

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

(Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. (Lond.) Chr.-P. Lohmann)

## Korrektur der Alterssichtigkeit mit Intraokularlinsen

Monovision mit monofokalen Intraokularlinsen  
und  
binokulare Korrektur mit trifokalen Intraokularlinsen

Plamenka Marinova-Rübecamp

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. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. E. Fabian

2. Univ.-Prof. Dr. Chr.-P. Lohmann

Die Dissertation wurde am 27.11.2014 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 17.06.2015 angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	Alterungsprozesse am Auge .....	6
1.2	Alterungsprozesse der Linse .....	8
1.3	Alterungsprozesse am Auge und Lebens-Qualität .....	8
1.4	Korrektion der Alterssichtigkeit .....	11
1.5	Monovision .....	11
1.6	Moderne Katarakt- und Linsen Chirurgie .....	13
1.7	Refraktive Chirurgie .....	14
1.8	Multifokale Intraokularlinsen (M-IOL) .....	15
1.9	Trifokale Intraokularlinsen (Trifokale-IOL) .....	17
<b>2</b>	<b>Fragestellungen der Arbeit</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>Allgemeine Grundlagen zum Sehen in die Ferne und Nähe</b>	<b>20</b>
3.1	Augenlinse .....	20
3.2	Akkommodation .....	21
3.3	Presbyopie .....	23
3.4	Pseudoakkommodation .....	24
3.4.1	Enge Pupille .....	25
3.4.2	Einfacher myoper Astigmatismus .....	25
3.5	Normales Binokularesehen .....	26
3.5.1	Fusion .....	26
3.5.2	Binokulare Rivalität .....	27
3.5.3	Stereosehen und Tiefenwahrnehmung .....	28
3.5.4	Augendominanz .....	28
<b>4</b>	<b>Patienten und Methoden</b>	<b>30</b>
4.1	Patientenkollektiv .....	30
4.1.1	Einschlusskriterien .....	31
4.1.2	Ausschlusskriterien .....	31

4.2 Operations-Technik .....	31
4.3 Untersuchungsmethoden .....	31
4.3.1 Voruntersuchung .....	31
4.3.1.1 Refraktion .....	32
4.3.1.2 Biometrie .....	32
4.3.1.3 Bestimmung der Ferndominanz .....	32
4.3.1.4 Kontaktlinsen-Simulation .....	33
4.3.2 Nachuntersuchung .....	33
4.3.2.1 Refraktion und Visus .....	34
4.3.2.2 Untersuchung der Hornhaut .....	34
4.3.2.3 Untersuchung des Stereosehens .....	34
4.3.2.4 Pupillenmessung .....	34
4.4 Patientenaufklärung .....	35
4.5 Patientenbefragung .....	36
<b>5 Ergebnisse</b> .....	<b>38</b>
5.1 Ergebnisse Monovision .....	38
5.1.1 Patientenkollektiv Monovision .....	38
5.1.2 Visus und Refraktion bei Monovision .....	39
5.1.2.1 Fernvisus korrigiert präoperativ .....	39
5.1.2.2 Sphärisches Äquivalent präoperativ .....	40
5.1.2.3 Visusentwicklung postoperativ .....	41
5.1.2.4 Sphärisches Äquivalent postoperativ .....	45
5.1.2.5 Fernvisus korrigiert binokular präoperativ vs. Fernvisus unkorrigiert binokular postoperativ .....	46
5.1.2.6 Visus unkorrigiert binokular vs. Visus binokular korrigiert (Qualität der Monovision) .....	47
5.1.3 Zielrefraktion postoperativ vs. sphärisches Äquivalent postoperativ .....	48
5.1.4 Korrelation: Nahvisus – Pupillenweite .....	52
5.1.4.1 Nahvisus unkorrigiert binokular - Pupillenweite .....	52
5.1.4.2 Mittelwert Pupillenweite .....	53

5.1.5	Korrelation: Stereosehen – sphärisches Äquivalent .....	55
5.1.6	Brillentrageverhalten Monovision .....	56
5.1.7	Patientenzufriedenheit Monovision .....	57
5.2	Ergebnisse Trifokale – Intraokularlinse (IOL) .....	57
5.2.1	Patientenkollektiv Trifokale - IOL .....	57
5.2.2	Visus und Refraktion Trifokale - IOL .....	58
5.2.2.1	Ergebnisse unkorrigierter binokularer Fern- und Nahvisus .....	58
5.2.2.2	Ergebnisse Refraktion .....	58
5.2.3	Gewöhnungszeit Trifokale – IOL .....	
5.2.4	Nebenwirkungen Trifokale – IOL .....	59
5.2.5	Brillentrageverhalten Trifokale – IOL .....	59
5.2.6	Patientenzufriedenheit Trifokale - IOL .....	60
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>60</b>
6.1	Presbyopie: operative Korrektur - Möglichkeiten .....	60
6.2	Monovision Ergebnisse .....	66
6.3	Monovision Modifikationen und Langzeitergebnisse .....	71
6.4	Trifokale - IOL Ergebnisse .....	72
6.5	Monovision vs. Mehrfokale – IOL .....	74
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>78</b>
<b>9</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>89</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>94</b>
<b>12</b>	<b>Danksagung</b>	<b>95</b>

## 1 Einleitung

Der demographische Wandel bringt eine Veränderung der Altersstruktur der Bevölkerung mit sich. In Deutschland leben rund 82 Millionen Menschen, von denen rund 17 Millionen 65 Jahre oder älter sind. Zwischen Nordsee und Alpen hatte damit jede fünfte Person das Rentenalter bereits erreicht (Statistisches Bundesamt 2011). Im Jahr 2060 wird jeder dritte Deutsche über 65 Jahre alt sein, der Anteil der über 80-Jährigen wird bei 14 Prozent sein (Abb.1). Mit dieser Änderung der Altersstruktur treten die Alterungsprozesse des Menschen häufiger auf und bekommen eine stärkere Gewichtung. Das fordert die Versorgung der Bevölkerung auch in Bezug auf Veränderungen und Erkrankungen der Augen heraus.

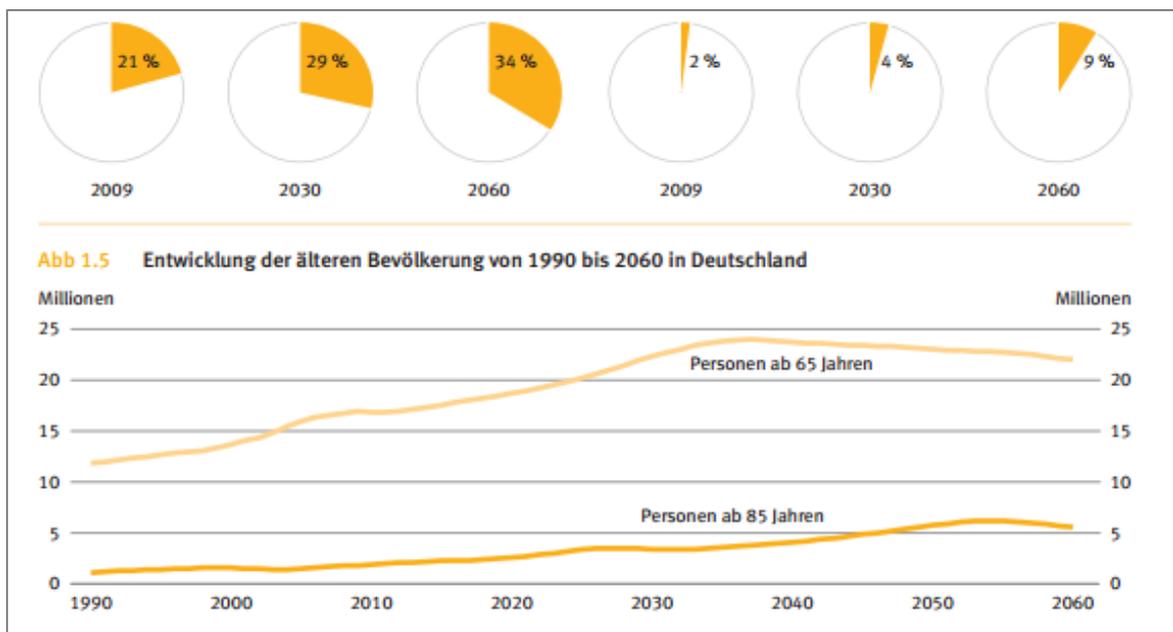


Abbildung 1. Entwicklung der älteren Bevölkerung, Quelle: Ältere Menschen in Deutschland und der EU, Statistisches Bundesamt 2011

## 1.1 Alterungsprozesse am Auge

Das Auge ist von den Alterungsprozessen mehrfach betroffen:

- Die Alterssichtigkeit oder die Presbyopie

Hochgerechnet auf die Bevölkerung im Alter zwischen 18 und 79 Jahren gibt es 40 Millionen Personen (63,4% der Bevölkerung), die eine Brille tragen, 2,2 Millionen Personen (5,3 %) sind mit Kontaktlinsen versorgt - in den Ost - Bundesländern (3,6%), in den West - Bundesländern (5,8%) (Brillenstudie Allensbach 2011). Die Abnahme der Akkommodation führt zur Lesebrillennotwendigkeit. Ab dem 50. Lebensjahr brauchen fast alle Menschen eine Sehhilfe (Bergmann und Ellert 2000). Die absolute Zahl der sehbehinderten Personen in der ältesten Gruppe (75 Jahre und älter) in Deutschland ist gestiegen (Wolfram und Pfeiffer 2012) und die Prävalenz der Sehbeeinträchtigungen nimmt bei beiden Geschlechtern in dem Alter ab 65 Jahren signifikant zu. Die Prävalenz der leichten bis großen Sehbeeinträchtigungen liegt zwischen 18,3% und 1,8% (GEDA 2009).

