und 3	30
6	DISKUSSION	32
6.1	Die Beurteilung des chirurgisch induzierten Astigmatismus in anderen Studien	32
6.1.1	Clear-Cornea-Schnitt von „12 Uhr“	32
6.1.2	Skleraler Zugang bei „12 Uhr“	33
6.1.3	Clear Cornea Schnitt von temporal	35
6.1.4	Skleraler Zugang von temporal	36
6.1.5	Zugang von nasal, Clear-Cornea und Skleral	37
6.1.6	Andere Zugänge als temporal und „12 Uhr“	38
6.1.7	Zugang im Bereich des steilsten Meridians	39
6.2	Warum ist der chirurgisch induzierte Astigmatismus je nach Schnittlage unterschiedlich?	40
6.3	Welche Parameter beeinflussen den chirurgisch induzierten Astigmatismus ?	41
6.3.1	Die untersuchten Einflussgrößen	41
6.3.2	Präoperativer Astigmatismus und chirurgisch induzierter Astigmatismus	42
6.4	Schlussfolgerung	44
6.4.1	Beeinflussung des Astigmatismus durch die Wahl des operativen Zuganges	44
6.4.2	Techniken der Astigmatismuskorrektur	45
6.4.3	Empfehlungen zur operativen Vorgehensweise	46
7	ZUSAMMENFASSUNG	47
8	LITERATURVERZEICHNIS	49

9	TABELLENVERZEICHNIS	69
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	70
11	DANKSAGUNG	71

# 1 Abkürzungsverzeichnis

AK	astigmatische Keratotomie
AMD	altersabhängige Makuladegeneration
ATR	against-the-rule, (Zylinder) gegen die Regel
Bent	(Zugang) between nine and twelve
D	Dioptrie
ECCE	Extracapsular cataract extraction, Extrakapsuläre Kataraktextraktion
IOL	Intraokularlinse
LASEK	Laser Epitheliale Keratomileusis
LASIK	Laser in situ Keratomileusis
LRI	Limbal Relaxing Incision
MVZ	Medizinisches Versorgungszentrum
PMMA	Polymethylmethacrylat, starrer Kunststoff zur Linsenherstellung
PRK	Photorefraktive Keratektomie
SIA	Surgical induced Astigmatism, chirurgisch induzierter Astigmatismus
SIRC	surgical induced refractive change, chirurgisch induzierte Refraktionsänderung
WTR	with-the-rule, (Zylinder) mit der Regel

## 2 Einleitung

Die Katarakt-Chirurgie unterliegt einer ständigen Entwicklung und Veränderung [58, 105]. Im Bereich der Schnitttechnik sind die Verkleinerung der Schnittbreiten, die Entwicklung selbstschließender Tunnelschnitte ohne Naht und der Übergang zur Clear-Cornea-Chirurgie zu nennen. Noch vor wenigen Jahren wurde der Hornhautastigmatismus, der nach einer ECCE-Operation oft beträchtliche Werte erreichen kann und sich über einen langen Zeitraum verändert, billigend in Kauf genommen [11, 22, 23, 70, 83, 93]. Später versuchte man durch unterschiedliche Techniken, wie spezielle Skleratunnel [20, 24] oder Nahttechniken [23, 53, 59], den chirurgisch induzierten Astigmatismus zu kontrollieren. Die Entwicklung der Phakoemulsifikation ermöglichte es, die Schnittbreiten von 12,0 mm auf 3,0 mm zu reduzieren. Da zu dieser Zeit vorwiegend starre Kunstlinsen aus PMMA eingesetzt wurden, musste der Hornhautschnitt erweitert werden, um die IOL im Durchmesser von 5,5–6,5 mm einsetzen zu können. Sehr häufig wurde dabei der korneosklerale Zugang von „12 Uhr“ gewählt. Lag der chirurgisch induzierte Astigmatismus bei der ECCE mit Schnittbreiten von 10-12 mm noch bei Werten von 1,0–3,5 D [11, 22, 64, 65, 70], reduzierte er sich bei den 6-mm-Schnitten auf Werte um 0,5–1,0 D [12, 20, 48]. Aufgrund des nun geringeren chirurgisch induzierten Astigmatismus, konnte man den postoperativen Astigmatismus des Patienten gering halten.

Besteht präoperativ ein Hornhautastigmatismus, so soll dieser durch die Schnitttechnik nicht weiter erhöht werden, sondern gleich bleiben oder idealerweise erniedrigt werden.

Durch einen Hornhautschnitt verursacht man eine Abflachung der Hornhaut im Schnittmeridian und bewirkt dadurch eine Reduzierung der Brechkraft. Durch das Auseinanderweichen der Wundränder nimmt der Hornhautumfang zu, die Brechkraft nimmt ab. Gleichzeitig kommt es im 90° dazu liegenden Meridian zu einer Aufsteilung der Hornhaut. Die Gesamtbrechkraft der Hornhaut bleibt in etwa gleich [95]. Ein Schnitt bei „12 Uhr“ verursacht einen Astigmatismus gegen die Regel (ATR), das bedeutet die Zunahme des Minus-Astigmatismus bei 90°. Durch die Einführung der Falmlinse konnte die Schnittbreite auf 3,5-4,0 mm reduziert werden und der chi-

chirurgisch induzierte Astigmatismus weiter verringert werden. Erst durch das Aufkommen des limbalen Zuganges und des Clear-Cornea-Zuganges, bei dem die Bindehaut nicht mehr eröffnet werden muss, vergrößerte sich wieder der chirurgisch induzierte Astigmatismus [30, 73]. Obwohl Nielsen keinen signifikanten Unterschied des chirurgisch induzierte Astigmatismus bei temporalen und 12-Uhr-Zugang fand [72], war auffallend, dass bei temporalem Zugang der chirurgisch induzierte Astigmatismus niedriger als bei anderen Meridianen war [94].

Die Verwendung von Linsen-Shootersystemen ermöglicht es, die Schnittbreite auf 2,5-3,0 mm zu reduzieren und damit die operativ bedingte Hornhautverkrümmung auf ein minimales Maß zu reduzieren.

Aus vielerlei Gründen bietet die Katarakt-Operation von „12 Uhr“ für den Operateur Vorteile. Die Sitzposition des Operateurs und der OP-Schwester sowie die Position des OP-Tisches, der Phakomaschine und der Fußpedale können gleich bleiben, unabhängig davon, ob rechte oder linke Augen operiert werden. Für den Operateur besteht bessere Beinfreiheit unter der OP-Liege und leichtere Erreichbarkeit der Fußpedale. Vorteilhaft ist auch die Möglichkeit bei der Operation von Superior, dass der Operateur die Hand auf der Stirn des Patienten abstützen kann. Der Zugang von „12 Uhr“ bietet bei genauer Betrachtung vor allem Vorteile für den Operateur. Für den Erfolg der Operation spielt die postoperative Refraktion eine entscheidende Rolle. Es muss überprüft werden, ob der 3,0-mm-Clear-Cornea-Zugang von „12 Uhr“ die postoperative Refraktion beeinflusst und damit die Qualität der Operation mindert.

### 3 Fragestellung

1. Verändert sich durch die Operation der Hornhautastigmatismus ?

Führt ein Clear-Cornea-Schnitt von 3,0 mm Breite, angelegt bei 12 Uhr, zu einer signifikanten Änderung der Hornhautverkrümmung ?

Ziel dieser Studie ist es, die Entwicklung des kornealen Astigmatismus nach Stabilisierung der Hornhaut aufzuzeigen.

2. Welchen Einfluss haben die Faktoren Alter, Geschlecht, K-Reading, IOL-Wert, Achsenlänge, Diabetes und Makulopathie auf den chirurgisch induzierten Astigmatismus ?

3. Welche Konsequenzen ergeben sich für die Operationsplanung ?



## **4 Patienten und Methoden**

### **4.1 Patientenauswahl**

#### **4.1.1 Patientenkollektiv**

In diese retrospektive Fall-Kontroll-Studie wurden konsekutiv Patienten aufgenommen, die routinemäßig zur Grauen-Star-Operation vorgesehen waren. Alle Patienten wurden zwischen August 2004 und März 2005 operiert und 3 bis 6 Monate nach dem Eingriff erneut untersucht.

Insgesamt wurden 139 Augen von 103 Patienten ausgewertet.

67 (65%) der Patienten wurden an einem Auge operiert, 36 (35%) an beiden Augen.

Die Patienten wurden ambulant im MVZ Fürth operiert und dort nachuntersucht.

#### **4.1.2 Ausschlusskriterien**

Ausschlusskriterien waren irregulärer Hornhautastigmatismus, Hornhautnarben, Zonulaschwäche, Zonuladefekte und voroperierte Augen. Kam es intraoperativ zu Komplikationen wie Kapselruptur oder Hornhautschäden (Fehlschnitt, Phakoburn) oder war ein nahtfreier Wundverschluss nicht zu erreichen, so wurden diese Patienten von der Studie ausgeschlossen.

## 4.2 Operationstechnik

Durchgeführt wurden die Katarakt-Operationen von 3 unterschiedlichen Operateuren mit der jeweils selben Technik. Nach Parabulbär- oder Tropfanästhesie wurde bei „12 Uhr“ ein limbusnaher Clear-Cornea-Schnitt durchgeführt.

Zuerst wird mit einer 15°-Lanze (Alcon® 15° Ophtalmic Knive) am Limbus ein 3,0 mm breiter Schnitt mit einer Tiefe von 1/3–1/2 der Hornhautdicke vorgelegt. Anschließend wird mit der Lanze (Alcon® 3mm ClearCut) ein 1,5-2,5 mm langer Tunnel präpariert. Zwei Parazenthesen links und rechts des Hauptschnittes bei 10 Uhr und 2 Uhr mit Hilfe einer 15° Lanze (Alcon® 15° Ophtalmic Knive) und 1,0 mm Breite vervollständigen die Zugänge ins Auge.



**Abbildung 1** Alcon® 3mm ClearCut

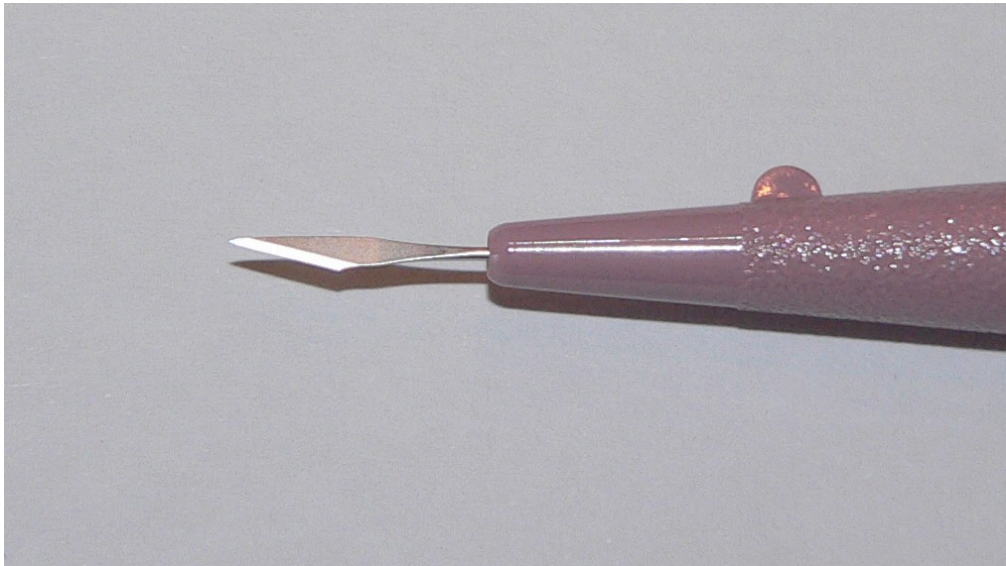


Abbildung 2 Alcon® 15° Ophthalmic Knife

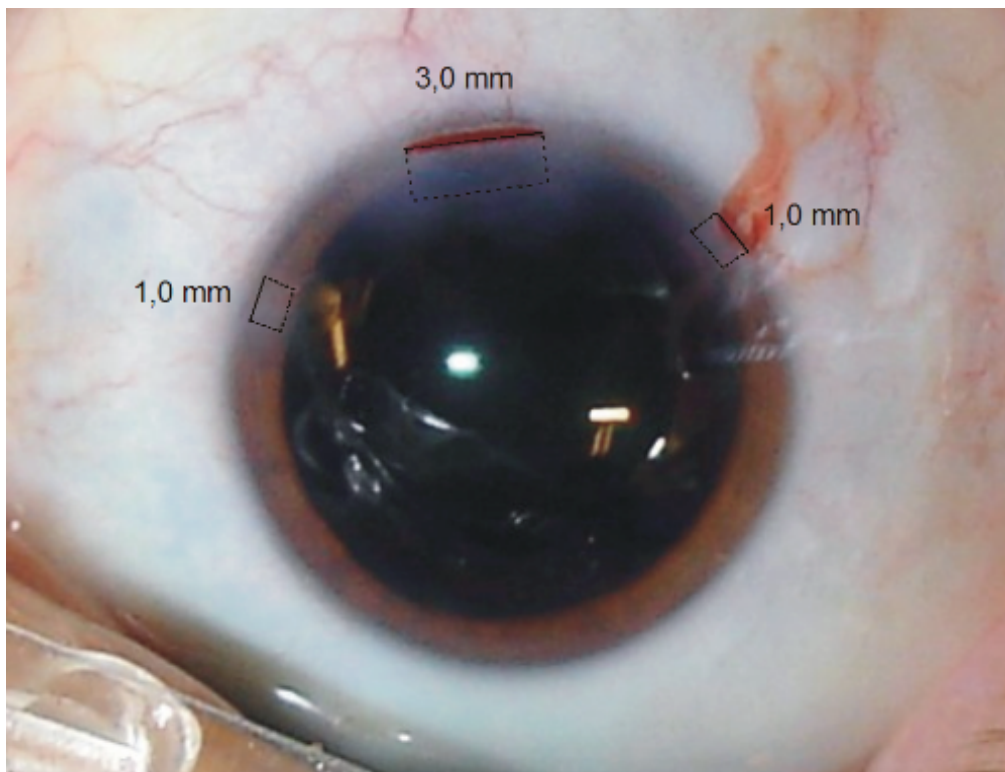


Abbildung 3. Clear-Cornea-Zugang 3,0 mm, 2 Parazenthesen 1,0 mm

Nach der Kapsulorhexis mit Hilfe einer gebogenen Kanüle unter BSS Infusion (Alcon BSS Plus ®) wird die Phakoemulsifikation (Surgical Design Art Advantage) mit Hilfe der Phaco-Chop-Technik durchgeführt. Die Rindenreste werden mit dem manuellen Irrigations-Aspirationshandstück abgesaugt. Die Kapsel wird abschließend mit einer Spülkanüle unter BSS Flow (Alcon BSS Plus ®) poliert. Ohne den 3,0-mm-Schnitt zu erweitern, wird nach Eingabe von Natriumhyaluronat 1% Viskoelastikum (Healon®) mit Hilfe eines Shootersystems (Monarch® II ) eine einteilige Acryllinse (Acrysof® SA60AT) in den Kapselsack implantiert. Nach Entfernen des Viskoelastikums und Tonisieren des Bulbus wird die Operation ohne Hornhautnaht abgeschlossen.

#### **4.2.1 Postoperative Therapie**

Alle Patienten tropfen postoperativ für 2 Tage 6-mal täglich ein Kombinationspräparat aus Dexamethason, Neomycinsulfat und Polymyxin-B (Isopto-Max ® Augentropfen). Ab dem 3. Tag tropft der Patient 2 Wochen 4-mal täglich Prednisolon Augentropfen (Inflanfran ® forte), die noch weitere 2-3 Wochen absteigend getropft werden.

Postoperativ finden die klinischen Kontrollen am ersten und zweiten Tag sowie nach einer und vier Wochen statt.

## 4.3 Untersuchungsmethoden

### 4.3.1 Voruntersuchung

Präoperativ wurden im Rahmen der Voruntersuchung mit Hilfe des Javal-Keratometers (Rodenstock® Ophtalmometer C-MES) die Hornhautbrechkraft mit zugehöriger Achse bestimmt.



Abbildung 4 Javal-Ophtalmometer C-MES



**Abbildung 5** Javal-Opthalmometer C-MES, Javal-Figuren

Der Visus und die objektive Refraktion wurden mit einem Autorefraktometer (Humphrey® Automatic Refractor / Keratometer 599) gemessen.

Zur Mittelwertberechnung wurde der Visus logarithmisiert und danach zur besseren Anschaulichkeit in Dezimalwerte umgewandelt. Die Brechkraft der zu implantierenden Linse wurde festgehalten. Durch Ultraschallmessung (Sonomed A2500) wurde die Achsenlänge des Auges bestimmt.

Alle Veränderungen im Bereich der Makula wie Drusen, Pigmentdefekte, Ödeme oder Makulaforamina wurden als Makulopathie vermerkt. Diabetes mellitus wurde unabhängig von Netzhautveränderungen anamnestisch und durch hausärztliche Befunde ermittelt.

### **4.3.2 Nachuntersuchung**

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass sich die Hornhaut 4–6 Wochen postoperativ nur mehr minimal verändert [29, 50, 56, 60, 72, 74]. Aus diesem Grund

wurden die postoperativen Kontrollen im Zeitintervall 3–6 Monate nach OP durchgeführt.

Die Hornhautbrechkraft wurde erneut mit Hilfe des Javal Keratometers (Rodenstock® Ophthalmometer C-MES) gemessen. Die Sehschärfe und die Refraktion wurden mit dem Autorefraktometer (Humphrey® Automatic Refractor / Keratometer 599) bestimmt.

Die Berechnung des chirurgisch induzierten Astigmatismus erfolgte durch Vektoranalyse der prä- und postoperativ gemessenen Keratometerwerte nach der Methode von Holladay, Cravy und Koch [38].

Alle Daten wurden mit Hilfe von Microsoft Excel 2002 erfasst, der chirurgisch induzierte Astigmatismus wurde in mehreren Schritten mit Microsoft Excel 2002 berechnet. Diese Daten wurden wiederum auf SPSS 13.0 übertragen und statistisch ausgewertet.

Folgende statistische Tests kamen zur Anwendung:

- Chi-Quadrat-Test
- Nichtparametrischer Mann-Whitney-Test für unverbundene Stichproben
- Nichtparametrischer Test von Wilcoxon für verbundene Stichproben
- Stichproben t-Test
- Korrelationskoeffizient von Spearman (Rho)
- einfach lineare Regression
- multiple lineare Regression
- logistische Regression

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Biographische Daten

Insgesamt wurden 139 Augen von 103 Patienten untersucht. Das Durchschnittsalter aller Patienten beträgt  $73,14 \pm 8,13$  Jahre (51-90 Jahre), davon 72 Frauen (70%) und 31 Männer (30%). Die Altersverteilung liegt bei den Frauen bei einem Durchschnitt von  $73,92 \pm 7,69$  Jahre (56-90 Jahre) und bei den Männern bei  $71,32 \pm 8,92$  Jahre (51-85 Jahre).

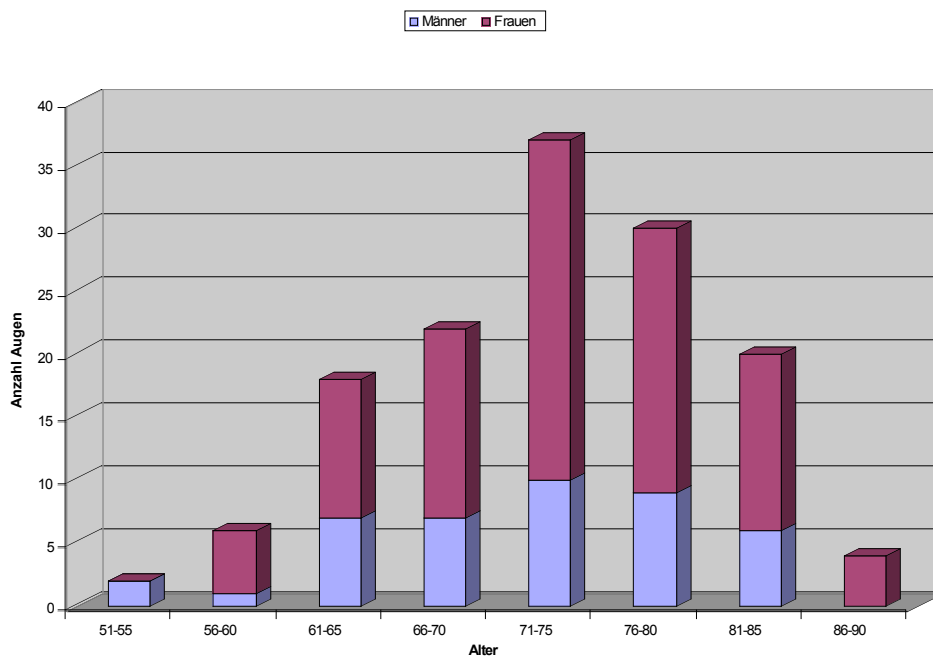
Die Untersuchungen zur Homogenität des Patientenkollektivs wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests durchgeführt. Es ergibt sich eine Gleichverteilung der Anzahl der operierten Augen bei Männern und Frauen. Im Mann-Whitney-Test auf Altershomogenität ergibt sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Altersverteilung nach Geschlecht. Entsprechend unterscheidet sich das Durchschnittsalter der untersuchten Augen wenig. Im Gesamtkollektiv beträgt das Durchschnittsalter  $73,02 \pm 7,85$  Jahre. Das Durchschnittsalter der Augen der Frauen liegt bei  $73,65 \pm 7,60$  Jahre, das der Männer bei  $71,57 \pm 8,32$  Jahre.

67 Patienten (65%) wurden an einem Auge operiert, 36 Patienten (35%) an beiden Augen. Es wurden 72 rechte Augen und 67 linke Augen operiert.



**Tabelle 1 Anteil der ein- oder beidäugig operierten Patienten, Vergleich zwischen Frauen und Männern**

		Frauen	Männer	Alle Patienten
operierte Augen pro Patient	1	47 (65,3%)	20 (64,5%)	67 (65,0%)
	2	25 (34,7%)	11 (35,5%)	36 (35,0%)
Gesamt		72 (100,0%)	31 (100,0%)	103 (100,0%)



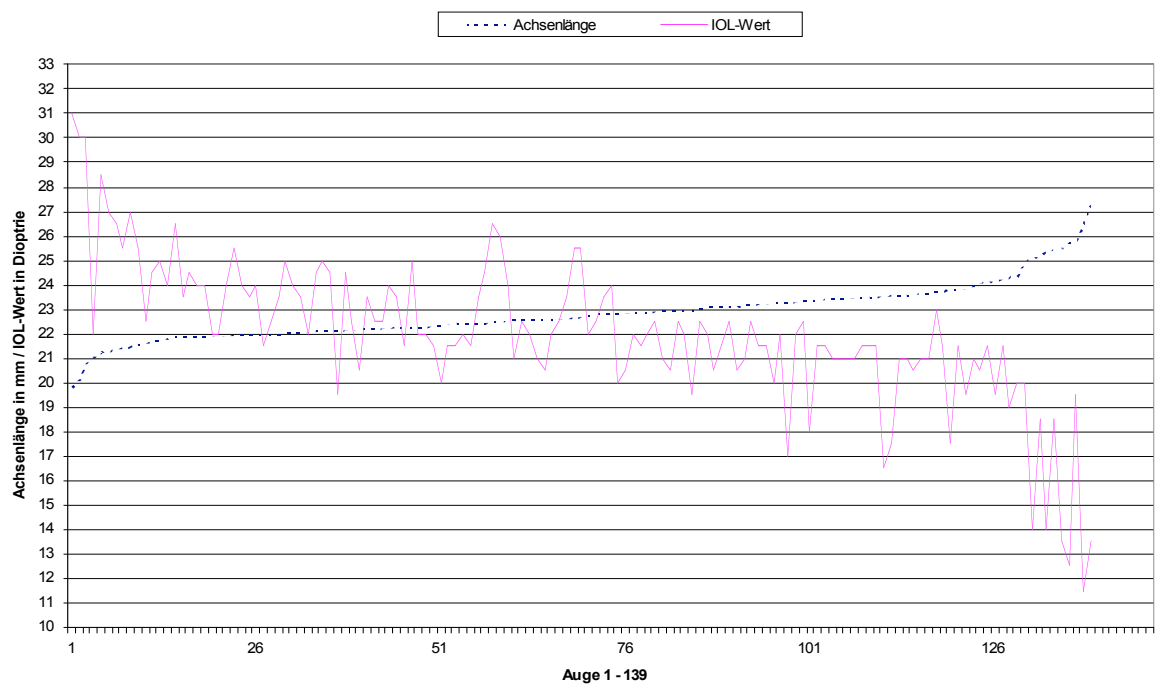
**Abbildung 6 Altersverteilung**

Die Werte der eingesetzten Acrysof® SA60AT Linsen liegen im Bereich von 12,50 D bis 31,00 D, der Mittelwert liegt bei  $21,99 \pm 3,18$  D.

Die sonographisch bestimmten Achsenlängen betragen im Mittelwert  $22,87 \pm 1,14$  mm (19,82-27,40 mm).

41 Patientenaugen (29%) zeigen eine Makulopathie, 98 Augen (71%) sind funduskopisch unauffällig.

Es wurden 23 Augen (17%) von Diabetikern operiert und 116 Augen (83%) von Nichtdiabetikern.



**Abbildung 7 Zusammenhang zwischen Achsenlänge in mm und eingesetzter IOL in Dioptrie**

## 5.2 Visus und Refraktion

Der Ausgangsvisus der Patienten beträgt im Mittelwert  $-0,51 \pm 0,26 \log$  (-1,30 bis -0,10). Das entspricht einem umgerechneten Dezimalvisus von 0,31. Die Standardabweichung beträgt 0,17-0,56. Der minimale Dezimalvisus ist 0,05, der maximale Dezimalvisus ist 0,8.

Postoperativ steigt der Visus auf  $-0,16 \pm 0,17 \log$  (-1,0 bis 0,0), entsprechend einem Dezimalvisus von 0,69 mit der Standardabweichung 0,46-1,0. Der minimale Dezimalvisus ist 0,1, der maximale 1,0.

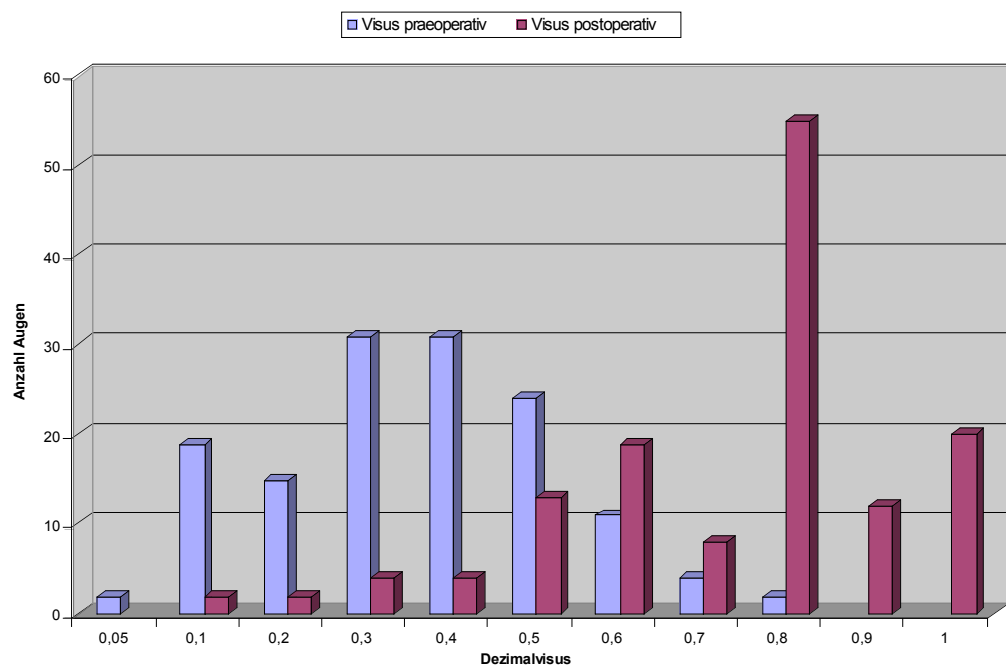


Abbildung 8 Visusanstieg präoperativ-postoperativ

Präoperativ liegt der mittlere Hornhautastigmatismus, gemessen mit dem Javal-Keratometer, bei  $0,89 \pm 0,74$  D (0,0-4,50 D), postoperativ bei  $0,93 \pm 0,70$  D (0,0-3,5 D). Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied der prä- und postoperativen Astigmatismuswerte.

Die objektive Refraktion, gemessen mit dem Humphrey® Autorefraktometer, ergibt präoperativ einen Astigmatismus von  $0,95 \pm 0,82$  D (0,0-3,75 D) und postoperativ Astigmatismuswerte von  $0,84 \pm 0,62$  D (0,0-2,5 D).

Um die präoperative mit der postoperativen Sphäre vergleichen zu können, wird aus der objektiv gemessenen Refraktion das sphärische Äquivalent berechnet. Präoperativ liegt das sphärische Äquivalent bei  $-0,25 \pm 3,09$  D (-9,0 bis +3,75 D), postoperativ bei  $-0,35 \pm 0,92$  D (-3,37 bis +2,0).

### 5.3 Der chirurgisch induzierte Astigmatismus

Der chirurgisch induzierte Astigmatismus gibt Auskunft über die operationsbedingte Veränderung der Hornhautbrechkraft. Da sich durch die Operationsschnitte häufig die Achse des Astigmatismus ändert, ist es nicht möglich, den chirurgisch induzierten Astigmatismus durch einfache Differenzbildung des präoperativen und postoperativen Astigmatismus zu bestimmen. Zur Berechnung des chirurgisch induzierten Astigmatismus muss der Astigmatismus in Vektoren zerlegt werden, um die Differenz zwischen dem prä- und postoperativen Astigmatismus zu finden. Die mathematischen Grundlagen und Lösungswege wurden von verschiedenen Autoren [7, 21, 38, 39, 41, 69, 82] beschrieben. In dieser Studie wird mit der häufig angewandten Methode von Holladay et al [38] gerechnet.