- Der Graue Star oder die Katarakt

Durch Oxidationsprozesse der Linsenfasern verliert die Linse Transparenz, diese geht zumeist langsam einher mit einer Verminderung der Sehschärfe und einer Zunahme der Blendempfindlichkeit. Der Graue Star nimmt ab dem 65. – 79. Lebensjahr deutlich zu (Klein et al. 2008, Kohnen et al. 2009).

- Der Grüne Star oder das Glaukom

Überwiegend ist der Abflusswiderstand im trabekulären Maschenwerk in dem Schlemm´schen Kanal im Kammerwinkel erhöht. Ab dem 40. Lebensjahr nimmt das Glaukom mit den Zeichen des erhöhten Augendrucks statisch signifikant zu (Quigley 1996).

- Die altersabhängige Makuladegeneration

Durch Anhäufung von Stoffwechselablagerungsprodukten und durch Gefäßneubildungen gehen Photorezeptoren und Nervenfasern im Bereich der Makula zugrunde, eine zunehmende Visusminderung entsteht (Holz et al. 2004).

- Die diabetische Retinopathie

Die Zahl der Menschen mit Diabetes mellitus steigt an. In der Altersgruppe 75 bis 80 Jahre ist jeder Dritte bis Vierte betroffen. Bis zum Jahr 2030 wird eine Zunahme der Erkrankung auf 66,5 Millionen weltweit geschätzt. Mehr als die Hälfte der Betroffenen sind über 60 Jahre alt. Allein für Deutschland wird im Jahre 2030 ein Anstieg um mehr als 1,5 Millionen neue Erkrankungen (+64%) erwartet (Shaw et al. 2010). Das Risiko für eine diabetische Retinopathie und das diabetische Makulaödem steigen damit auch.

Diese altersbedingten Veränderungen des Auges treten in erheblicher Anzahl in hochentwickelten Ländern und in Entwicklungsländern, wenn auch mit unterschiedlicher Gewichtung auf und werden als Volkskrankheiten bezeichnet.

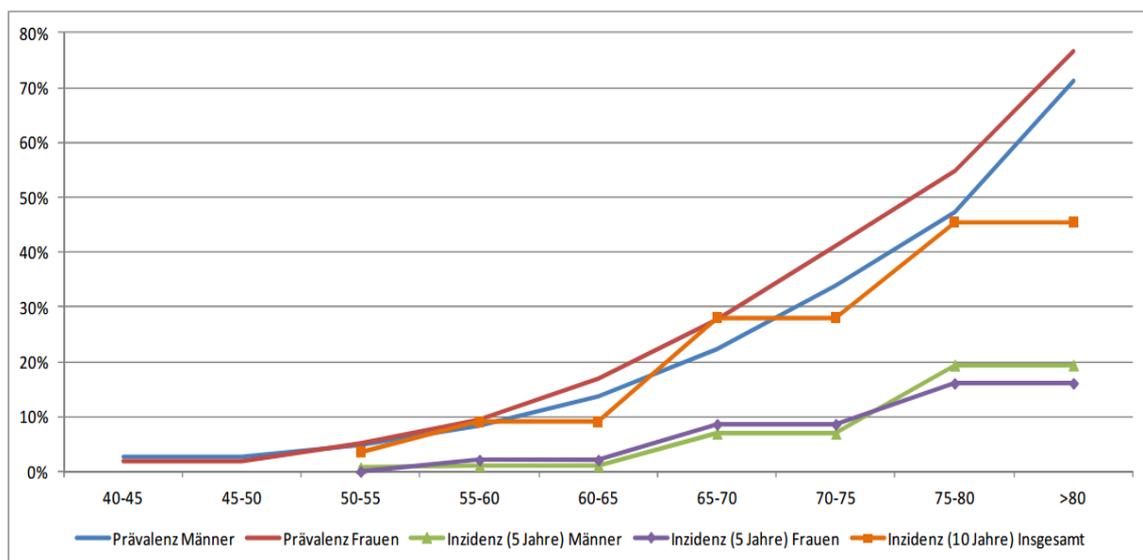


Abbildung 2. Prävalenz der Katarakt und Inzidenz der Kataraktoperationen, Quelle: Wille E, Popp M. Die Bewertung von Kataraktoperationen aus gesundheitsökonomischer Sicht 2012

Eine Katarakt ist zwar bei allen Altersgruppen der Bevölkerung zu beobachten. Besonders häufig ist der Graue Star jedoch im höheren Alter anzutreffen. Ein fortgeschrittenes Alter stellt ein Krankheitsrisiko für die Kataraktentwicklung dar. Im Rahmen der Beaver- Dam - Eye - Study in den USA wurde festgestellt, dass 14,3 % der Männer und 23,5 % der Frauen im Alter von 65-74 Jahren eine Alterskatarakt haben. In dem Alter ab 75 Jahren sind 38,8 % der Männer und 45,9% der Frauen betroffen (Harding et al. 1993). Mit dem Alter nimmt die Prävalenz der Katarakt zu (Abb.2). 90 % aller Katarakte sind Alterskatarakte (Klein et al. 2008).

## **1. 2 Alterungsprozesse der Linse**

Die Funktionen der Linse ändern sich im Alter. Verbunden mit einer Abnahme der Elastizität, tritt ab dem 45. Lebensjahr die Abnahme der Akkommodation in der kristallinen Linse als Alterungsprozess in Erscheinung. Dementsprechend wird diese Fehlsichtigkeit Alterssichtigkeit oder Presbyopie benannt. Um weiterhin in der Nähe scharf sehen zu können, muss dann ab dem 45 ten Lebensjahr mit einer Nahkorrektur nachgeholfen werden. Betroffen davon sind fast alle Menschen. In Abhängigkeit von einer vorbestehenden Fehlsichtigkeit müssen sie mit einer Lesehilfe versorgt werden.

Ein zweiter Alterungsprozess des Auges ist die Linsentrübung oder die Katarakt. Im Laufe des Lebens ändert sich die Durchsichtigkeit der klaren Linse indem sie zunächst gelblicher und schließlich bräunlich wird. Dabei nimmt die Absorption im Wellenlängenbereich von 400 nm zu und schließlich lässt die Transmission immer mehr nach und führt zu dem Krankheitsbild der Linsentrübung. Sie kann nur durch eine Operation behandelt werden. Die Kataraktoperation ist einer der am häufigsten durchgeführten chirurgischen Eingriffe in der Medizin. Es werden jedes Jahr in der ganzen Welt etwa 10 Millionen Kataraktoperationen durchgeführt, mit CRS (Cataract Surgical Rate) zwischen 100 und 6000 pro eine Million Einwohner (Forster 2001). Die jährliche Anzahl an Kataraktoperationen pro 1 Million Einwohner variiert stark von Land zu Land und liegt nach Angaben der WHO in den USA und Europa bei 4 000 bis 5 000 (WHO 2008, Kohlen et al. 2009, Behndig et al. 2011). In der Bundesrepublik beträgt die jährliche Anzahl der Katarakteingriffe über 800 000 (Wenzel et al. 2009).

## **1.3 Alterungsprozesse am Auge und Lebens-Qualität**

Die Alterserscheinungen der Linse haben eine deutliche Beeinträchtigung für den Einzelnen zur Folge. Die Alterssichtigkeit erfordert zumeist eine 2-Stärken- oder eine Gleitsichtbrille. Die Beeinträchtigung des Sehens mit einer Gleitsichtbrille ist für ca. 15 % der Gleitsichtbrillenträger erheblich. Die zunehmende Trübung der kristallinen Linse führt zur Beeinträchtigung des Autofahrens und kann bis zum Fahrverbot reichen.