Im Gesamtkollektiv ergibt sich ein chirurgisch induzierter Astigmatismus von  $0,66 \pm 0,44$  D (0,0-2,99 D). Die Achse des Minus Zylinders liegt bei  $91,2^\circ \pm 24,1^\circ$  ( $0^\circ$ - $165^\circ$ ).

Bei 8 Augen (6%) zeigt sich keine Veränderung des Astigmatismus, bei 33 Augen (24%) nur eine Veränderung von 0,25 D oder weniger. Im Gegensatz dazu findet man bei 31 Augen (22%) eine Veränderung des Astigmatismus von 1,0 D oder mehr.

Kein signifikanter Unterschied findet sich zwischen rechten und linken Augen bezüglich des chirurgisch induzierten Astigmatismus und der Achslage.

Der chirurgisch induzierte Astigmatismus der 72 rechten Augen liegt bei  $0,64 \pm 0,42$  D (0,0–2,46 D), die Achse bei  $90,4^\circ \pm 27,2^\circ$  ( $0^\circ$ - $137^\circ$ ). Der chirurgisch induzierte Astigmatismus der 67 linken Augen beträgt  $0,69 \pm 0,46$  D (0,0–2,99), die Achse liegt bei  $92,1^\circ \pm 20,4^\circ$  ( $0^\circ$ - $165^\circ$ ).

**Tabelle 2 Der chirurgisch induzierte Astigmatismus (SIA)**

	N	SIA Mittelwert	SIA Minimum	SIA Maximum	Achse Mittelwert	Achse Minimum	Achse Maximum
Gesamtkollektiv	139	$0,66 \pm 0,44$ D	0,0 D	2,99 D	$91,2^\circ \pm 24,1^\circ$	$0^\circ$	$165^\circ$
Rechte Augen	72	$0,64 \pm 0,42$ D	0,0 D	2,46 D	$90,4^\circ \pm 27,2^\circ$	$0^\circ$	$137^\circ$
Linke Augen	67	$0,69 \pm 0,46$ D	0,0 D	2,99 D	$92,1^\circ \pm 20,4^\circ$	$0^\circ$	$165^\circ$

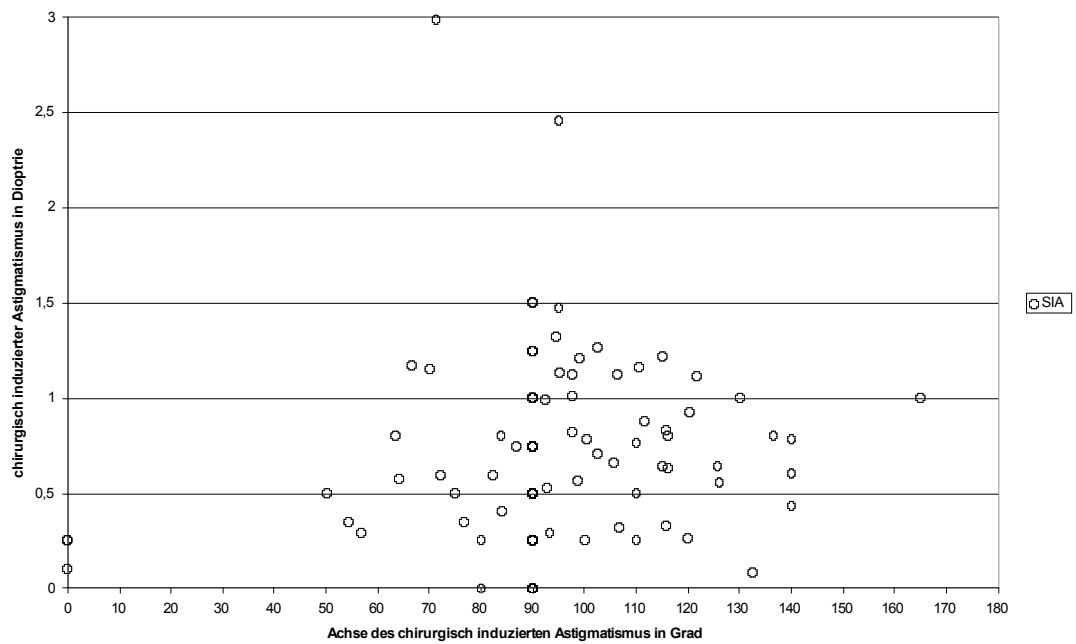
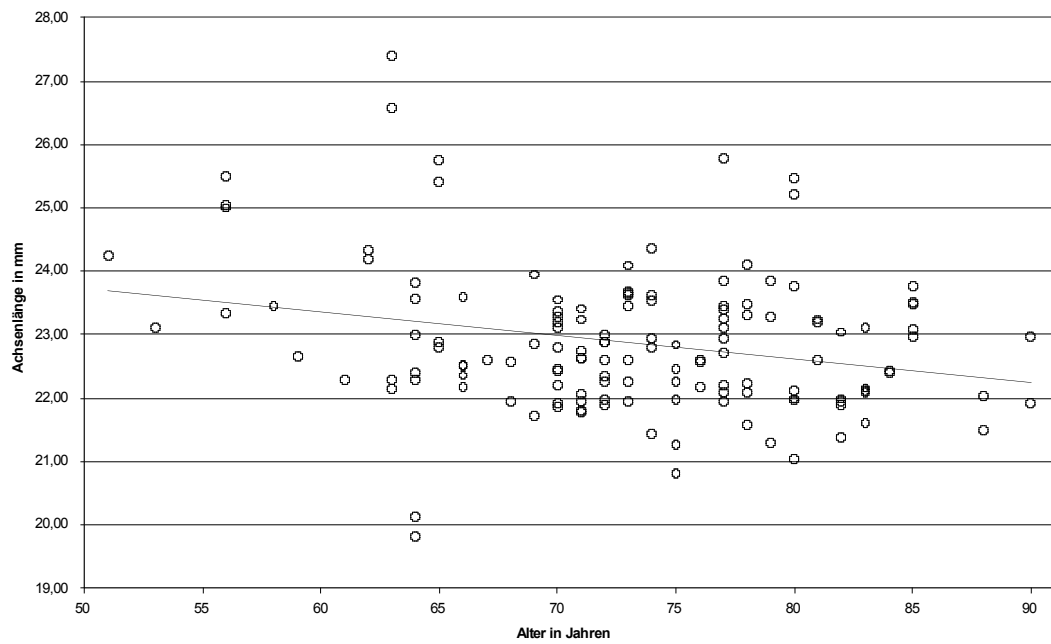


Abbildung 9 Darstellung des chirurgisch induzierten Astigmatismus mit Achslage

### 5.3.1 Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, K-Reading, IOL-Wert, Achsenlänge, Diabetes und Makulopathie

Die einfache lineare Regressionsanalyse der präoperativen Untersuchungsmerkmale (Alter, Geschlecht, K-Reading, IOL-Wert, Achsenlänge, Diabetes und Makulopathie) ergibt keinen signifikanten Einfluss auf den chirurgisch induzierten Astigmatismus. Auch in der multiplen linearen Regressionsanalyse kann keine signifikante Einflussgröße gefunden werden. Als Nebenbefund wird im einfachen linearen Regressionsmodell ein signifikanter Zusammenhang ( $p = 0,003$ ) zwischen Alter und Achsenlänge nachgewiesen.



**Abbildung 10 Zusammenhang Achsenlänge – Alter**

Teilt man die Patienten in 2 Altersgruppen von 51 bis 69 Jahren (38 Augen) und von 70 bis 90 Jahren (101 Augen), hat die Gruppe der Jüngeren mit  $0,55 \pm 0,34$  D einen etwas geringeren chirurgisch induzierten Astigmatismus als die Gruppe der älteren Patienten mit  $0,71 \pm 0,46$  D. Signifikant ist dieser Unterschied nicht ( $p = 0,24$ ).

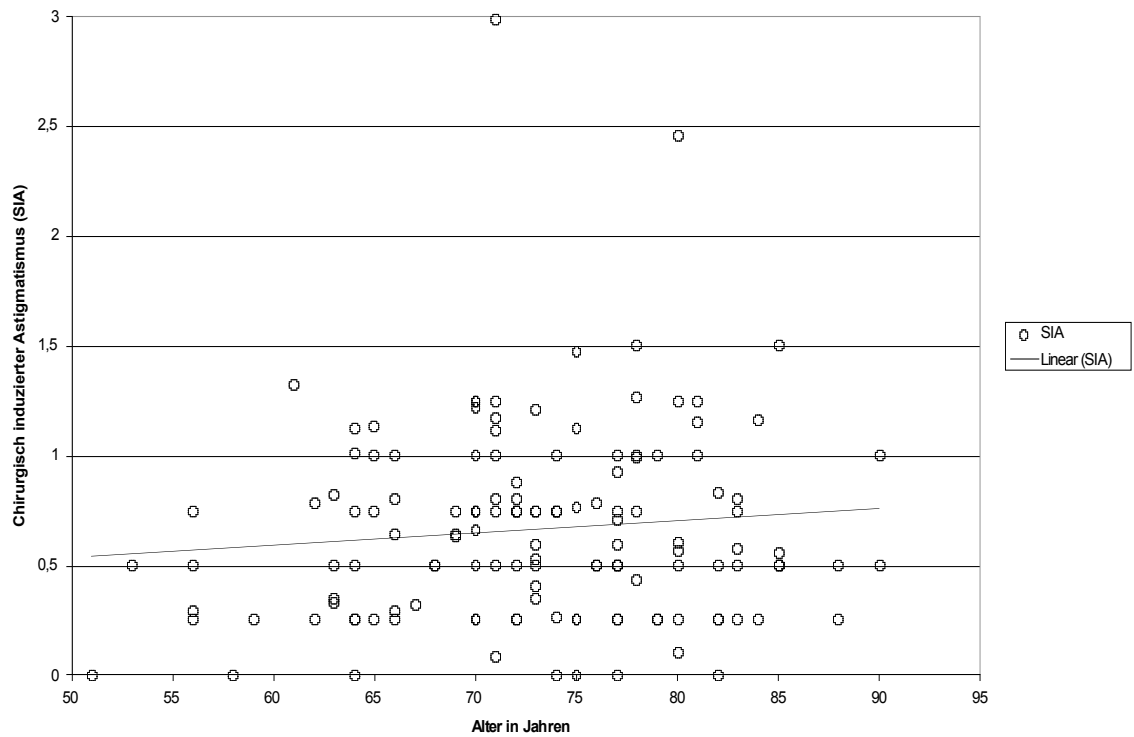
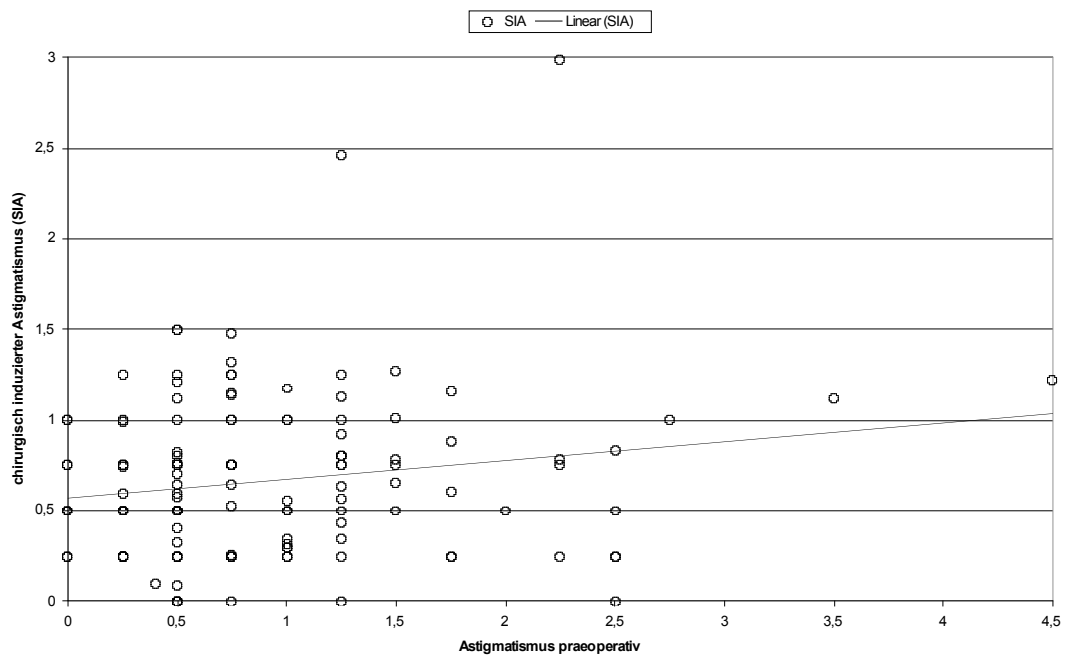


Abbildung 11 Zusammenhang Alter – chirurgisch induzierter Astigmatismus (SIA)

### 5.3.2 Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit vom Ausgangsastigmatismus

Es zeigt sich in der einfachen linearen Regressionsanalyse ein signifikanter Einfluss des präoperativen Hornhautastigmatismus auf den chirurgisch induzierten Astigmatismus ( $p = 0,04$ ). Je höher der Ausgangsastigmatismus ist, desto höher ist auch der chirurgisch induzierte Astigmatismus.





**Abbildung 12 Zusammenhang Astigmatismus präoperativ – chirurgisch induzierter Astigmatismus (SIA)**

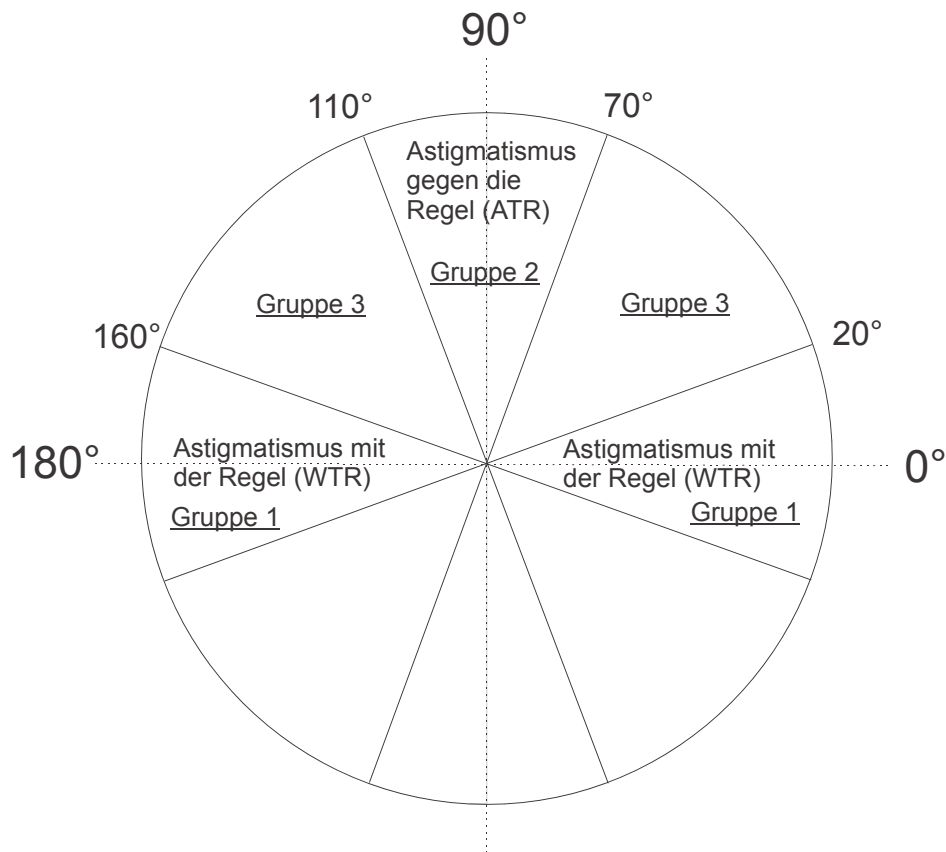
### **5.3.3 Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit von Ausgangsastigmatismus und Achse**

Um den möglichen Einfluss der präoperativen Achse des Hornhautastigmatismus auf den chirurgisch induzierten Astigmatismus zu ermitteln, werden die Augen in drei Gruppen eingeteilt.