Nach der Empfehlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) und des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands (BVA) wird als untere Sehschärfegrenze für Inhaber der Fahrerlaubnisklasse B ein Visus von 0,32 bis 0,4 empfohlen, wenn Kontrastsehen und Dämmerungssehen intakt sind (Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr 2011).

Bei der Definition von gesundheitsbezogener Lebensqualität richtet sich die Medizin nach der allgemeinen, allerdings schon älteren Gesundheitsdefinition der Weltgesundheitsorganisation. Danach hat die Gesundheit eine physische, psychische und soziale Komponente. Gesundheitsbezogene Lebensqualität kann somit anhand der Zufriedenheit, die Menschen hinsichtlich dieser drei Komponenten zeigen, festgestellt werden. Patientenzufriedenheit, Kosten-Nutzen-Kalkulationen und Effizienzsteigerungen sind heute mehr denn je gefordert (Welpke 2008).

Zu der gestiegenen Lebensqualität und Erwartungshaltung der Patienten gehören eine sehr gute Sehschärfe für die Ferne und die beschwerdefreie Lesefähigkeit in der Nähe. In der heutigen Informationsgesellschaft mit den hohen Anforderungen an ein scharfes, kontrastreiches Sehen ist das Tragen einer Brille eher eine Beeinträchtigung. Andererseits wird das Sehen in die Ferne und Nähe ohne Brille von den Menschen besonders für die sportliche Freizeitgestaltung immer mehr gefordert. Die "Brillenunabhängigkeit" am besten sogar die „Brillenfreiheit“ sind heute zu einem Begriff geworden.

Die Verbesserung der visuellen Funktion nach einer Kataraktoperation wird mit einer besseren gesundheitsbezogenen Lebensqualität assoziiert, das bedeutet, dass der altersbedingte Rückgang der Gesundheit durch die Verbesserungen der visuellen Funktion vermindert werden kann (Mangione et al. 1994). Eine rechtzeitige Kataraktoperation ist wichtig für die Verbesserung der Sehschärfe, für die allgemeine körperliche Gesundheit, die Funktion und das emotionale Wohlbefinden (Morris et al. 2007). Körperliche Beschwerden sind oft mit einer Minderung der Sehschärfe im Zusammenhang gesehen. In einer Befragung von 406 Menschen in dem Alter von 60 bis 106 Jahren berichten 40% über einen Sturz in einem Jahr, 20 % zweimal und häufiger. Ein Zusammenhang zwischen Sehkraft und Stürzen wird als „erheblich“ eingestuft. 30% der Gestürzten gaben einen

sehassozierten Grund an und 13% nennen allein das schlechte Sehen als Ursache für den Sturz (Amelung et al. 2012).

Die Evaluierung der visuellen Lebensqualität ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung ophthalmologischer Erkrankungen und deren Therapie (Hirneiß et al. 2003).

Es stehen uns verschiedene Instrumente zur Messung der Lebensqualität zur Verfügung. Der bekannteste Fragebogen ist der Short Form 36 (SF 36) (Bullinger et al. 1995). In der Augenheilkunde wird die auf den Sehvorgang bezogene (visuelle) Lebensqualität gemessen (Gall und Franke 2008). Die praktische Bedeutung und klinische Anwendung von Methoden zur Messung der visuellen Lebensqualität wird ermöglicht durch Fragebögen wie Visual Function 14 (VF-14) oder der National Eye Institute Visual Functioning Questionnaire (NEI-VFQ). Diese werden am häufigsten bei den ophthalmologischen Erkrankungen wie Katarakt, altersbedingter Makuladegeneration oder Glaukom eingesetzt (Hirneiß et al. 2003). Entwickelt wurde VF-14 zur Erfassung der sehbezogenen Lebensqualität für Katarakt-Patienten von Steinberg (Steinberg et al. 1994). Er ist sehr einfach zu bearbeiten, dauert aber immer noch zu lang für die Klinik und Praxis im Alltag. Der Vorteil bei Verwendung der Rasch Version wie VF-8R für die Beurteilung und Erfassung der sehbezogenen Lebensqualität bei Katarakt-Patienten ist eindeutig. Der Rasch VF-8R erscheint ideal geeignet zur Messung der Ergebnisse der Katarakt-Chirurgie aufgrund seiner hohen Präzision und kurzen Testzeit gegenüber dem VF-14 (Gothwahl et al. 2010).

Die Zufriedenheit der Patienten mit ihrem funktionellen Sehvermögen korreliert nicht immer mit der erreichten Sehschärfe. In der Studie von Uusitalo (1999) beurteilen Patienten mit einem VF7 Fragebogen den Gewinn an Lebensqualität nach einer Kataraktoperation. Repräsentanten sind das Autofahren in der Nacht, das Lesen des Kleingedruckten, das gute Sehen am Fernseher, das Sehen von Stufen, Treppen und Bordsteinen, das Sehen im Verkehr, die Erkennung der Laden-/Preisschilder, das gute Sehen beim Kochen und bei feinen Handarbeiten.

## **1.4 Korrektur der Alterssichtigkeit**

Die klassische Lösung zur Korrektur der Presbyopie sind Hilfsmittel. Schon dieser technische Begriff im Gesundheitswesen weist auf die „Krücken“ hin. Lesebrille mit einem Nahzusatz im Sinne einer Bifokal- oder Gleitsichtbrille oder Kontaktlinsen mit multifokaler Optik sind diese Hilfsmittel. Die Ophthalmologen und die Industrie suchen seit Jahrzehnten nach individuellen Lösungen, um das Problem der Presbyopie besser zu lösen.

Bisher müssen immer noch Kompromisse eingegangen werden. Bei bestehender Anisometropie mit einem normalsichtigen Auge und einem kurzsichtigen Auge kann im Sinne von „Monovision“ ein Sehen ohne Brille möglich sein. Auch mit Kontaktlinsen kann mit einer Anpassung im Sinne von Monovision oder mit einer multifokalen Kontaktlinse ein ausreichend zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden.

## **1.5 Monovision**

Monovision ist eine der einfachen und unkomplizierten Korrekturen der Presbyopie. Es geht weder um die Wiederherstellung der Akkommodation noch wird als Prinzip die Pseudoakkommodation hinzugezogen. Bei dieser Methode wird das dominante Auge für die Ferne und das nicht dominante Auge für die Nähe korrigiert (Abb.3). Es erfolgt eine gezielte Anisometropie bei der die Bildeindrücke selektiv supprimiert werden.

Als Prinzip wurde Monovision zuerst 1958 von Westsmith zur Korrektur der Presbyopie mit Kontaktlinsen bekannt (Westsmith 1958, Evans 2007). Die pseudophake Monovision wird als Begriff von Börner und Trascher (1984) beschrieben. Die Monovision Methode wird in der refraktiven Laser Chirurgie zur Korrektur der Presbyopie angeboten, in der refraktiven Linsen-Chirurgie zum Ausgleich einer Fehlsichtigkeit durch die Entfernung der klaren Linse und Implantation einer IOL als refraktiver Linsenaustausch (RLA) bzw. refractive lens exchange (RLE), in der Kataraktchirurgie bei Patienten mit einer bilateralen Katarakt und Implantation einer monofokalen intraokularen Linse. Vor einem geplanten Eingriff für Monovision ist es sehr hilfreich, die Verträglichkeit des

Monovision-Effekts mit Brille und Kontaktlinsen zu simulieren, um dem Patienten den Effekt zu demonstrieren. Die Verträglichkeit und das räumliche Sehen sind von dem Refraktionsunterschied abhängig. Eine genaue präoperative Aufklärung und Individualisierung sind notwendig. Patienten mit vorbestehender Anisometropie haben kaum Probleme, die Verträglichkeit bei starker Myopie oder myopisierender Katarakt ist leichter und Hyperope machen eine ganz neue positive Erfahrung ohne Brille lesen zu können.

Nicht jeder Patient kann diese Art Adaptation akzeptieren oder kann sie vertragen. Die Motivation der Patienten zur Brillenunabhängigkeit aber auch das Patientenprofil sind wichtige Kriterien der Verträglichkeit.



Abbildung 3. Beispiel für Monovision, Quelle: [http://www.eyecairo.net/monofocal\\_iols/](http://www.eyecairo.net/monofocal_iols/) 2013/04

Bezüglich des Visus und der Brillenunabhängigkeit ist Monovision ein bewusster Kompromiss und kann eine Herausforderung sein. Diese Methode widerspricht der Philosophie der Augenheilkunde, die eine maximale beidäugige Sehqualität anstrebt und trotzdem kann die Erfolgsquote sehr hoch sein (Barett 2008), mit einer sehr guten Akzeptanz von 70 bis 76% (Jain 1996) und ohne signifikante Verschlechterung des Binokular-und Stereosehens (Johannsdottir 2001).

## 1.6 Moderne Katarakt- und Linsenchirurgie

Die Anforderungen auch an die Katarakt – Chirurgie sind in den letzten Jahren erheblich gestiegen. Sie berücksichtigen den Wunsch des Patienten, dann zumindest in einer Entfernung ohne Brille sehen zu können.

Die optische Biometrie zur Linsenberechnung ermöglicht eine Präzision von wenigen Mikrometern und gilt seit 2000 als Standardverfahren der präoperativen Biometrie. Die optische Biometrie z.B. mit dem IOL-Master (ZEISS 500) vereinigt die Messungen und Berechnungen der für die Kalkulation der zu implantierenden IOL notwendigen Daten. Verschiedene Messungen wie die Hornhaut-Radien, die Vorderkammertiefe und die Augenapfellänge werden erhoben. Diese Daten werden zusammen mit der Zielrefraktion in Formeln für die Kalkulation (Holladay 1993) eingesetzt. Die Anpassung dieses Ergebnisses an spezifische Daten der IOL liefern dann den Wert für die zu implantierende IOL. Durch die Aufarbeitung der Daten werden heute bei mehr als 90 % der Patienten mit Linsenimplantation Werte für die Zielrefraktion von nicht mehr als  $\pm 1,00$  dpt erzielt. Durch diese gute Vorhersagbarkeit der Zielrefraktion gelangt die Katarakt-Chirurgie allein mit der Versorgung einer intraokularen Standard-Linse (IOL) schon an die Qualität der refraktiven Chirurgie heran. Abweichungen der Zielrefraktion mit über 1 dpt von der errechneten Refraktion liegen unter 10%. Es gibt trotzdem einige unsichere Faktoren jeder optischen Biometrie:

- die postoperative Vorderkammertiefe, da die postoperative Lage der IOL präoperativ nur geschätzt werden kann, der größte Fehleranteil mit  $\approx 0,35$  dpt (Preußner 2007), (Hofmann 2010).
- eine z.B. durch Zonulaschwäche bedingte Dezentrierung der IOI bedeutet eine postoperative Refraktionsänderung
- die Bestimmung der Achsenlänge trotz präziser Interferometrie, ein Fehleranteil von  $\approx 0,2$  dpt (Preußner 2007)
- eventuelle IOL – Herstellungsfehler.

## 1.7 Refraktive Chirurgie

Die refraktive Chirurgie kann die Brechkraft am Auge verändern und Ametropien korrigieren. Durchgeführt wird sie an der Hornhaut oder an der Linse und ist ein sicheres, wirksames, zuverlässiges und komplikationsarmes Verfahren zur dauerhaften Korrektur der Ametropien des menschlichen Auges (Kohnen et al. 2008). Dies mit dem Ziel, nach der Operation möglichst ohne Brille scharf sehen zu können. Es bestehen verschiedene Möglichkeiten zur chirurgischen Korrektur der Refraktionsfehler des Auges:

### A. An / in der Hornhaut

- a. Korrektur der Fehlsichtigkeit, dann mit weiterer Nutzung der Akkommodation, bei entsprechendem Alter der Patienten
  - LRI - limbale Relaxions-Inzision gegen einen Astigmatismus
  - LASIK (Laser in situ Keratomileusis) zur Behandlung der Kurz-, Weit- und Stabsichtigkeit
- b. an der Hornhaut zur Presbyopiekorrektur

Vereinzelt wird hier auch das Prinzip der Monovision genutzt. Neu hinzugekommen sind die einseitig durchgeführten intrastromalen Inzisionen und die beidseits durchgeführte oberflächenmodulierende Presbyopie-LASIK.

- Presbylasik ist eine der ersten Korrekturen der Alterssichtigkeit mittels Excimer-Laser-Ablation und beruht auf dem Monovisionsverfahren.

- Presbyond ist eine neue Laserkorrekturmethode für presbyope Menschen. Es wird wie bei der herkömmlichen Monovision verfahren, aber mit einer leichten Unterkorrektur von -1,5 D für die Nähe. Die Optimierung erfolgt durch eine „Blend Zone“, die für jeden Patienten individuell berechnet ist.

- SupraCor ist eine zugelassene Lasermethode, die in der Lage ist Presbyopie und Hyperopie von +1,0 dpt bis +2,5 dpt zu korrigieren.

c. Konduktive Keratoplastik (CK) ermöglicht Hyperopiekorrekturen bis +1,5 dpt. CK hat leider nur einen vorübergehenden Effekt und wird deshalb heute so gut wie nicht mehr angewendet.

d. Implantate in die Hornhaut zur Korrektur der Presbyopie (KAMRA Implantat). Die Hornhautimplantate werden in die Hornhaut eingesetzt und können die Form

der Hornhaut verändern oder eine künstliche Pupille geschaffen, so dass die Presbyopie korrigiert wird.

#### B. An / mit der Linse

zur Korrektur der Fehlsichtigkeit oder der Linsentrübung mit Implantation von künstlichen intraokularen Linsen (IOL)

a. refraktiver Linsentausch (RLA) bei klarer Linse

b. Katarakt-Operation mit Standard-IOL

c. Katarakt-Operation mit Premium-IOL zur Korrektur der Presbyopie und des Astigmatismus

Der Ersatz der kristallinen Linse durch eine monofokale Standard-IOL bedarf der Brillenkorrektur, zumindest für die Nähe. Vor über 25 Jahren wurden erstmals multifokale IOL (M-IOL) eingesetzt. Allerdings wurden bis 2010 nicht mehr als 2 % der Katarakt-Patienten mit einer multifokalen IOL versorgt. Die durch das optisch refraktive oder diffraktive Prinzip bedingten Nebenwirkungen waren oft zu stark. Mit der Entwicklung der aktuellen 5. Generation der trifokalen Linsenoptik ist ein Durchbruch zu besseren Ergebnissen und geringeren Nebenwirkungen erzielt worden.

### **1.8 Multifokale Intraokularlinsen (M-IOL)**

Multifokale IOL werden zumeist nach dem refraktiven oder diffraktiven optischen Prinzip konstruiert (Auffahrt et al. 2008) (Abb.4). Dabei werden simultan die Bilder der Ferne und Nähe auf der Netzhaut abgebildet. Im zentralen Strahlengang wird ein Anteil des Lichtes für die Darstellung des Bildes aus der Ferne und der andere Anteil des Lichtes für die Darstellung des Bildes aus der Nähe genutzt.

Diese Aufteilung der Lichtmenge auf zwei Foci bedeutet für jeden einzelnen Strahlengang eine geringere Lichtausbeute und somit eine Kontrastminderung. Andererseits wird durch diese Optik ein höherer Tiefenschärfenbereich im Sinne der Pseudoakkommodation für ein Sehen in die Ferne und Nähe ohne Hilfsmittel genutzt. Dies geht allerdings zu Lasten einer sehr scharfen Abbildung.