Gruppe 1 bildeten die Augen mit einer präoperativen Achslage von  $0^{\circ}$ - $20^{\circ}$  und  $160^{\circ}$ - $180^{\circ}$  des Minus-Astigmatismus, also Astigmatismus mit der Regel.

Die Gruppe 2 beinhaltet die Augen mit der Achse zwischen  $70^{\circ}$ - $110^{\circ}$ , dem Astigmatismus gegen die Regel.

In Gruppe 3 befinden sich die übrigen Augen mit schrägen Achsen von  $21^{\circ}$ - $69^{\circ}$  und  $111^{\circ}$ - $159^{\circ}$  sowie alle Augen mit sphärischer Hornhaut.



**Abbildung 13** Zuordnung zu den drei Gruppen in Abhängigkeit vom bestehenden Minus-Astigmatismus

Der Gruppe 1 werden 79 Augen zugeordnet, der Mittelwert des chirurgisch induzierten Astigmatismus beträgt  $0,72 \pm 0,49$  D (0,0 bis 2,99 D). Die Achse liegt bei  $89,9^\circ \pm 28,3^\circ$  ( $0^\circ$ - $136,5^\circ$ ).

Zu Gruppe 2 gehören 39 Augen, der chirurgisch induzierte Astigmatismus beträgt  $0,54 \pm 0,36$  D (0,0-1,32 D), die Achse liegt bei  $93,3^\circ \pm 28,3^\circ$  ( $64,1^\circ$ - $140^\circ$ ).

In Gruppe 3 mit 21 Augen beträgt der chirurgisch induzierte Astigmatismus  $0,66 \pm 0,29$  D (0,34-1,18 D), die zugehörige Achse beträgt  $92,5^\circ \pm 24,4^\circ$  ( $50^\circ$ - $165^\circ$ ).

**Tabelle 3 Astigmatismusverteilung Gesamtkollektiv, Gruppe 1, Gruppe 2 und Gruppe 3**

	N	chirurg.induz. Astigmatismus (SIA)	Achse	Astigmatismus präoperativ	Astigmatismus postoperativ
Gesamtkollektiv	139	0,66 ± 0,44 D	91° ± 24°	0,89 ± 0,74 D	0,93 ± 0,70 D
Gruppe 1 Astigmatismus mit der Regel	79	0,73 ± 0,49 D	90 °± 28°	1,02 ± 0,84 D	0,78 ± 0,73 D
Gruppe 2 Astigmatismus gegen die Regel	39	0,54 ± 0,36 D	93 °± 12°	0,81 ± 0,49 D	1,31 ± 0,59 D
Gruppe 3 Astigmatismus obliquus und kein Astigmatismus	21	0,66 ± 0,29 D	92° ± 24°	0,52 ± 0,56 D	0,83 ± 0,49 D

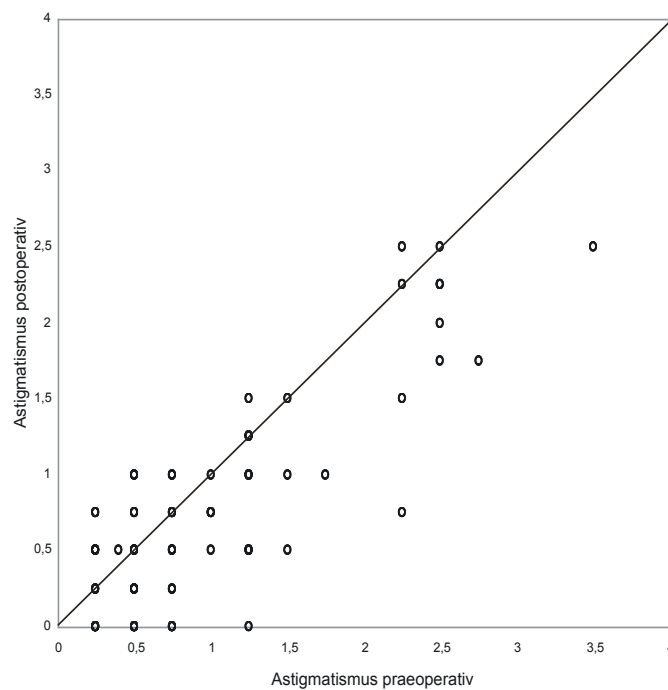
Der auffällige Unterschied der Mittelwerte des chirurgisch induzierten Astigmatismus von Gruppe 1 und 2 wird mit Hilfe des nicht-parametrischen Tests von Mann-Whitney untersucht. Hier ergibt sich ein signifikanter Unterschied der beiden Gruppen ( $p = 0,038$ ).

Es zeigt sich auch ein signifikanter Unterschied des postoperativen Astigmatismus ( $p < 0,001$ ) in Gruppe 1 und 2, die Unterschiede zu Gruppe 3 sind nicht signifikant. Der postoperative Astigmatismus ist in Gruppe 1 mit  $0,78 \pm 0,73$  D (0,0-3,5 D) niedriger als in Gruppe 2 mit  $1,31 \pm 0,59$  D (0,5-2,5 D). Vergleicht man den Ausgangsastigmatismus in beiden Gruppen, so wird dies noch deutlicher. In Gruppe 1 reduziert sich der präoperative Astigmatismus von  $1,02 \pm 0,84$  D (0,25-4,5 D) auf  $0,78 \pm 0,73$  D (0,0-2,5 D).

In Gruppe 2 erhöht er sich von  $0,81 \pm 0,49$  D (0,25-1,75 D) auf  $1,31 \pm 0,59$  D (0,5-2,5 D).

In Gruppe 3 erhöht sich der Ausgangsastigmatismus von  $0,52 \pm 0,56$  D (0,0-1,25 D) auf  $0,83 \pm 0,49$  D (0,25-1,75 D).

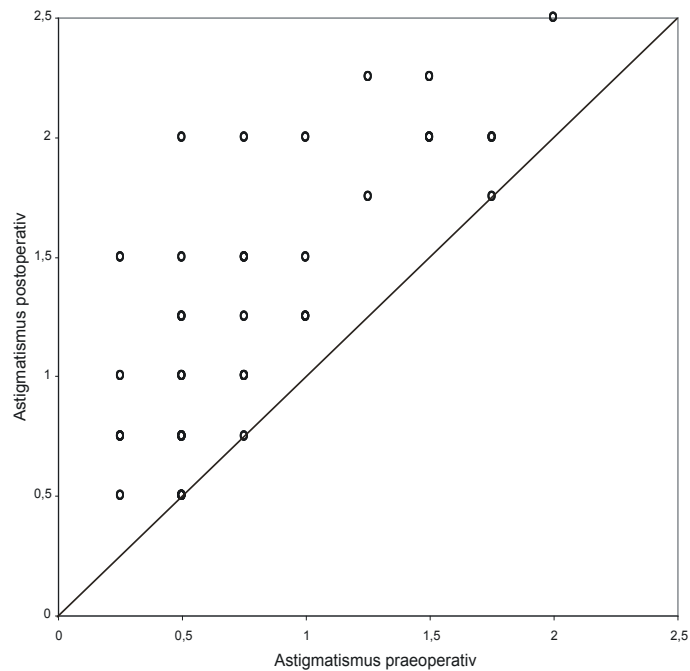
Im Wilcoxon Test für verbundene Stichproben kann der signifikante Unterschied des präoperativen und postoperativen Astigmatismus in Gruppe 1 als auch in Gruppe 2 nachgewiesen werden ( $p < 0,001$ ). In Gruppe 3 zeigt sich kein signifikanter Unterschied.



**Abbildung 14**                      **Gruppe 1 Gegenüberstellung Astigmatismus präoperativ und postoperativ**

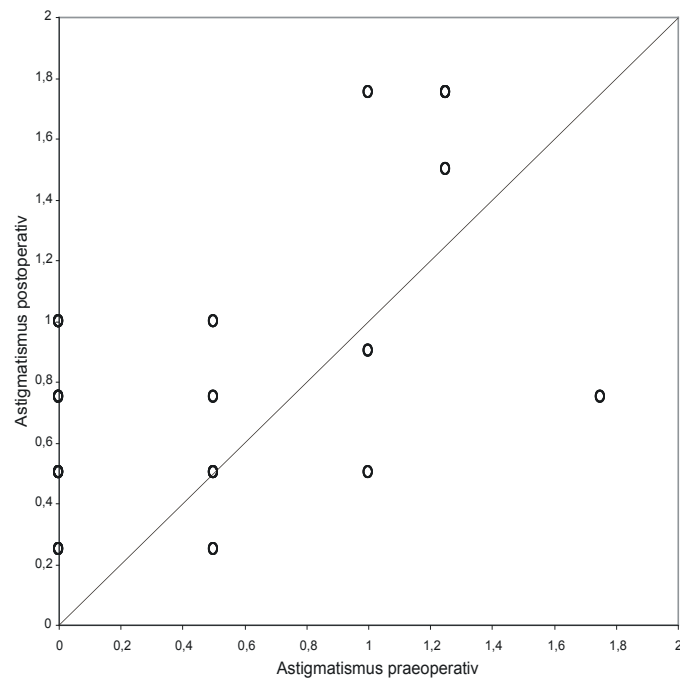
Aus Abbildung 14 wird deutlich, dass sich der Astigmatismus bei einigen Augen nicht verringert, sondern erhöht. Bei 46 der 79 Augen (58%) verringert sich der Astigmatismus. Bei 10 dieser Augen verändert sich der Astigmatismus mit der Regel

zum Astigmatismus gegen die Regel. Bei 17 Augen (22%) bleibt der Wert des Astigmatismus gleich, 4 Augen verändern sich aber zum Astigmatismus gegen die Regel. 16 Augen (20%) verschlechtern sich. Es werden sogar Werte von 1,0 D Astigmatismus gegen die Regel gemessen.



**Abbildung 15 Gruppe 2 Gegenüberstellung Astigmatismus präoperativ und postoperativ**

In Gruppe 2 verbessert sich kein Auge bezüglich des Astigmatismus, bei 6 der 39 Augen (15%) bleibt der Astigmatismus gleich.



**Abbildung 16 Gruppe 3 Gegenüberstellung Astigmatismus präoperativ und postoperativ**

Alle 9 Augen ohne präoperativen Hornhautastigmatismus haben nach der Operation einen Astigmatismus gegen die Regel von 0,25 D–1,0 D. Von den 12 anderen Augen verringert sich der Astigmatismus bei 4 Augen, bei 2 Augen bleibt er gleich (0,5 D), bei 5 Augen steigt der Astigmatismus an.

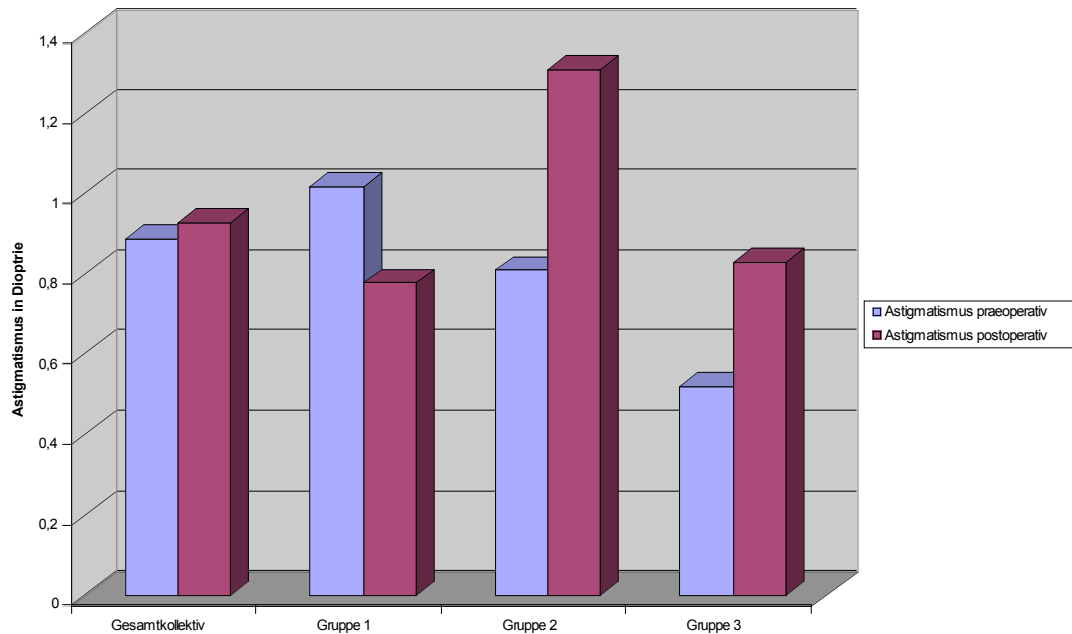
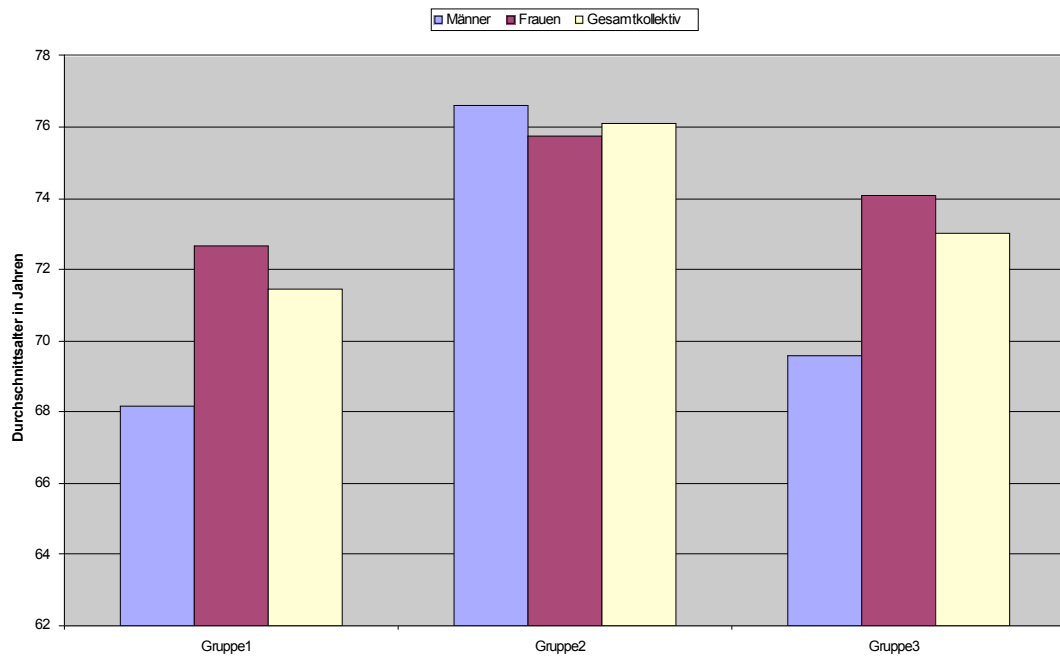


Abbildung 17 Astigmatismusedwicklung innerhalb der Gruppen

### 5.3.4 Altersverteilung innerhalb der Gruppen 1, 2 und 3

In den Gruppen 1 und 2 zeigt sich ein signifikanter Unterschied des Alters ( $p = 0,003$ ). Das Durchschnittsalter der Patienten in Gruppe 1 beträgt  $71,5 \pm 7,3$  Jahre (51-85 Jahre), das Durchschnittsalter der Patienten in Gruppe 2 beträgt  $76,1 \pm 8,6$  Jahre (56-90 Jahre). Das Durchschnittsalter der Patienten der 3. Gruppe beträgt  $73,0 \pm 7,1$  Jahren (56–85 Jahre).