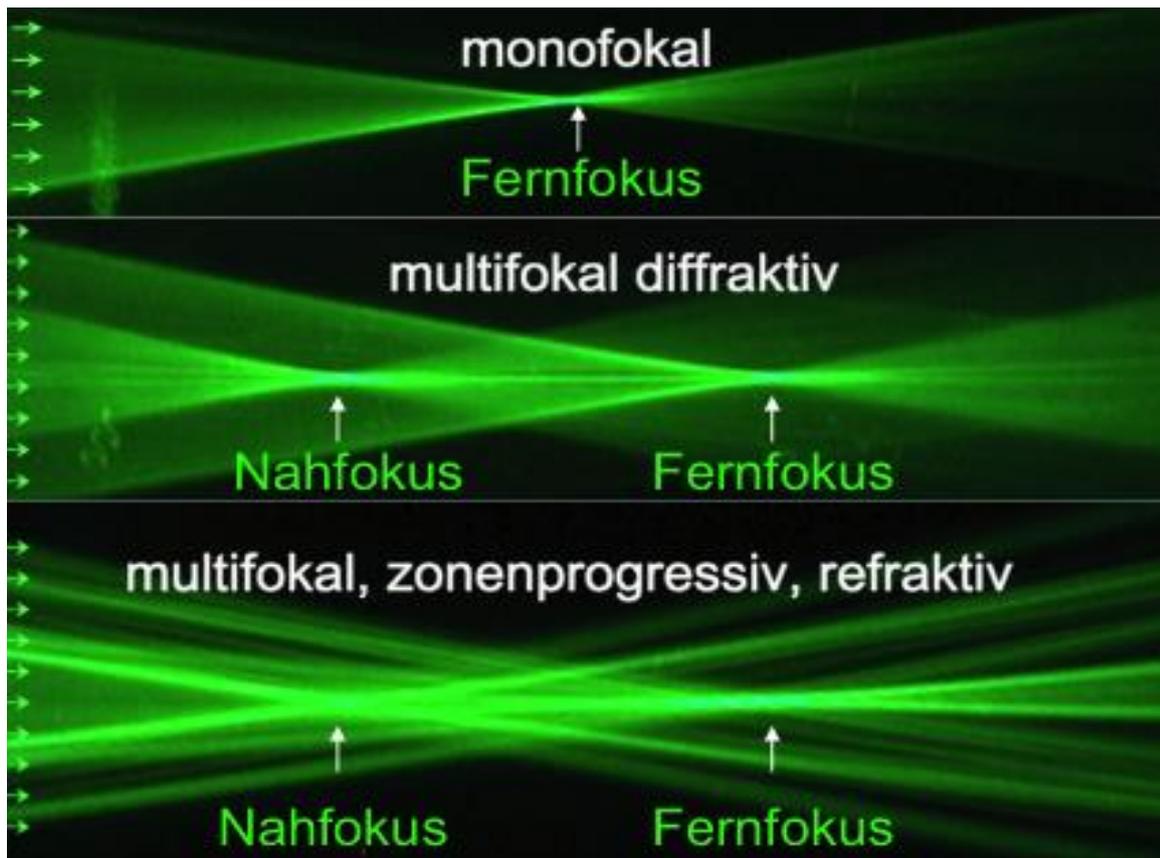


Abbildung 4. Optische Prinzipien von IOL, Strahlengänge mit Fokuspunkten und Fokusbereichen dargestellt, Quelle: Produktinformation zur monofokalen IOL Z9000 und zur multifokalen IOL ZM900, ABBOTT/2013/09

Die refraktiven Optik-Systeme nutzen an der Oberfläche sanft ineinander übergehende konzentrische Ringzonen mit unterschiedlichen Krümmungen für unterschiedliche Beugungen. Das führt dazu, dass das einfallende Licht in unterschiedlichen Brennpunkten aufgeteilt und fokussiert wird. In diesen Bereichen der Ferne, der mittleren Entfernung (50 cm) und der Nähe (33-40 cm) kann scharf gesehen werden (Abb.5).

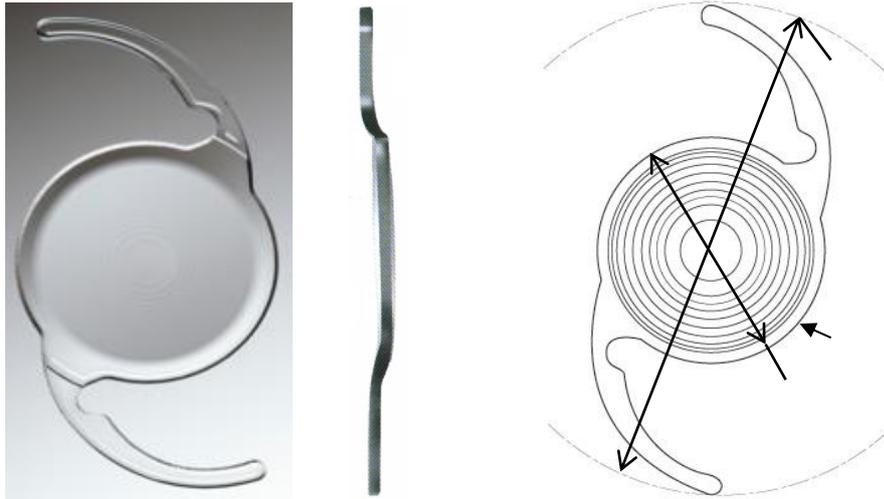


Abbildung 5. MIOL, Quelle: <http://www.amo-inc.com/products/cataract/refractive-iols/tecnis-multifocal-iol/2013/09>

Bei den diffraktiven IOL werden, basierend auf dem Huygens-Fresnel-Prinzip, ringförmige, scharfkantige Stufen mit unterschiedlichen Höhen angeordnet. Zwei verschiedene Fokuspunkte werden generiert.

Für beide optische Systeme gilt, es tritt ein Kontrast- und Helligkeitsverlust wegen der Aufteilung des Lichtes in die unterschiedlichen Fokuspunkte auf. Bei der diffraktiven Optik gehen ca. 10 % des Lichtes zusätzlich wegen der Diffraction höherer Order verloren (Auffarth und Apple 2001, Auffarth und Dick 2001, Hunold et al. 1993).

Prinzipiell nutzen diese mehrfokalen IOL das Prinzip der simultanen Abbildung durch eine Pseudoakkommodation. Nebenwirkungen wie Licht- und Kontrastverlust, Dysphotopsien wie Glare und Halo und teilweise eine unzureichende Zielrefraktion standen bisher einer weiten Verbreitung dieser Methode entgegen.

### 1.9 Trifokale Intraokularlinsen (Tri-IOL)

Eine neue Stufe der Fortentwicklung von IOL ist mit den trifokalen IOL erreicht worden. Seit Ende 2012 sind mehrfokale IOL mit diesem neuen Optik-Design verfügbar. Hier spricht man von trifokalen IOL (Abb 6).

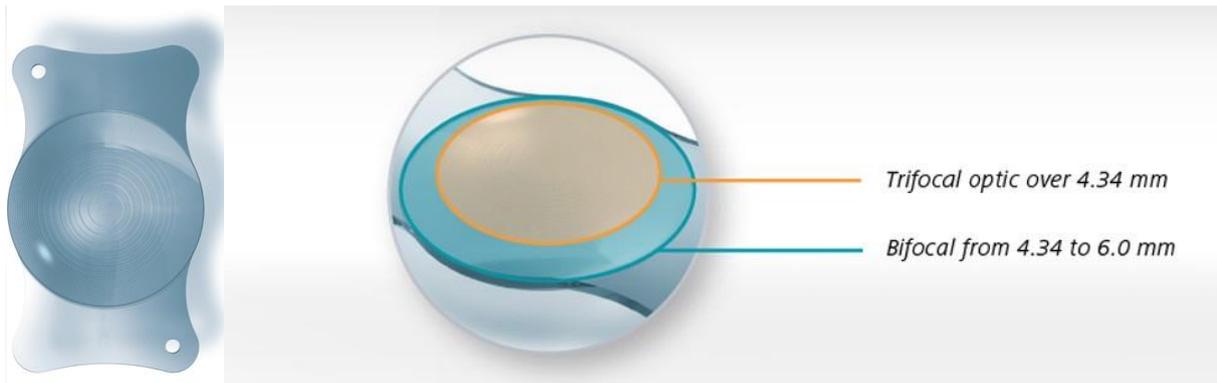


Abbildung 6. Trifokale IOL AT LISA® tri, Quelle:

[http://www.zeiss.de/meditec/de\\_de/produkte-loesungen/ophthalmologie/2013/09](http://www.zeiss.de/meditec/de_de/produkte-loesungen/ophthalmologie/2013/09)

Das optische Prinzip ist ebenfalls die Diffraktion. Dabei hat man 3 wesentliche Änderungen vorgenommen:

- es sind 2 diffraktive Optiken zusammengeführt, unterschiedliche Abstände und Höhen zwischen den Zonen bewirken einen zusätzlichen 3. Fokusbereich,
- die diffraktiven Zonen sind von bisher 29 (= 3,75 dpt für die Addition) auf 21 (= 3,33 dpt Addition) reduziert worden,
- die trifokale Zone ist auf 4,34 mm begrenzt danach ist eine bifokale Zone angeordnet, optimiert für die Ferne bei weiter Pupille.

Diese neue Optik soll zwei Kritikpunkte der M-IOL reduzieren:

- mehr Licht für den intermediären Bereich, z.B. am Computer,
- weniger störende Dysphotopsien.

Wegen der Aktualität und wegen des Wettstreites der beiden Methoden für die Presbyopie-Korrektur, der Monovision und der mehrfokalen-IOL, wurden erste eigene Ergebnisse der neuen trifokalen-IOL in diese Arbeit mit aufgenommen.

## 2. Fragestellungen dieser Arbeit

Das Anliegen dieser Arbeit ist es, herauszufinden inwieweit Patienten nach einer bilateralen Implantation monofokaler intraokularer Standard-Linsen für Monovision zufrieden sind. Es werden Augen in Bezug auf Fern- und Nahvisus, Stereosehen und Pupillengröße untersucht.

- Bewertung der refraktiven Ergebnisse, der Sehschärfe und der Patientenzufriedenheit bei Monovision.
- Wie bewährt sich die Zielrefraktionsvorstellung von -1,5 bis -2,0 dpt bei der Monovision im Alltag?
- Die Auswertung des Brillentrageverhaltens und der Brillenunabhängigkeit bei der Monovision.
- Wie wird das Stereosehen beeinflusst?
- Welche Auswirkung hat die Pupillenweite auf den Nahvisus?
- Bewertung der refraktiven Ergebnisse, Sehschärfe und Patientenzufriedenheit bei den neuen Trifokalen IOL.

Die subjektive optische Qualität, das Brillentrageverhalten und die Patientenzufriedenheit werden durch die Evaluation eines Fragebogens erfasst und ausgewertet.

Es soll zusammenhängend beurteilt werden, ob das Prinzip der Monovision als altbewährtes und kostengünstiges Verfahren weiterhin ein Lösungsansatz in der modernen refraktiven und Katarakt Chirurgie bleibt.

Um das in Anbetracht neuer trifokaler intraokularer Linsen noch besser bewerten zu können, wurden Daten von Patienten mit der Implantation dieser Linsen nachträglich mit ausgewertet und verglichen. Hier lag der Schwerpunkt auf der Bewertung der refraktiven Ergebnisse, der Sehschärfe und der Patientenzufriedenheit. Dies besonders in Bezug der für diese IOL typischen Nebenwirkungen.

### 3. Allgemeine Grundlagen zum Sehen in die Ferne und Nähe

Primär ermöglicht die Akkommodation, in der Nähe ohne Brille scharf zu sehen. Neben der Brechkraft ändernden Wirkung der Linse können sekundäre Effekte ebenfalls zum beidäugigen scharfen Sehen in der Nähe beitragen. Die Grundlagen dazu sollen im Folgenden beschrieben und bewertet werden.

#### 3.1 Augenlinse

Die kristalline Linse ist ein Teil des optischen Systems Auge. Die Linse ist hinter der Pupille in der Hinterkammer zirkulär über die Zonulafasern aufgehängt. Diese ziehen radiär vom Linsenäquator zum Ziliarmuskel. Die Linse ist ohne Gefäße und Nerven und gliedert sich in vier Teile: den Linsen Kern (N), den Epinukleus (E), die Linsenrinde (C) und die Linsenkapsel (A) (Boyd 2011) (Abb. 7). Sie hat einen maximalen Durchmesser am Äquator von ca. 10 mm, eine Dicke von 3,5 mm und ist bikonvex, wobei die Rückseite stärker gekrümmt ist und am Äquator an den Zonula Zinnii aufgehängt ist. Die Brechkraft beträgt bei Fernakkommodation ca. 19 dpt (Sachsenweger 1994).

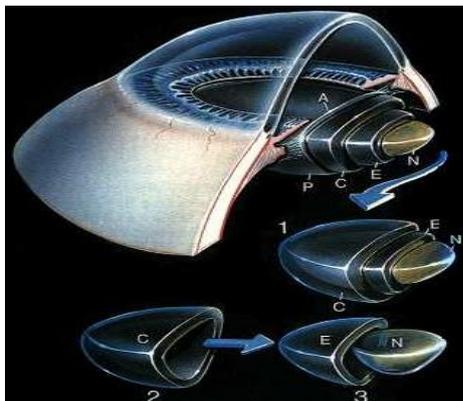


Abbildung 7. Three Dimensionality of the lens, Quelle: Modern Ophthalmology: The Highlights, B. Boyd 2011

Die Augenlinse hat im Wesentlichen 4 verschiedene Funktionen:

- **Fokussierung**

Die optische Funktion der Linse im Zusammenhang mit der Achslänge und Brechkraft der Hornhaut ermöglicht eine scharfe Abbildung der fokussierten Objekte auf der Netzhaut.

Normalsichtigkeit: hier erfolgt die Fokussierung in der Makula, es kann ohne Brille in die Weite scharf gesehen werden

Kurzsichtigkeit: hier erfolgt die Fokussierung vor der Makula, es sind die Brechkräfte der Hornhaut und Linse im Verhältnis zu Augenapfelflänge zu stark.

Weitsichtigkeit: hier erfolgt die Fokussierung hinter der Makula, es sind die Brechkräfte der Hornhaut und Linse im Verhältnis zur Augenapfelflänge zu schwach.

- **Transmission**

Durch ihre Transparenz dient sie für eine klare, kontrastreiche und farbgetreue Bildgebung

- **Absorption**

Bestimmte Wellenlängen besonders im ultravioletten Bereich werden absorbiert. Dies dient als Schutzfunktion für die Netzhaut.

- **Akkommodation**

Die Veränderung der Linse bei der Akkommodation erlaubt ein Scharfstellen bei Fixation von Objekten in unterschiedlichen Entfernungen.

### 3.2 Akkommodation

Akkommodation (lat. accomodare = anpassen, adaptieren) ist die Fähigkeit der Linse, ihre Brechkraft so zu verändern, dass Sehobjekte zwischen Nah- und Fernpunkt des Auges auf der Netzhaut scharf abgebildet werden können (Sachsenweger 1994). Diese Brechkraftänderung ist Resultat der Kontraktion oder Entspannung des Ziliarmuskels. Die dadurch entstehende Erschlaffung oder Anspannung der Zonulafasern bewirkt Änderungen der Krümmung der hinteren Linsenkapsel.

Konvergenzstellung beider Augen und die Naheinstellungsmiosis steigern die Tiefenschärfe und begleiten die Akkommodation. Alle drei Reaktionen werden von

präokzipital gelegene Rindenzentren gesteuert, von dort aus verlaufen die Akkommodationsimpulse zum Okulomotoriuskerngebiet (Sachsenweger 1994). Der Tonus der Akkommodation wird von den parasymphatischen Fasern des N. oculomotorius eingestellt (Reim 1996). Die Ruhelage der Akkommodation liegt nicht immer bei vollständiger Emmetropie, sondern oft bei 1-2 dpt, das ist eine Einstellung auf 0,5-1,0 m vor dem Auge. Die Akkommodationsbreite wird durch den Nah- und Fernpunkt festgelegt und in Dioptrien (dpt) gemessen.

Eine der ersten modernen Theorien zum Mechanismus der Akkommodation, die 1909 veröffentlicht wurde entstammt von Hermann von Helmholtz. Diese bis heute favorisierte Theorie ist größtenteils akzeptiert und im Wesentlichen experimentell bestätigt (Baumeister und Kohnen 2008). Bei der Akkommodation wird durch eine Anspannung des Ziliarmuskels die Linsenwölbung verändert, die Linse wird dicker, die Spannung der vorderen Zonulafasern wird vermindert, es erfolgt eine Fokussierung auf unterschiedliche Entfernungen. Die Desakkommodation wird durch die Entspannung des Ziliarmuskels begleitet. Die Spannung der vorderen Zonulafasern wird erhöht und die Linsenwölbung wird flacher (von Helmholtz 1855). Die späteren Akkommodationstheorien gehen davon aus, dass das Erschlaffen der Zonulafasern von der Kontraktion des Ziliarmuskels abhängt. Das bewirkt eine Kontraktion der elastischen Fasern der Linsenkapsel und eine Abnahme des äquatorialen Durchmessers, es erfolgt eine Veränderung der Radien der vorderen und hinteren Linsenkrümmung und einer Zunahme der axialen Linsendicke, außerdem nimmt der Abstand zwischen Linsenäquator und Sklera zu (Dick et al. 1999).

Die Hypothese von Schachar geht davon aus, dass der Ziliarmuskel die Spannung der äquatorialen Zonulafasern während der Nahakkommodation erhöht, was zu einer Zunahme des äquatorialen Linsendurchmesser und zu einer Vorverlagerung der Augenlinse führt (Schachar 2006).

Laut Schachar wird die Linse mit zunehmendem Alter dicker und größer, so lässt der Zug des Ziliarmuskels über die Zonulafasern nach. Spannt man nun operativ mit Implantaten in die Sklera diesen Zug wieder an, soll die Akkommodation wieder unterstützt werden. Diese Theorie gilt nach den Arbeiten von Glasser und Kaufmann (1999) und Holzer (2006), die Prinzipien der Akkommodation an Primaten untersucht haben als widerlegt.

Trotzdem basiert auf der Theorie von Schacher eines der wenigen derzeit angebotenen operativen Verfahren zur Wiederherstellung der Akkommodationsfähigkeit. Da die Wirkung schnell wieder nachlässt und nicht sicher ist wieviel Wirkung über eine Pseudoakkommodation resultiert, hat sich diese Methode bisher nicht durchgesetzt.

Die experimentellen Studien der letzten Jahre haben das Wissen über den Akkommodationsapparat erweitert und die Bedeutung der multifaktoriellen Ätiologie der Presbyopie nahegelegt (Baumeister und Kohlen 2008).

### 3.3 Presbyopie

Die Presbyopie ist keine Krankheit, sondern ein normaler altersbedingter Funktionsverlust. Die Abnahme der Akkommodation mit dem Alter ist ein kontinuierlicher Prozess der Brechkraftänderung des Auges. Sie nimmt im Laufe des Lebens ab und ist um das 60. Lebensjahr nicht mehr vorhanden. Der Verlust der akkommodativen Wirkung der Linse (ca.14 dpt) beginnt bereits im Jugendalter. Ab dem 45. Lebensjahr wird ein akkommodativer Wert von 2,50 dpt unterschritten. (Duane 1922) (Abb. 8). Somit reicht dann die Akkommodation nicht mehr für ein Lesen in einem Abstand von 35 cm aus.