**Abbildung 18** Altersverteilung innerhalb der Gruppen



## 6 Diskussion

1989 veröffentlichten Maloney et al. die These, dass Hornhautschnitte von 3 mm Breite zu keiner bedeutsamen Astigmatismusveränderung führen [57]. In unserer Untersuchung wird gezeigt, dass ein Clear-Cornea-Schnitt von 3,0 mm Breite, angelegt bei „12 Uhr“, durchaus eine Veränderung des Hornhautastigmatismus bewirkt. Vergleicht man den Ausgangsastigmatismus von  $0,89 \pm 0,74$  D mit dem postoperativen Astigmatismus von  $0,93 \pm 0,70$  D, zeigt sich kein signifikanter Unterschied. Das liegt daran, dass die zugehörige Achse des Astigmatismus unberücksichtigt bleibt. Berechnet man jedoch mit Hilfe der Vektoranalyse den chirurgisch induzierten Astigmatismus, so zeigt sich eine signifikante Änderung von  $0,66 \pm 0,44$  D des postoperativen Astigmatismus gegenüber dem Ausgangsastigmatismus bei einer Achse von  $91,2^\circ \pm 24,1^\circ$ .

### 6.1 Die Beurteilung des chirurgisch induzierten Astigmatismus in anderen Studien

#### 6.1.1 Clear-Cornea-Schnitt von „12 Uhr“

In der Literatur werden bei den superioren Clear-Cornea-Schnitten mit einer Schnittbreite von 3,5–4,0 mm chirurgisch induzierte Astigmatismen von 0,55–1,6 D beschrieben [37, 67, 72, 84, 91, 94]. Bei Schnittbreiten von 5,0 mm bis 12 mm werden Werte bis 1,93 D angegeben [8, 66, 67, 68, 72]. Giansanti et al. zeigen in ihrer Studie, dass selbst geringe Schnittbreiten von 2,75 mm eine astigmatische Veränderung von 0,65 D verursachen [32].

**Tabelle 4 Studienvergleich Clear-Cornea-Zugang von 12 Uhr**

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt- breite in mm	Zugang	SIA	Nachunter- suchungszeit in Monaten
[72]	Nielsen, 1995	17	3,5	12Uhr / CC	0,55	1,5
[94]	Tejedor, 2005	39	3,5	12Uhr / CC	0,72	6
[94]	Tejedor, 2005	26	3,5	12Uhr / CC	1,6	6
[94]	Tejedor, 2005	106	3,5	12Uhr / CC	1,22	6
[94]	Tejedor, 2005	62	3,5	12Uhr / CC	1,38	6
[67]	Müller-J.,1996	108	4	12Uhr / CC	1	6
[84]	Roman, 1998	30	4	12Uhr / CC	1,56	12
[37]	Haubrich,1996	14	4	12Uhr / CC	1,39	12
[91]	Simsek, 1998	20	4	12Uhr / CC	1,44	3
[66]	Müller-J.,1997	50	5	12Uhr / CC	1,18	12
[68]	Müller-J.,1998	29	5	12Uhr / CC	1,93	12
[72]	Nielsen, 1995	10	5,2	12Uhr / CC	1,24	1,5
[8]	Anders, 1997	45	7	12Uhr / CC	1,33	8
[67]	Müller-J.,1996	104	12	12Uhr / CC	1,75	6

### 6.1.2 Skleraler Zugang bei „12 Uhr“

Noch vor einigen Jahren war es Standard, einen skleralen Zugang von „12 Uhr“ zu präparieren. Die zahlreichen Studien, die den superioren Sklera-Zugang untersuchen, zeigen bei den Schnittbreiten von 3,0–4,0 mm einen zum Teil sehr niedrigen chirurgisch induzierten Astigmatismus von 0,16–0,32 D [50, 63, 74, 80, 90, 97]. Es werden aber auch Werte bis zu 0,82 D chirurgisch induzierter Astigmatismus genannt [33, 37, 55, 63, 76, 84]. Skleraschnitte von 5,1–7,0 mm bewirken einen chirurgisch induzierten Astigmatismus von 0,29–1,28 D [8, 12, 20, 33, 34, 48, 50, 54, 101].

Tabelle 5 Studienvergleich Sklera-Zugang von „12 Uhr“

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt- breite in mm	Zugang	SIA	Nachunter- suchungszeit in Monaten
[33]	Gills, 1991	55	3	12Uhr / Sklera	0,67	3
[76]	Oshima, 1997	40	3	12Uhr / Sklera	0,67	3
[63]	Mendivil, 1996	60	3,2	12Uhr / Sklera	0,32	6
[74]	Oshika, 1998	99	3,2	12Uhr / Sklera	0,16	6
[50]	Levy, 1994	40	3,5	12Uhr / Sklera	0,2	6
[84]	Roman, 1998	30	4	12Uhr / Sklera	0,69	12
[55]	Lyhne, 2000	37	4	12Uhr / Sklera	0,61	12
[63]	Mendivil, 1996	60	4	12Uhr / Sklera	0,42	6
[80]	Rainer, 1997	56	4	12Uhr / Sklera	0,23	9
[90]	Shepherd, 1989	99	4	12Uhr / Sklera	0,22	3
[97]	Uusitalo, 1998	205	4	12Uhr / Sklera	0,3	4
[37]	Haubrich, 1996	6	4	12Uhr / Sklera	0,82	12
[50]	Levy, 1994	40	5,1	12Uhr / Sklera	0,29	6
[12]	Azar, 1997	50	5,5	12Uhr / Sklera	1,03	12
[74]	Oshika, 1998	98	5,5	12Uhr / Sklera	0,41	6
[37]	Haubrich, 1996	26	5,0-6,0	12Uhr / Sklera	0,86	12
[48]	Kutschan, 2003	104	6	12Uhr / Sklera	0,48	8
[34]	Gokhale, 2005	15	6	12Uhr / Frown	1,28	3
[20]	Burgansky, 2002	60	5,0-7,0	12Uhr / Sklera	0,77	3
[8]	Anders, 1997	45	7	12Uhr / Sklera	0,97	8
[33]	Gills, 1991	48	7	12Uhr / Sklera	0,9	3
[101]	Wirbelauer, 1997	18	7	12Uhr / Sklera	1,16	5

### 6.1.3 Clear Cornea Schnitt von temporal

Die stärkere Abflachung der Hornhaut bei den Clear-Cornea-Schnitten ergibt sich aus dem kleineren Abstand zum Hornhautzentrum. Um dieses Problem zu umgehen, wird der Clear-Cornea-Schnitt häufig von temporal durchgeführt. Nach Literaturangaben liegt der chirurgisch induzierte Astigmatismus bei Schnitten von 3,0–4,0 mm bei 0,17–0,71 D und damit im Bereich der skleralen Zugänge von „12 Uhr“ [13, 18, 47, 48, 55, 60, 72, 76, 77, 78, 79, 84, 91, 94, 98, 99, 104, 106]. Auch die größeren temporalen Schnitte von 4,1–7,0 mm liegen nur im Bereich von 0,45–1,35 D chirurgisch induziertem Astigmatismus [8, 47, 66, 68, 72, 77, 81, 106].

**Tabelle 6 Studienvergleich Clear-Cornea-Zugang temporal von 3,0 mm bis 3,5 mm**

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt- breite in mm	Zugang	SIA	Zeit in Monaten
[60]	Masket, 1996	45	3	temporal / CC	0,49	1,5
[76]	Oshima, 1997	38	3	temporal / CC	0,56	3
[78]	P.-v. Nouhuijs, 1997	15	3	temporal / CC	0,5	6
[79]	Rainer, 1999	26	3	temporal / CC	0,44	3
[98]	Vass, 1998	29	3	temporal / CC	0,42	12
[98]	Vass, 1998	35	3	temporal / CC	0,4	12
[18]	Borasio, 2006	30	3,2	temporal / CC	0,63	2
[77]	Pfleger, 1996	35	3,2	temporal / CC	0,17	6
[104]	Woo, 2003	129	3,2	temporal / CC	0,54	2
[106]	Zanini, 1997	50	3,2	temporal / CC	0,4	6
[13]	Barequet, 2004	94	3,5	temporal / CC	0,71	12
[47]	Kohnen, 1995	20	3,5	temporal / CC	0,37	6
[72]	Nielsen, 1995	16	3,5	temporal / CC	0,46	1,5
[99]	Wang, 2003	26	3,5	temporal / CC	0,17	4
[94]	Tejedor, 2005	45	3,5	temporal / CC	0,54	6
[94]	Tejedor, 2005	85	3,5	temporal / CC	0,72	6

**Tabelle 7 Studienvergleich Clear-Cornea-Zugang temporal von 4,0 mm bis 7,0 mm**

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt- breite in mm	Zugang	SIA	Zeit in Monaten
[47]	Kohnen, 1995	20	4	temporal / CC	0,56	6
[48]	Kutschan, 2003	70	4	temporal / CC	0,35	5
[55]	Lyhne, 2000	32	4	temporal / CC	0,41	12
[77]	Pfleger, 1996	37	4	temporal / CC	0,31	6
[84]	Roman, 1998	30	4	temporal / CC	0,69	12
[91]	Simsek, 1998	20	4	temporal / CC	0,62	3
[106]	Zanini, 1997	50	4,1	temporal / CC	0,45	6
[81]	Rao, 2002	14	4,5	temporal / CC	0,93	24
[47]	Kohnen, 1995	20	5	temporal / CC	0,7	6
[66]	Müller-J., 1997	50	5	temporal / CC	0,96	12
[68]	Müller-J. 1998	29	5	temporal / CC	1,35	12
[72]	Nielsen, 1995	11	5,2	temporal / CC	0,82	1,5
[77]	Pfleger, 1996	31	5,2	temporal / CC	0,79	6
[81]	Rao, 2002	7	5,5	temporal / CC	1,34	24
[8]	Anders, 1997	45	7	temporal / CC	0,86	8

#### 6.1.4 Skleraler Zugang von temporal

Der sklerale Zugang von temporal verringert den chirurgisch induzierten Astigmatismus nochmals auf 0,12–0,65 D. Leider gibt es dazu nur wenige Studien. Außerdem ist in diesen Studien die Schnittbreite mit 3,8–7,0 mm relativ hoch [8, 44, 75, 101].

**Tabelle 8 Studienvergleich Sklera-Zugang von temporal**

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt-		SIA	Zeit in Monaten
			breite in mm	Zugang		
[44]	Kohnen, 2002	21	3,8	temporal / Sklera	0,47	6
[75]	Oshika, 2000	87	4,1	temporal / Sklera	0,12	6
[34]	Gokhale, 2005	15	6	temporal / Frown	0,37	3
[8]	Anders, 1997	45	7	temporal / Sklera	0,65	8
[101]	Wirbelauer, 1997	15	7	temporal / Sklera	0,66	5

### 6.1.5 Zugang von nasal, Clear-Cornea und Skleral

Neben den temporalen Zugängen finden auch nasale Zugänge Verwendung [13, 44, 94]. Vorteil des nasalen Zuganges ist die Möglichkeit, mit der rechten Hand, oben sitzend, das linke Auge zu operieren. Nachteil ist die eingeschränkte Bewegungsfreiheit aufgrund der Nase sowie der deutlich höhere chirurgisch induzierte Astigmatismus im Vergleich zum temporalen Zugang.

**Tabelle 9 Studienvergleich Clear-Cornea und Sklera-Zugang von nasal**

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt-		SIA	Zeit in Monaten
			breite in mm	Zugang		
[13]	Barequet, 2004	84	3,5	nasal / CC	1,41	12
[94]	Tejedor, 2005	69	3,5	nasal / CC	1,46	6
[44]	Kohnen, 2002	21	3,8	nasal / Sklera	1,05	6

### 6.1.6 Andere Zugänge als temporal und „12 Uhr“

Alle anderen Zugänge, also superonasal [15, 28], superotemporal [15, 28, 78, 79] als auch der 120°-Zugang [15], der je nach Auge als superonasal (linke Augen) oder superotemporal (rechte Augen) bezeichnet werden kann, haben einen chirurgisch induzierten Astigmatismus von 0,2–1,74 D, bei Schnittbreiten von 3,0–5,5mm. Der Bent-Zugang (between nine and twelve) [2, 101] kann seine Zugangsachse zwischen „9 Uhr“ und „12 Uhr“ haben und liegt dementsprechend superotemporal oder superonasal. Je nachdem, ob der Zugang als gerader oder Frown-Sklera-Schnitt angelegt wird, liegt der chirurgisch induzierte Astigmatismus bei 0,11–0,82 D. Eine Sonderform ist die Micro Incision Cataract Surgery (MICS) mit 2 Zugängen von 1,4 mm bis 1,9 mm Breite im Bereich schräger Achsen und einem chirurgisch induzierten Astigmatismus von nur 0,075 D [5, 6].