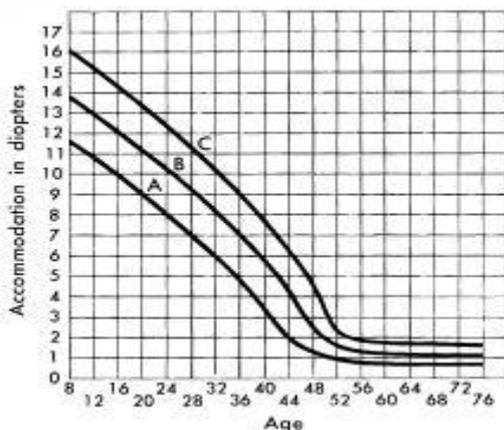


Abbildung 8. Akkommodationskurve nach Duane A. Quelle: Studies in monocular and binocular accommodation with their clinical applications 1922

Die Theorie von Weale beschreibt die Entstehung der Presbyopie als ein komplexes Geschehen mit Verlust der Linsenelastizität (Weale 1999). Es werden

individuelle Unterschiede wie die Rasse, die Refraktion, das allgemeine körperliche Befinden, physikalische Expositionen, geographische und diätetische Faktoren berücksichtigt (Glasser und Kaufman 1999).

Die Presbyopie beruht auf Änderungen durch Alterung von Linsenstrukturen. Dazu tragen ein ständiges Wachsen der Linsendimensionen, wie Sklerosierung der Linsenfasern, Vergrößerung des Linsendurchmessers, Vergrößerung der Linsendicke und ein Verlust an Elastizität bei. Die menschliche Linse wächst das ganze Leben (Glasser und Campbell 1999).

Durch die steigende Lebenserwartung benötigen die Menschen unabhängig von dem bestehenden Refraktionsfehler die Hälfte ihres Lebens eine Brille.

### **3.4 Pseudoakkommodation**

Unter Pseudoakkommodation verstehen wir die Fähigkeit, Gegenstände in der Nähe ohne aktive Brechkraftänderung des Auges scharf erkennen zu können. Dieser Terminus wurde besonders mit der Einführung der multifokalen IOL genutzt (Dick et al. 1999). Die Pseudoakkommodation, nutzt eine gewisse optische Veränderung des Fokus über einen bestimmten Tiefenbereich. Es entsteht keine Veränderung der Brechkraft, sondern Verstärkung der Tiefenschärfe und dadurch Verbesserung des Nahsehens. Das Phänomen Pseudoakkommodation hängt von der Pupillenweite, dem Astigmatismus, der sphärischen Aberration (Preussner 2001) und der retinalen Bildverarbeitung ab. Die Pseudoakkommodation kann am Phoropter durch Refraktionierung des Patienten zur besten Fernkorrektur und anschließend durch Addition von Plus- und Minus-Gläsern gemessen werden, bis der Visus auf 0,5 abfällt. Dies wird als Defokussierungskurve genannt und liegt bei einer üblichen monofokalen IOL bei 2,0 bis 3,0 Dioptrien, d.h. in Abhängigkeit der Pupillenweite jeweils 1,0 bis 1,5 Dioptrien im Plus- und Minusbereich.

### **3.4.1 Enge Pupille**

Bei einer sehr engen Pupille ( $\leq 2$  mm) wird die Lichteinstrahlung reduziert und viel Randstrahlung ausgeblendet. Das führt bei hellem Licht zur Steigerung des Kontrastes, sodass bei Normalsichtigkeit in die Ferne und auch in der Nähe ausreichend scharf gesehen wird. Diese Methode der Pseudoakkommodation wird genutzt bei kornealen Inlays (Kamra-Inlay) für die Korrektur der anfänglichen Presbyopie von bis zu 1,50 dpt. Wenn auch durch die Starrheit der getrübten Linse oder der intraokularen Linse keine Änderung des Krümmungsradius für eine Akkommodation beiträgt, können die anderen Reaktionen mit der Naheinstellung ablaufen: z.B. eine signifikante Abnahme der Pupillenänderungsamplitude bei Akkommodation und eine Abnahme der Reaktionsdauer der Pupillenverengung auf einen Lichtreiz hin (Strobel et al. 2007).

Zusätzlich zu diesen Naheinstellungsreaktionen können optische Funktionen eines Hornhaut-Astigmatismus und die verschiedenen Brechkräfte einer multifokalen IOL im Sinne der Pseudoakkommodation ein Lesen in der Nähe unterstützen.

### **3.4.2 Einfacher myoper Astigmatismus**

Ein niedriger myoper Astigmatismus bei  $90^\circ$  wird als Astigmatismus „gegen die Regel“ (gdR) bezeichnet. Durch die Vergrößerung und Entzerrung in der senkrechten Achse wird eine Verbesserung der unkorrigierten Nahsehstärke bewirkt (Kampik und Grehn 2005, Trindale et al. 1997). Besteht ein myoper Astigmatismus gdR von zum Beispiel von ca.  $-1,50 / 90^\circ$  kann mit dieser Ausgangslage oft auch in der Nähe ausreichend scharf gelesen werden. Dann wird diese Hauptachse des Astigmatismus für das Sehen in der Nähe genutzt. Huber (1981) beschreibt dieses Prinzip bei Augen mit einem leichten einfachen Astigmatismus myopicus, die für die Nähe und für die Ferne ohne Akkommodation eine Sehstärke von über 0,5 erreichen. Der Effekt beruht auf der Nutzung des Sturm-Konoid mit der Abbildung der geringsten Streuung bei dem die Punkte eines Bildes auf 2 Brennpunkten abgebildet werden (Abb.9).

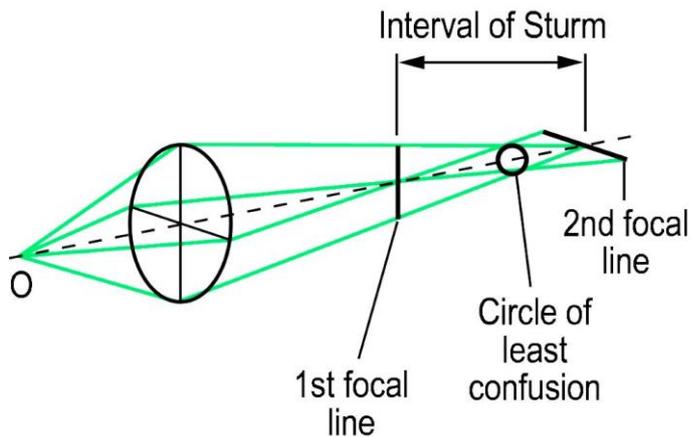


Abbildung 9. Sturm'sches Konoid, Quelle: Concise Dictionary of Modern Medicine, McGraw-Hill 2002

Nach einer Kataraktoperation mit Implantation einer IOL ist ein niedriger myoper Astigmatismus „gegen die Regel“ besser als ein myoper Astigmatismus mit der Regel, weil er einen besseren unkorrigierten Nahvisus ermöglicht ohne den Fernvisus zu stark zu reduzieren (Sawusch und Guyton 1991). Ältere Menschen entwickeln überwiegend einen Astigmatismus gdR und eine Abnahme des Astigmatismus mdR. Die beste Pseudoakkommodation nach Bradbury et al. (1992) besteht bei der Kombination einer geringen hyperopen Sphäre und einem myopen Astigmatismus gdR z.B.  $+0,5 \pm 1,5/90^\circ$  mit einer resultierenden sphärischen Äquivalenz von  $\pm 0$  dpt.

### 3.5 Normales binokulares Einfachsehen

#### 3.5.1 Fusion

Der normale beidäugige Sehvorgang erlaubt eine subjektive Bildverschmelzung der Seheindrücke der korrespondierenden Netzhautstellen des rechten und linken Auges. Der Horopterkreis entspricht den korrespondierenden Netzhautpunkten. Die korrespondierenden Netzhautpunkte, oder Netzhautareale Areale mit Längs- und Querdisparation liegen in dem „Panumareal“. Diesen Vorgang bezeichnet man als binokulare Fusion. Die sensorische Fusion der monokularen Bilder funktioniert nur wenn die abbildungsgleichen Netzhautorte gleichen Raumwert und gleiche Eigenschaften der Bildverarbeitung besitzen. Beide Bedingungen sind beim

normalen Sehvorgang für die Horopterebene erfüllt (Herzau 1998). Ein binokulares Einfachsehen außerhalb des Horopters ist nur durch binokulare Hemmungsvorgänge möglich.