**Tabelle 10 Studienvergleich Zugänge von Superonasal, Superotemporal, 120°, BENT und MICS**

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt- breite in mm	Zugang	SIA	Zeit in Monaten
[78]	Poort-v. N. 1997	20	3	superotemp / Sklera	0,66	6
[15]	Beltrame, 2001	54	5,5	120° / Sklera	0,46	3
[34]	Gokhale, 2005	15	6	superotemp / Frown	0,2	3
[2]	Akura, 2000	50	6,0-7,0	Bent / Frown	0,11	6
[2]	Akura, 2000	50	6,0-7,0	Bent / Frown	0,11	6
[101]	Wirbelauer, 1997	22	7	Bent / Sklera	0,82	5
[5]	Alio, 2006	100	1,4-1,9	2+5 Uhr / MICS	0,08	6
[79]	Rainer, 1999	28	3	superotemp / CC	0,89	3
[28]	Ermis, 2004	28	3,2	superonasal / CC	0,62	12
[28]	Ermis, 2004	28	3,2	superotemp / CC	0,6	12
[15]	Beltrame, 2001	60	3,5	120° / CC	0,67	3
[15]	Beltrame, 2001	54	5,5	120° / CC	1,74	3

### 6.1.7 Zugang im Bereich des steilsten Meridians

Studien, die zur Astigmatismusverringerng immer den steilsten Meridian als Zugang wählen, lassen sich nicht in obiges Schema einordnen. Bei Schnitten von 3,0–4,0 mm liegen die Werte des chirurgisch induzierten Astigmatismus im Bereich von 0,36–1,2 D, und damit deutlich über den temporalen Werten [6, 16, 17, 18, 40, 73]. Bei den breiteren Zugängen von 5,5 und 6,0 mm liegen die Werte des chirurgisch induzierten Astigmatismus sogar bei 2,56–2,6 D [17, 37].

**Tabelle 11 Studienvergleich Zugänge im steilsten Hornhautmeridian**

Artikel	Autor, Jahr	N	Schnitt- breite in mm	Zugang	SIA	Zeit in Monaten
[6]	Alio, 2005	50	2	steilst. M. / CC	0,36	3
[6]	Alio, 2005	50	3	steilst. M. / CC	1,2	3
[16]	Ben Simon, 2005	23	3,2	steilst. M. / CC	1	8
[18]	Borasio, 2006	31	3,2	steilst. M. / CC	0,34	2
[40]	Kaufmann, 2005	33	3,5	steilst. M. / CC	0,84	6
[37]	Haubrich, 1996	13	5,5	steilst. M. / CC	2,56	12
[73]	Olsen, 1997	50	3,5-4	steilst. M. / CC	0,72	6
[73]	Olsen, 1997	50	3,5-4	steilst. M. / Sklera	0,36	6
[17]	Böhm, 2006	30	3,2-6,0	steilst. M. / CC	2,6	1



## **6.2 Warum ist der chirurgisch induzierte Astigmatismus je nach Schnittlage unterschiedlich?**

Warum bei den skleralen und besonders bei den temporalen Zugängen der chirurgisch induzierte Astigmatismus besonders niedrig liegt, hat vermutlich mehrere Ursachen. Je größer der Abstand des Schnittes vom Hornhautzentrum ist, desto geringer ist der Einfluss auf den Astigmatismus. Damit erklärt sich der geringere chirurgisch induzierte Astigmatismus beim skleralen Zugang im Gegensatz zum kornealen Zugang.

Außerdem ist der durchschnittliche horizontale Hornhautdurchmesser mit 11,75 mm circa 1,0 mm breiter als der vertikale Durchmesser mit nur 10,55 mm [10]. Der 12-Uhr-Schnitt liegt 0,5 mm näher am Hornhautzentrum und bewirkt den höheren chirurgisch induzierten Astigmatismus. Die anatomische Lage der Pupille und damit der optischen Achse ist leicht nach nasal unten verschoben [13, 44, 94]. Das kann eine Erklärung für den höheren chirurgisch induzierten Astigmatismus des nasalen Zuganges sein. Cravy äußert die Vermutung, dass der Lidruck, der Lidschlag und die Schwerkraft den chirurgisch induzierten Astigmatismus beeinflussen [24]. Nach Meek et al. liegt keine gleichförmige Anordnung der Fibrillen im Hornhautstroma vor und bewirkt damit eine unterschiedliche Stabilität der Hornhaut [62]. Die Hornhaut reagiert unterschiedlich bei skleralen oder kornealen Schnitten und bei Zugängen von „12 Uhr“, temporal oder einer anderen Stelle.

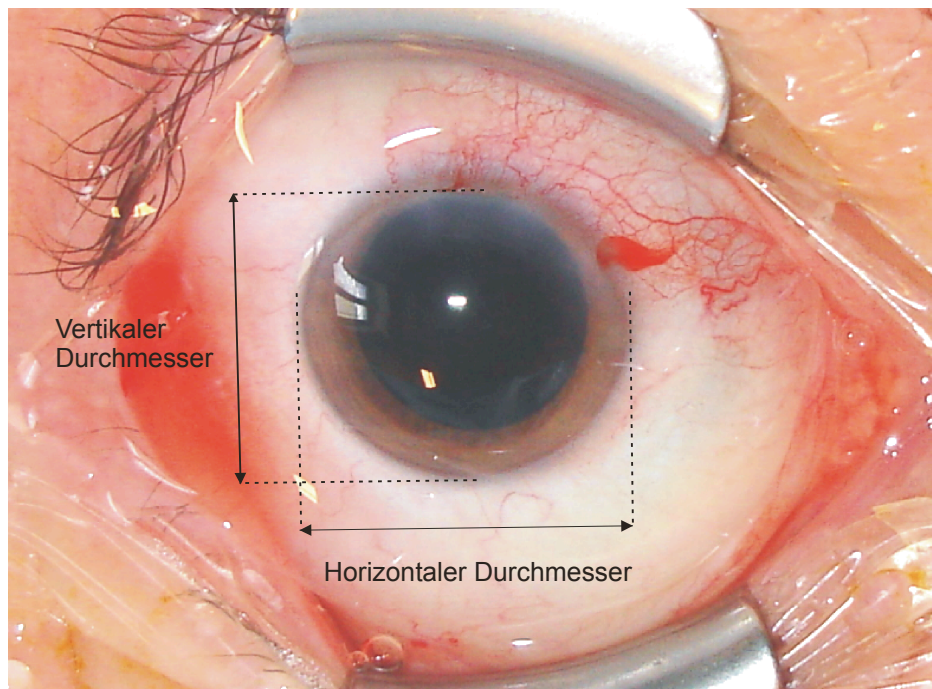


Abbildung 19 Darstellung des horizontalen und vertikalen Hornhautdurchmessers

## 6.3 Welche Parameter beeinflussen den chirurgisch induzierten Astigmatismus ?

### 6.3.1 Die untersuchten Einflussgrößen

In der Studie werden präoperativ vorhandene Daten mit dem chirurgisch induzierten Astigmatismus korreliert. Außer dem präoperativen Astigmatismus wird keine signifikante Einflussgröße gefunden, die den chirurgisch induzierten Astigmatismus beeinflusst. Die untersuchten präoperativen Parameter sind das Patientenalter, das Geschlecht, die K-Readings der Hornhaut, die Stärke der einzusetzenden IOL, die Achsenlänge, der klinisch gesicherte Diabetes mellitus sowie eine Makulopathie. Überlegt man, was zu einem höheren chirurgisch induzierten Astigmatismus führt, denkt man an verzögerte Wundheilung oder Wundheilungsstörungen. Diese wird eher bei

älteren Patienten erwartet, bei Patienten die an Diabetes oder an einer Makulopathie leiden. Es fand sich ein geringer Zusammenhang zwischen dem Alter und dem chirurgisch induzierten Astigmatismus. Der chirurgisch induzierte Astigmatismus liegt in der Altersgruppe von 51 bis 69 Jahren bei  $0,55 \pm 0,34$  D, bei den Patienten von 70–90 Jahren bei  $0,71 \pm 0,46$  D. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang ließ sich jedoch nicht nachweisen. Diabetes mellitus und Makulopathie zeigen keinerlei Korrelation mit dem chirurgisch induzierten Astigmatismus. Die Achsenlänge und die Steilheit der Hornhaut zeigen keinen Zusammenhang mit dem chirurgisch induzierten Astigmatismus. Weitere Parameter, zum Beispiel Hornhautdicke oder Hornhautdurchmesser, wurden in dieser Studie nicht erfasst. Anders et al. konnten in ihrer Studie auch keine Korrelation zwischen Hornhautdurchmesser, Bulbuslänge und mittlerer Hornhautbrechkraft aufzeigen. Allerdings zeigte sich eine signifikante positive Korrelation von chirurgisch induziertem Astigmatismus und Patientenalter [9]. Der allgemein bekannte Trend zur Myopisierung der jüngeren Generation, der sich in einer zunehmenden Achsenlänge darstellt [31], konnte in der vorliegenden Studie signifikant gezeigt werden.

### **6.3.2 Präoperativer Astigmatismus und chirurgisch induzierter Astigmatismus**

#### **6.3.2.1 Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit vom Ausgangsastigmatismus**

Es zeigte sich eine positive Korrelation von präoperativ vorhandenem Hornhautastigmatismus und chirurgisch induziertem Astigmatismus. Ob die eher geringe Korrelation durch Ausreißer zustande kam, lässt sich aufgrund der Fallzahl nicht sicher ausschließen, allerdings kamen Anders et al. auf denselben Zusammenhang [9].

### **6.3.2.2 Der chirurgisch induzierte Astigmatismus in Abhängigkeit von Ausgangsastigmatismus und Achse**

Die Einteilung der Augen in Gruppen mit Astigmatismus mit der Regel (WTR), Astigmatismus gegen die Regel (ATR) sowie Astigmatismus obliquus und sphärische Hornhaut ermöglicht es, die Entwicklung des Hornhautastigmatismus differenzierter zu betrachten. Die 1. Gruppe schließt Patienten mit präoperativem Astigmatismus mit der Regel ein. Dieser Gruppe wird mit 79 Augen (65%) die Mehrheit der Augen zugeordnet. Der Anteil entspricht der zu erwartenden Normalverteilung des Astigmatismus mit der Regel in der Bevölkerung dieser Altersklasse [31]. Fledelius et al. zeigen in ihrer Studie den mit dem Alter zunehmenden Anteil des Astigmatismus gegen die Regel in der Bevölkerung. In der Altersgruppe über 56 Jahren liegt der Anteil der Augen mit Astigmatismus mit der Regel bei 55%, der Anteil von Astigmatismen gegen die Regel liegt bei 15%. In der Blue-Mountain-Eye-Study [35] ist die Menge der Patienten mit präoperativem Astigmatismus gegen die Regel mit 35% deutlich höher. Das liegt jedoch am etwas höheren Durchschnittsalter der Kataraktpatienten. In Gruppe 1 (Astigmatismus mit der Regel) liegt der chirurgisch induzierte Astigmatismus bei  $0,72 \pm 0,49$  D und ist etwas höher als im Gesamtkollektiv. Der Gruppe 2 werden die Patienten mit Astigmatismus gegen die Regel zugeordnet, insgesamt 39 Augen (28%). Der chirurgisch induzierte Astigmatismus beträgt in dieser Gruppe  $0,54 \pm 0,36$  D, deutlich weniger als in der ersten Gruppe. In Gruppe 3 kamen die übrigen 21 Augen mit sphärischer Hornhaut und Astigmatismus obliquus. In dieser Gruppe liegt der chirurgisch induzierte Astigmatismus bei  $0,66 \pm 0,29$  D. In den Gruppen 1 und 2 zeigt sich der zu erwartende Altersunterschied mit  $71,5 \pm 7,3$  Jahren in der WTR-Gruppe und  $76,1 \pm 8,6$  Jahren in der ATR-Gruppe [31]. Dieser Altersunterschied war signifikant. Die Patienten der 3. Gruppe liegen mit  $73,0 \pm 7,1$  Jahren genau dazwischen. Der Unterschied des chirurgisch induzierten Astigmatismus in Gruppen 1 und 2 ist signifikant ( $p = 0,038$ ). Anders et al. haben in ihrer Studie, die mit breiteren Schnitten arbeitete, keinen signifikanten Einfluss der präoperativen Achslage auf die Astigmatismusinduktion feststellen können [9]. Der postoperative Astigmatismus war mit  $0,78 \pm 0,73$  D in Gruppe 1 und  $1,31 \pm 0,59$  D in Grup-

pe 2 signifikant ( $p < 0,001$ ) unterschiedlich. Vergleicht man den präoperativen Astigmatismus der Gruppe 1 von  $1,02 \pm 0,84$  D mit dem postoperativen von  $0,78 \pm 0,73$  D, erkennt man sofort, dass diese Gruppe profitiert hat. Im Gegensatz dazu erhöht sich der Ausgangsastigmatismus der 2. Gruppe von  $0,81 \pm 0,49$  D auf  $1,31 \pm 0,59$  D. Der Unterschied ist jeweils in beiden Gruppen signifikant ( $p < 0,001$ ). Graphisch deutlich wird das anhand der Abbildungen 14 und 15 auf Seite 27 und 28. Auch wenn sich in Gruppe 1 der Gesamtastigmatismus verringert hat, gilt dies nicht für alle Augen, sondern nur für 46 (58%) der 79 Augen. Bei 17 Augen (22%) bleibt der Astigmatismus gleich, bei 16 Augen (20%) steigt er sogar an. Dabei bleibt unberücksichtigt, ob sich die Achse des Astigmatismus dreht und die Patienten postoperativ einen Astigmatismus gegen die Regel entwickeln. Bei 10 der 46 Augen hat sich zwar der Astigmatismus verringert, aber in den für den sine-correctione-Visus schlechteren ATR-Astigmatismus gewandelt [19]. In Gruppe 2 verschlechtert sich der Astigmatismus bei 33 (85%) von 39 Augen, bleibt bei 6 Augen gleich (15%) und verbessert sich bei keinem der Augen.

## **6.4 Schlussfolgerung**

### **6.4.1 Beeinflussung des Astigmatismus durch die Wahl des operativen Zuganges**

In der vorliegenden Studie wird deutlich, dass bei kleinen Hornhautschnitten von 3,0 mm, die in der 12-Uhr-Position durchgeführt werden, eine signifikante Änderung des Hornhautastigmatismus eintritt. Patienten mit Astigmatismus mit der Regel profitieren zumeist, die anderen, vor allem mit vorbestehendem Astigmatismus gegen die Regel, vergrößern ihren Astigmatismus. Bradbury et al. haben gezeigt, dass der unkorrigierte Fern- und Nahvisus mit geringem Astigmatismus mit der Regel von etwa 1,5 D besser ist [19]. Folglich hat auch ein gewisser Teil der Patienten mit präoperativem Astigmatismus mit der Regel Nachteile durch die Operation. Ziel der Kataraktoperation sollte ein leichter WTR-Astigmatismus oder eine astigmatismusfreie

Hornhaut sein. Keinesfalls sollte sich durch die Operation der Astigmatismus vergrößern. Tejedor et al. [94] sind in ihrer Studie genau auf dieses Problem eingegangen und fordern je nach vorbestehendem Astigmatismus den nasalen, temporalen oder 12-Uhr-Zugang. Die Kunst des Operateurs besteht darin, individuell für jeden Patienten den optimalen Zugang zu wählen [36, 45, 105]. Wie in der Literatur beschrieben, induzieren die temporalen Zugänge den geringsten chirurgisch induzierten Astigmatismus und sind damit fast astigmatismusneutral. Davon profitieren vor allem Patienten mit niedrigem Hornhautastigmatismus. Soll durch die Operation der Astigmatismus verringert werden, muss der Zugang im steilsten Hornhautmeridian erfolgen [6, 16, 17, 18, 37, 40, 61, 73]. Möchte man eine schräge Achse behandeln, muss der Zugang entsprechend der steilsten Achse schräg erfolgen. Reicht der durch den Schnitt induzierte Astigmatismus nicht aus, um den bestehenden Astigmatismus zu neutralisieren, gibt es zahlreiche Möglichkeiten, den Astigmatismus zusätzlich zu beeinflussen.

#### **6.4.2 Techniken der Astigmatismuskorrektur**

Der Überbegriff astigmatische Keratotomie (AK) beinhaltet unterschiedlichste Techniken bezüglich der Tiefe, der Länge und der Anzahl der Hornhautschnitte. Die AK lässt sich problemlos während der Kataraktoperation durchführen. Problematisch ist jedoch die schlechte Vorhersagbarkeit der Wirkung und die Gefahr der Zunahme des irregulären Astigmatismus [1, 3, 4, 25, 42, 43, 87, 88, 89, 95, 96]. Die Gefahr der Induktion eines irregulären Astigmatismus ist bei den „limbal relaxing incisions“ (LRI) etwas geringer, die Vorhersagbarkeit jedoch ähnlich schwierig [14, 40]. Einen völlig neuen Ansatz brachten 2000 Lever und Dahan [49], die vorschlugen, gegenüber dem Phakotunnels einen zweiten Zugang gleicher Breite anzulegen. Damit erzielten Lever und Dahan und andere Autoren SIA-Werte, die über denen der Summe der SIA-Werte der Einzelschnitte liegen und eine gute Vorhersage ermöglichen [16, 27, 71, 85, 92]. Größter Kritikpunkt an dieser Methode, die zwar ohne zusätzliche Instrumente durchführbar ist, ist der zusätzliche perforierende Hornhautschnitt. Eine weitere einfache Möglichkeit, den Astigmatismus zu beeinflussen, ist es, den bestehenden Schnitt auf 4,0 oder 5,0 mm zu erweitern und damit den chirurgisch induzier-

ten Astigmatismus zu erhöhen [27, 81, 100]. Hierbei besteht die Gefahr, dass der Schnitt nicht selbstdichtend ist und mit einer Naht gesichert werden muss. Die lamellierende Keratotomie, wie von Wirbelauer et al. beschrieben, ist eine spezielle Schnitttechnik, in der die innere Hornhautöffnung bei 3,2 mm liegt, die äußere jedoch lamellierend auf 6,0 mm erweitert wird [17, 46, 102, 103]. Der damit erreichbare chirurgisch induzierte Astigmatismus liegt mit  $2,59 \pm 1,5$  D im Bereich eines auf 6,0 mm erweiterten Schnittes [102]. Um die Unwägbarkeiten des chirurgisch induzierten Astigmatismus zu umgehen, gibt es noch die Möglichkeit, den bestehenden Hornhautastigmatismus durch das Einsetzen von torischen Intraokularlinsen auszugleichen. Als problematisch ist jedoch das postoperative Drehen der IOL im Kapselsack zu sehen [26, 86]. Der Vollständigkeit halber sei noch die Korrektur mit dem Excimer-Laser in Form der PRK, LASIK oder LASEK [51, 52] erwähnt, die eine sehr genaue, aber nur begrenzte Höhe an Astigmatismuskorrektur ermöglicht.

### **6.4.3 Empfehlungen zur operativen Vorgehensweise**

Liegt der präoperative Astigmatismus mit der Regel über 1,0 D, soll der 12-Uhr-Zugang gewählt werden. Liegt der Astigmatismus darunter oder ein Astigmatismus gegen die Regel vor, soll der temporale Zugang bevorzugt werden. Bei schrägen Achsen soll im steilsten Meridian oder temporal eingegangen werden. Um Astigmatismusfreiheit bei höheren Astigmatismen zu erreichen, muss zusätzlich eine Astigmatismus reduzierende Technik angewandt werden.

## 7 Zusammenfassung

In der heutigen Kataraktchirurgie sind Schnittbreiten von 3,0 mm und weniger Standard. In der Literatur gibt es bereits zahlreiche Arbeiten, die sich mit dem chirurgisch induzierten Astigmatismus nach Katarakt-Operation beschäftigen. Da viele dieser Arbeiten breitere Schnitte untersuchen, stellt sich die Frage, inwieweit sich der Hornhautastigmatismus bei Katarakt-Patienten mit der modernen 3,0 mm Clear-Cornea-Technik verändert. In dieser retrospektiven Fall-Kontroll-Studie wurden 139 Augen von 103 Patienten untersucht. Alle Augen wurden unabhängig vom bestehenden Hornhautastigmatismus von „12 Uhr“, in Clear-Cornea-Technik operiert. Der chirurgisch induzierte Astigmatismus wurde durch Vektoranalyse bestimmt. Dazu wurden präoperativ und 3-6 Monate postoperativ mit Hilfe des Javal-Keratometers die Hornhautbrechkraft und die dazugehörige Achse bestimmt. Der chirurgisch induzierte Astigmatismus betrug  $0,66 \pm 0,44$  D, bei einer Achse von  $91,2^\circ \pm 24,1^\circ$ . Der präoperative Astigmatismus von  $0,89 \pm 0,74$  D unterschied sich nicht signifikant vom postoperativen Astigmatismus mit  $0,93 \pm 0,70$  D. Es ergab sich kein signifikanter Einfluss des Alters, des Geschlechts, der K-Readings, des IOL-Wertes, der Achsenlänge, dem Vorhandensein einer Makulopathie oder von Diabetes mellitus auf den chirurgisch induzierten Astigmatismus. Die Einteilung der Augen nach ihrem präoperativ vorhandenen Hornhautastigmatismus ergab ein anderes Bild. In Gruppe 1 kamen 79 Augen mit Astigmatismus mit der Regel, der chirurgisch induzierte Astigmatismus lag bei  $0,77 \pm 0,49$  D. Der Astigmatismus verringerte sich postoperativ signifikant von  $1,02 \pm 0,84$  D auf  $0,78 \pm 0,73$  D. Alle 39 Augen mit Astigmatismus gegen die Regel bildeten Gruppe 2. Der chirurgisch induzierte Astigmatismus lag bei  $0,54 \pm 0,36$  D, der Astigmatismus erhöhte sich signifikant von  $0,81 \pm 0,49$  D auf  $1,31 \pm 0,59$  D. Gruppe 3 enthielt die übrigen 21 Augen mit Astigmatismus obliquus und sphärischer Hornhaut. Der chirurgisch induzierte Astigmatismus betrug  $0,66 \pm 0,29$  D, der Astigmatismus erhöhte sich von  $0,52 \pm 0,56$  D auf  $0,83 \pm 0,49$  D.

Im Vergleich mit vielen anderen Studien liegt der chirurgisch induzierte Astigmatismus zwar niedriger, aber dennoch verändert er den Hornhautastigmatismus signifikant. Patienten mit bestehendem Hornhautastigmatismus gegen die Regel oder Horn-



hautastigmatismus unter 1,0 D sollten nicht von „12 Uhr“ operiert werden. Diese Patienten profitieren vom temporalen Zugang oder Zugang im steilsten Meridian.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Agapitos P. J., Lindstrom R. L., Williams P. A., Sanders D. R.  
Analysis of astigmatic keratotomy.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 13-18
2. Akura J., Kaneda S., Hatta S., Matsuura K.  
Controlling astigmatism in cataract surgery requiring relatively large self-sealing incisions.  
J Cataract Refract Surg 2000, 26: 1650-1659
3. Akura J., Matsuura K., Hatta S., Kaneda S., Kadonosono K.  
Clinical application of full-arc, depth-dependent, astigmatic keratotomy.  
Cornea 2001, 20: 839-843
4. Akura J., Matsuura K., Hatta S., Otsuka K., Kaneda S.  
A new concept for the correction of astigmatism: full-arc, depth-dependent astigmatic keratotomy.  
Ophthalmology 2000, 107: 95-104
5. Alio J., Rodriguez-Prats J. L., Galal A.  
Advances in microincision cataract surgery intraocular lenses.  
Curr Opin Ophthalmol 2006, 17: 80-93

6. Alio J., Rodriguez-Prats J. L., Galal A., Ramzy M.  
Outcomes of microincision cataract surgery versus coaxial phacoemulsification.  
Ophthalmology 2005, 112: 1997-2003
  
7. Alpíns N. A.  
Vector analysis of astigmatism changes by flattening, steepening, and torque.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 1503-1514
  
8. Anders N., Pham D. T., Antoni H. J., Wollensak J.  
Postoperative astigmatism and relative strength of tunnel incisions: a prospective clinical trial.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 332-336
  
9. Anders N., Pham D. T., Liekfeld A., Wollensak J., Mohnhaupt A.  
Faktoren mit Einfluß auf den postoperativen Astigmatismus nach No-stitch-Kataraktchirurgie.  
Ophthalmologie 1997, 94: 6-11
  
10. Augustin A. J., Blumenröder S.  
Maße und optische Daten. In: "Augenheilkunde", Begründet von J.F. Collins, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2. Auflage.  
2001, pp. 1187-1196
  
11. Axt J. C.  
Longitudinal study of postoperative astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 1987, 13: 381-388

12. Azar D. T., Stark W. J., Dodick J., Khoury J. M., Vitale S., Enger C., Reed C.  
Prospective, randomized vector analysis of astigmatism after three-, one-, and no-suture phacoemulsification.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 1164-1173
  
13. 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 2004, 30: 418-423
  
14. Bayramlar H. H., Daglioglu M. C., Borazan M.  
Limbal relaxing incisions for primary mixed astigmatism and mixed astigmatism after cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 2003, 29: 723-728
  
15. Beltrame G., Salvetat M. L., Chizzolini M., Driussi G.  
Corneal topographic changes induced by different oblique cataract incisions.  
J Cataract Refract Surg 2001, 27: 720-727
  
16. 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 2005, 243: 321-326

17. Böhm T., Wirbelauer C., Pham D. T.  
Optische Qualität der Hornhaut nach inzisionaler Astigmatismuskorrektur.  
Ophthalmologe 2006, 103: 325-330
  
18. 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 2006, 32: 565-572
  
19. Bradbury J. A., Hillman J. S., Cassells-Brown A.  
Optimal postoperative refraction for good unaided near and distance vision with monofocal intraocular lenses.  
Br J Ophthalmol 1992, 76: 300-302
  
20. Burgansky Z., Isakov I., Avizemer H., Bartov E.  
Minimal astigmatism after sutureless planned extracapsular cataract extraction.  
J Cataract Refract Surg 2002, 28: 499-503
  
21. Calossi A., Verzella F., Penso A.  
Computer program to calculate vectorial change of refraction induced by refractive surgery.  
Refract Corneal Surg 1993, 9: 276-282

22. Cory C. C.  
Prevention and treatment of postimplantation astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 58-60
  
23. Cravy T. V.  
Long-term corneal astigmatism related to selected elastic, monofilament, nonabsorbable sutures.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 61-69
  
24. 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 1991, 17: 415-423
  
25. Davison J. A.  
Transverse astigmatic keratotomy combined with phacoemulsification and intraocular lens implantation.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 38-44
  
26. Dick H. B., Krummenauer F., Tröber L.  
Ausgleich des kornealen Astigmatismus mit torischer Intraokularlinse: Ergebnisse der Multicenterstudie.  
Klin Monatsbl Augenheilkd 2006, 223: 593-608
  
27. Epstein R. J.  
Extending the standard temporal incision.  
J Cataract Refract Surg 2000, 26: 1697-1698

28. Ermis S. S., Inan U. U., Ozturk F.  
Surgically induced astigmatism after superotemporal and superonasal clear corneal incisions in phacoemulsification.  
J Cataract Refract Surg 2004, 30: 1316-1319
  
29. Feil S. H., Crandall A. S., Olson R. J.  
Astigmatic decay following small incision, self-sealing cataract surgery: one-year follow-up.  
J Cataract Refract Surg 1995, 21: 433-436
  
30. Flaharty P. M., Siepser S. B.  
Surgically induced astigmatism in human cadaver eyes.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 19-24
  
31. Fledelius H. C., Stubgaard M.  
Changes in refraction and corneal curvature during growth and adult life. A cross-sectional study.  
Acta Ophthalmol (Copenh) 1986, 64: 487-491
  
32. Giansanti F., Rapizzi E., Virgili G., Mencucci R., Bini A., Vannozzi L., Menchini U.  
Clear corneal incision of 2.75 mm for cataract surgery induces little change of astigmatism in eyes with low preoperative corneal cylinder.  
Eur J Ophthalmol 2006, 16: 385-393

33. Gills J. P., Sanders D. R.  
Use of small incisions to control induced astigmatism and inflammation following cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1991, 17 Suppl: 740-744
  
34. Gokhale N. S., Sawhney S.  
Reduction in astigmatism in manual small incision cataract surgery through change of incision site.  
Indian J Ophthalmol 2005, 53: 201-203
  
35. Guzowski M., Rohtchina E., Wang J. J., Mitchell P.  
Refractive changes following cataract surgery: the Blue Mountains Eye Study.  
Clin Experiment Ophthalmol 2002, 30: 159-162
  
36. Hardten D. R.  
The importance of the refractive aspects of cataract surgery.  
Am J Ophthalmol 2005, 139: 906-907
  
37. Haubrich T., Knorz M. C., Seiberth V., Liesenhoff H.  
Vektoranalyse des chirurgisch induzierten Astigmatismus bei Kataraktoperation mit 4 Tunnel-Schnitt-Techniken.  
Ophthalmologie 1996, 93: 12-16



38. Holladay J. T., Cravy T. V., Koch D. D.  
Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery.  
J Cataract Refract Surg 1992, 18: 429-443
  
39. Holladay J. T., Moran J. R., Kezirian G. M.  
Analysis of aggregate surgically induced refractive change, prediction error, and intraocular astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 2001, 27: 61-79
  
40. Kaufmann C., Peter J., Ooi K., Phipps S., Cooper P., Goggin M.  
Limbal relaxing incisions versus on-axis incisions to reduce corneal astigmatism at the time of cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 2005, 31: 2261-2265
  
41. Kaye S., Patterson A.  
Assessing surgically induced astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 2001, 27: 1148
  
42. Kershner R. M.  
Keratolenticuloplasty: arcuate keratotomy for cataract surgery and astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 1995, 21: 274-277
  
43. Kershner R. M.  
Clear corneal cataract surgery and the correction of myopia, hyperopia, and astigmatism.  
Ophthalmology 1997, 104: 381-389

44. Kohnen S., Neuber R., Kohnen T.  
Effect of temporal and nasal unsutured limbal tunnel incisions on induced astigmatism after phacoemulsification.  
J Cataract Refract Surg 2002, 28: 821-825
  
45. Kohnen T.  
Corneal shape changes and astigmatic aspects of scleral and corneal tunnel incisions.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 301-302
  
46. Kohnen T., Bühren J.  
Comment on the publication "Lamellar keratotomy to correct astigmatism in cataract surgery" by C. Wirbelauer et al.  
Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2006, 244: 417-418
  
47. 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 1995, 21: 417-424
  
48. Kutschan A., Wiegand W.  
"Refraktive" Kataraktchirurgie. PMMA-Linsen versus Faltlinsen.  
Ophthalmologie 2003, 100: 318-324

49. Lever J., Dahan E.  
Opposite clear corneal incisions to correct pre-existing astigmatism in cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 2000, 26: 803-805
50. Levy J. H., Pisacano A. M., Chadwick K.  
Astigmatic changes after cataract surgery with 5.1 mm and 3.5 mm sutureless incisions.  
J Cataract Refract Surg 1994, 20: 630-633
51. Lohmann C. P., von Mohrenfels C. W., Herrmann W., Gabler B., Laube T., Marshall J.  
Elliptical ELSA (LASEK) instruments for the treatment of astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 2003, 29: 2174-2180
52. Lohmann C. P., Winkler v. M., Gabler B., Hermann W., Müller M.  
Excimer Laser subepitheliale Ablation (ELSA) bzw. Laser epitheliale Keratomileusis (LASEK) - ein neuartiges refraktiv-chirurgisches Verfahren zur Myopiekorrektur. Operationstechnik und erste klinische Ergebnisse an 24 Augen und nach 3 Monaten.  
Klin Monatsbl Augenheilkd 2002, 219: 26-32
53. Lyhne N., Corydon L.  
Two year follow-up of astigmatism after phacoemulsification with adjusted and unadjusted sutured versus sutureless 5.2 mm superior scleral incisions.  
J Cataract Refract Surg 1998, 24: 1647-1651

54. Lyhne N., Hansen T. E., Corydon L.  
Relationship between preoperative axis of astigmatism and postoperative astigmatic change after superior scleral incision phacoemulsification.  
J Cataract Refract Surg 1998, 24: 935-939
55. Lyhne N., Krogsager J., Corydon L., Kjeldgaard M.  
One year follow-up of astigmatism after 4.0 mm temporal clear corneal and superior scleral incisions.  
J Cataract Refract Surg 2000, 26: 83-87
56. Lyle W. A., Jin G. J.  
Prospective evaluation of early visual and refractive effects with small clear corneal incision for cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1996, 22: 1456-1460
57. Maloney W. F., Grindle L., Sanders D., Percy D.  
Astigmatism control for the cataract surgeon: a comprehensive review of surgically tailored astigmatism reduction (STAR).  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 45-54
58. Mamalis N.  
Is smaller better?  
J Cataract Refract Surg 2003, 29: 1049-1050

59. Masket S.  
Keratorefractive aspects of the scleral pocket incision and closure method for cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 70-77
60. Masket S., Tennen D. G.  
Astigmatic stabilization of 3.0 mm temporal clear corneal cataract incisions.  
J Cataract Refract Surg 1996, 22: 1451-1455
61. Matsumoto Y., Hara T., Chiba K., Chikuda M.  
Optimal incision sites to obtain an astigmatism-free cornea after cataract surgery with a 3.2 mm sutureless incision.  
J Cataract Refract Surg 2001, 27: 1615-1619
62. Meek K. M., Newton R. H.  
Organization of collagen fibrils in the corneal stroma in relation to mechanical properties and surgical practice.  
J Refract Surg 1999, 15: 695-699
63. Mendivil A.  
Intraocular lens implantation through 3.2 versus 4.0 mm incisions.  
J Cataract Refract Surg 1996, 22: 1461-1464
64. Merriam J. C., Zheng L., Merriam J. E., Zaider M., Lindstrom B.  
The effect of incisions for cataract on corneal curvature.  
Ophthalmology 2003, 110: 1807-1813

65. Merriam J. C., Zheng L., Urbanowicz J., Zaider M.  
Change on the horizontal and vertical meridians of the cornea after  
cataract surgery.  
Trans Am Ophthalmol Soc 2001, 99: 187-195
66. Müller-Jensen K., Barlinn B.  
Long-term astigmatic changes after clear corneal cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 354-357
67. Müller-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 1996, 22: 1108-1112
68. Müller-Jensen K., Schuler M.  
Astigmatismusreduktion durch 4 mm langen nahtfreien kornealen Star-  
schnitt (Stretch-Inzision) mit Phakoemulsifikation und 5mm PMMA-  
Linsen-Implantation.  
Klin Monatsbl Augenheilkd 1998, 212: 428-432
69. Naeser K., Behrens J. K.  
Correlation between polar values and vector analysis.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 76-81
70. Neumann A. C., McCarty G. R., Sanders D. R., Raanan M. G.  
Small incisions to control astigmatism during cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 78-84

71. Nichamin L. D.  
Opposite clear corneal incisions.  
J Cataract Refract Surg 2001, 27: 7-8
72. Nielsen P. J.  
Prospective evaluation of surgically induced astigmatism and astigmatic keratotomy effects of various self-sealing small incisions.  
J Cataract Refract Surg 1995, 21: 43-48
73. Olsen T., Dam-Johansen M., Bek T., Hjortdal J. O.  
Corneal versus scleral tunnel incision in cataract surgery: a randomized study.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 337-341
74. Oshika T., Nagahara K., Yaguchi S., Emi K., Takenaka H., Tsuboi S., Yoshitomi F., Nagamoto T., Kurosaka D.  
Three year prospective, randomized evaluation of intraocular lens implantation through 3.2 and 5.5 mm incisions.  
J Cataract Refract Surg 1998, 24: 509-514
75. Oshika T., Sugita G., Tanabe T., Tomidokoro A., Amano S.  
Regular and irregular astigmatism after superior versus temporal scleral incision cataract surgery.  
Ophthalmology 2000, 107: 2049-2053

76. Oshima Y., Tsujikawa K., Oh A., Harino S.  
Comparative study of intraocular lens implantation through 3.0 mm  
temporal clear corneal and superior scleral tunnel self-sealing incisions.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 347-353
77. Pflieger T., Skorpik C., Menapace R., Scholz U., Weghaupt H., Zehet-  
mayer M.  
Long-term course of induced astigmatism after clear corneal incision  
cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1996, 22: 72-77
78. Poort-van Nouhuijs H. M., Hendrickx K. H., van Marle W. F., Boesten  
I., Beekhuis W. H.  
Corneal astigmatism after clear corneal and corneoscleral incisions for  
cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 758-760
79. Rainer G., Menapace R., Vass C., Annen D., Findl O., Schmetterer K.  
Corneal shape changes after temporal and superolateral 3.0 mm clear  
corneal incisions.  
J Cataract Refract Surg 1999, 25: 1121-1126
80. Rainer G., Menapace R., Vass C., Strenn K., Papapanos P.  
Surgically induced astigmatism following a 4.0 mm sclerocorneal valve  
incision.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 358-364
81. Rao S. N., Konowal A., Murchison A. E., Epstein R. J.



- Enlargement of the temporal clear corneal cataract incision to treat pre-existing astigmatism.  
J Refract Surg 2002, 18: 463-467
82. Retzlaff J., Paden P. Y., Ferrell L.  
Vector analysis of astigmatism. Adding and subtracting spherocylinders.  
J Cataract Refract Surg 1993, 19: 393-398
83. Richards S. C., Brodstein R. S., Richards W. L., Olson R. J., Combe P. H., Crowell K. E.  
Long-term course of surgically induced astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 1988, 14: 270-276
84. Roman S. J., Auclin F. X., Chong-Sit D. A., Ullern M. M.  
Surgically induced astigmatism with superior and temporal incisions in cases of with-the-rule preoperative astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 1998, 24: 1636-1641
85. Rosen E. S.  
Opposite clear corneal incisions.  
J Cataract Refract Surg 2000, 26: 789-790

86. Ruhswurm I., Scholz U., Zehetmayer M., Hanselmayer G., Vass C., Skorpik C.  
Astigmatism correction with a foldable toric intraocular lens in cataract patients.  
J Cataract Refract Surg 2000, 26: 1022-1027
87. Scharrer A., Ober M.  
Astigmatic keratotomy for high astigmatism after perforating keratoplasty  
Presented at the 98 th annual meeting of the DOG in 2000
88. Shen Y., Tong J. P., Li Y. M.  
Corneal relaxing incision combined with phacoemulsification and IOL implantation.  
J Zhejiang Univ Sci 2004, 5: 985-988
89. Shepherd J. R.  
Correction of preexisting astigmatism at the time of small incision cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 55-57
90. Shepherd J. R.  
Induced astigmatism in small incision cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1989, 15: 85-88

91. Simsek S., Yasar T., Demirok A., Cinal A., Yilmaz O. F.  
Effect of superior and temporal clear corneal incisions on astigmatism after sutureless phacoemulsification.  
J Cataract Refract Surg 1998, 24: 515-518
  
92. Tadros A., Habib M., Tejwani D., Von Lany H., Thomas P.  
Opposite clear corneal incisions on the steep meridian in phacoemulsification: early effects on the cornea.  
J Cataract Refract Surg 2004, 30: 414-417
  
93. Talamo J. H., Stark W. J., Gottsch J. D., Goodman D. F., Pratzner K., Cravy T. V., Enger C.  
Natural history of corneal astigmatism after cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1991, 17: 313-318
  
94. Tejedor J., Murube J.  
Choosing the location of corneal incision based on preexisting astigmatism in phacoemulsification.  
Am J Ophthalmol 2005, 139: 767-776
  
95. Thornton S. P.  
Astigmatic keratotomy: a review of basic concepts with case reports.  
J Cataract Refract Surg 1990, 16: 430-435
  
96. Thornton S. P., Sanders D. R.  
Graded nonintersecting transverse incisions for correction of idiopathic astigmatism.  
J Cataract Refract Surg 1987, 13: 27-31

97. Uusitalo R. J., Tarkkanen A.  
Outcomes of small incision cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 1998, 24: 212-221
  
98. Vass C., Menapace R., Rainer G., Findl O., Steineck I.  
Comparative study of corneal topographic changes after 3.0 mm beveled and hinged clear corneal incisions.  
J Cataract Refract Surg 1998, 24: 1498-1504
  
99. Wang L., Misra M., Koch D. D.  
Peripheral corneal relaxing incisions combined with cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 2003, 29: 712-722
  
100. Werblin T. P.  
Control of astigmatism in cataract surgery.  
J Refract Surg 2003, 19: 610
  
101. Wirbelauer C., Anders N., Pham D. T., Wollensak J.  
Effect of incision location on preoperative oblique astigmatism after scleral tunnel incision.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 365-371
  
102. Wirbelauer C., Bohm T., Haberle H., Pham D. T.  
Lamellar keratotomy to correct astigmatism in cataract surgery.  
Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2005, 243: 243-249

103. Wirbelauer C., Bohm T., Pham D. T.  
Reply to comment by T. Kohnen and J. Bühren regarding our publication "Lamellar keratotomy to correct astigmatism in cataract surgery".  
Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2006, 244: 419-420
104. Woo S. J., Lee J. H.  
Effect of central corneal thickness on surgically induced astigmatism in cataract surgery.  
J Cataract Refract Surg 2003, 29: 2401-2406
105. Woodcock M., Shah S., Smith R. J.  
Recent advances in customising cataract surgery.  
BMJ 2004, 328: 92-96
106. Zanini M., Tassinari G., Barboni P., Mularoni A., Della P., V, Bellusci C.  
Induced astigmatism after near-clear hinge incision.  
J Cataract Refract Surg 1997, 23: 1190-1195

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Anteil der ein- oder beidäugig operierten Patienten, Vergleich zwischen Frauen und Männern.....	16
Tabelle 2	Der chirurgisch induzierte Astigmatismus (SIA).....	20
Tabelle 3	Astigmatismusverteilung Gesamtkollektiv, Gruppe 1, Gruppe 2 und Gruppe 3.....	26
Tabelle 4	Studienvergleich Clear-Cornea-Zugang von 12 Uhr.....	33
Tabelle 5	Studienvergleich Sklera-Zugang von „12 Uhr“.....	34
Tabelle 6	Studienvergleich Clear-Cornea-Zugang temporal von 3,0 mm bis 3,5 mm.....	35
Tabelle 7	Studienvergleich Clear-Cornea-Zugang temporal von 4,0 mm bis 7,0 mm.....	36
Tabelle 8	Studienvergleich Sklera-Zugang von temporal.....	37
Tabelle 9	Studienvergleich Clear-Cornea und Sklera-Zugang von nasal.....	37
Tabelle 10	Studienvergleich Zugänge von Superonasal, Superotemporal, 120°, BENT und MICS.....	38
Tabelle 11	Studienvergleich Zugänge im steilsten Hornhautmeridian.....	39

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Alcon® 3mm ClearCut.....	9
Abbildung 2	Alcon® 15° Ophtalmic Knive .....	10
Abbildung 3.	Clear-Cornea-Zugang 3,0 mm, 2 Parazenthesen 1,0 mm .....	10
Abbildung 4	Javal-Ophtalmometer C-MES.....	12
Abbildung 5	Javal-Ophtalmometer C-MES, Javal-Figuren.....	13
Abbildung 6	Altersverteilung .....	16
Abbildung 7	Zusammenhang zwischen Achsenlänge in mm und eingesetzter IOL in Dioptrie.....	17
Abbildung 8	Visusanstieg präoperativ-postoperativ.....	18
Abbildung 9	Darstellung des chirurgisch induzierten Astigmatismus mit Achslage.....	21
Abbildung 10	Zusammenhang Achsenlänge – Alter.....	22
Abbildung 11	Zusammenhang Alter – chirurgisch induzierter Astigmatismus (SIA) .....	23
Abbildung 12	Zusammenhang Astigmatismus präoperativ – chirurgisch induzierter Astigmatismus (SIA).....	24
Abbildung 13	Zuordnung zu den drei Gruppen in Abhängigkeit vom bestehenden Minus-Astigmatismus .....	25
Abbildung 14	Gruppe 1 Gegenüberstellung Astigmatismus präoperativ und postoperativ .....	27
Abbildung 15	Gruppe 2 Gegenüberstellung Astigmatismus präoperativ und .....	28
Abbildung 16	Gruppe 3 Gegenüberstellung Astigmatismus präoperativ und .....	29
Abbildung 17	Astigmatismusentwicklung innerhalb der Gruppen.....	30
Abbildung 18	Altersverteilung innerhalb der Gruppen.....	31
Abbildung 19	Darstellung des horizontalen und vertikalen Hornhautdurchmessers.....	41

## 11 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Dr. (Lon.) Chris P. Lohmann Direktor der Augenklinik und Poliklinik der Technischen Universität München, für die Überlassung des Dissertationsthemas, sowie für seine Hilfsbereitschaft und seinen Rat bei der wissenschaftlichen Arbeit.

Ganz herzlich möchte ich mich bei Herrn Dr. med. Mathias Maier für die fortwährende, intensive und persönliche Betreuung bedanken.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. Scharrer und Herrn Dr. Ober für die Ermöglichung der Studiendurchführung im Medizinischen Versorgungszentrum Fürth.

Herrn Dipl. Stat. Tibor Schuster, Mitarbeiter im Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie der Technische Universität München, danke ich recht herzlich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Arbeit.

Herzlich bedanke ich mich bei meinem Schwiegervater Herrn Josef Sagmeister StD a.D. für die schnelle und vorzügliche Korrekturlesung.

Meiner Frau Dr. med. Annette Lodes danke ich sehr für ihre fortwährende Unterstützung und Aufmunterung, ohne die ein Gelingen der Arbeit nur schwer möglich gewesen wäre.