### 3.5.2 Binokulare Rivalität

Wenn beiden Augen unterschiedliche visuelle Reize dargeboten werden tritt ein Wettstreit, ein Wahrnehmungswechsel der beiden Sehempfindungen auf. Dieser Wechsel wird im Allgemeinen als binokulare Rivalität bezeichnet. Das Bild dem die Aufmerksamkeit zugewandt wird dominiert, während das andere unterdrückt, supprimiert wird (Lang 1976). Eine gleichzeitige Wahrnehmung beider Reize findet nicht statt (Abb.10).

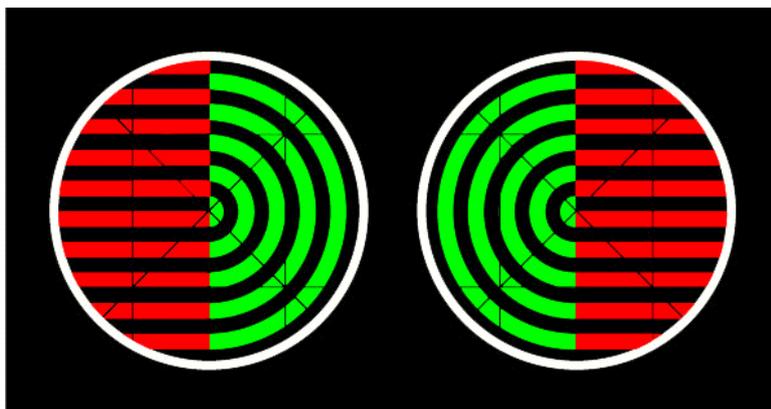


Abbildung 10. Beispiel für binokulare Rivalität, Quelle: On binocular alternation, Alais et al. 2000

Das Sehorgan verfügt über zwei ständig wirksame Hemmungsmechanismen. Durch die Nichtbeachtung vom Bewußtem mit Hilfe des binokularen Wettstreits und durch die Unterdrückung störender oder nicht interessanter Bildanteile eines Auges bleibt die physiologische Diplopie in der Regel unbemerkt (Herzau 1998).

Die Informationen von beiden Augen erreichen dieselben kortikalen Zellen und werden subjektiv im selben Ort lokalisiert. Der Kortex ist aber nicht in der Lage zwei Bilder mit interokular unterschiedlichen Konturen, Farben und Leuchtdichten zusammensetzen und es tritt das Phänomen des binokularen Wettstreits auf. Bei ausreichender Differenz werden wechselseitig Anteile des rechts- und linksäugigen Bildes intermittierend supprimiert (Herzau 1998). Manchen Personen gelingt es

einen der rivalisierenden Seheindrücke vollständig zu supprimieren. Das ermöglicht eine gute Akzeptanz bei der Monovision Methode (Collins und Goode 1994).

### **3.5.3 Stereosehen und Tiefenwahrnehmung**

Das Stereosehen besteht darin, mit Hilfe der optischen Wahrnehmungen beider Augen die in der Umgebung sichtbaren Gegenstände in ihrer räumlichen Beziehung zueinander richtig zu erkennen. Diese Fähigkeit schließt auch die richtige Erfassung plastischer Formen ein (Reim 1996). Die Stereopsis oder das Tiefensehen ist die höchste Vollendungsstufe des binokularen Einfachsehens. Eine gute Sehschärfe, Fusion und normale Netzhautkorrespondenz sind Voraussetzung dafür. Ein grobes Tiefenempfinden ist auch monokular durch Perspektive, Schattenwirkung, Abstand der verschiedenen Objekte zueinander oder paralaktische Verschiebung möglich (Lang 1976). Die Fähigkeit des visuellen Systems zur Tiefenerkennung kann mit Random- Dot -Stereo Testen (z.B. Lang Test) geprüft werden. Ein positives Ergebnis spricht dafür, dass die Mehrzahl der kortikalen Module hinsichtlich der Stereo-Erkennung funktionsfähig sind (Lachenmayer et al. 2006). Der Titmus Test ist kein Random – Dot – Test und kann die Frage der kortikalen Module nicht so gut wie der Lang Test oder TNO beantworten. Eine Korrelation zwischen Sehschärfe und Stereosehen ist umstritten. Es ist von der Strabologie her bekannt, dass sogar bei einer Visusminderung auf 0,3 oder 0,1 die Stereowahrnehmung nur mäßig, bei einzelnen Versuchspersonen überhaupt nicht vermindert wurde (Roggenkämper 1983).

### **3.5.4 Augendominanz (okulare Dominanz)**

Inwiefern die okulare Dominanz bei dem binokularen Wettstreitphänomen oder bei der Fusion eine Rolle spielt, ist derzeit ungeklärt. Möglicherweise spielt die Dominanz einer Hirnhemisphäre die entscheidende Rolle für die Augendominanz. Beeinträchtigungen der Sehkraft des dominanten Auges werden deutlicher wahrgenommen als Beeinträchtigungen des untergeordneten Auges. Anatomische und elektrophysiologische Untersuchungen ordnen Area 17 in der Hirnrinde eine besondere Rolle ein. Nervenzellen in der Hirnrinde, die säulenartig von der

Oberfläche in die Tiefe angeordnet sind reagieren überwiegend auf Reize eines Auges (Reim 1996). Die Augendominanzsäulen entstehen im visuellen Cortex (primäre Sehrinde) binokular sehender Säugetiere, in denen die Zellen vorwiegend Informationen von nur einem der beiden Augen verarbeiten. Scharf getrennt tritt Augendominanz in der 4. Schicht des visuellen Cortex auf, in der die monokular getrennten Eingänge aus den verschiedenen Schichten des Corpus geniculatum laterale eintreffen. Aus Schicht 4c heraus werden Kontakte zu Zellen benachbarter Säulen gebildet. Dies führt dazu, dass die meisten Zellen und Schichten, die oberhalb oder unterhalb der Schicht 4c liegen, Informationen aus beiden Augen erhalten (Hubel und Wiesel 1959) (Abb.11), (Pritzel et al. 2009). Normalerweise dominiert auch hier weiterhin jeweils eines der beiden Augen. Diese säulenförmigen Verbunde von Neuronen schließen sich an ein Axon des rechten oder linken Auges an und erstrecken sich über mehrere Neuronenschichten.

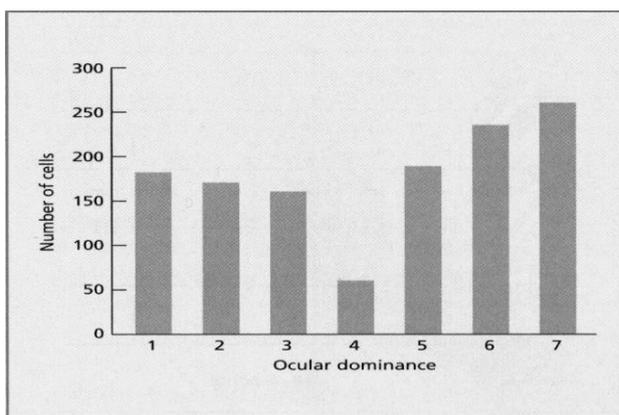


Abbildung 11. 7-stufige Skala zur Bewertung der okularen Dominanz, Quelle: Hubel & Wiesel 1959

Dies beeinflusst die Behandlungsmethoden der Kataraktchirurgie und der refraktiven Chirurgie sowie die Anpassung von Kontaktlinsen. Die Monovision funktioniert, weil das visuelle System in der Lage ist das unscharfe Bild eines Auges zu supprimieren. Allgemein funktioniert die Suppression des nichtdominanten Auges besser als die Suppression des dominanten Auges. Trotzdem ist die Bestimmung des Führungsauges noch keine Voraussetzung für den Erfolg der Monovision. Schor und Erickson (1987) stellen in ihrer Studie 1988 fest, dass eine eher schwache Dominanz des Führungsauges für die Monovision ein Vorteil sein könnte.

## **4. Patienten und Methoden**

### **4.1 Patientenkollektiv**

In dieser nicht randomisierten, retrospektiven Fall-Kontroll-Studie wurden Patienten aufgenommen die routinemäßig zur Kataraktoperation oder für einen refraktiven Linsenaustausch (RLA) vorgesehen waren.

- Monovision-Gruppe:

Die Krankenakten der vorgesehenen Patienten wurden mit Stichwort „Monovision“ gekennzeichnet. Alle Patienten wurden in der Zeit zwischen 2004 und 2010 operiert.

52 Patienten konnten eingeschlossen und im Rahmen der Kontrollstudie untersucht und befragt werden. Bei 11 von diesen Patienten wurde ein refraktiver Linsenaustausch (RLA) vorgenommen. Das dominante Auge wurde für die Ferne auf 0 bis -0,25 dpt korrigiert und das nicht dominante Auge auf  $\pm 0,5$  bis -2,5 dpt für die Nähe. Die Daten der Krankenakten wurden in eine Excel Tabelle übernommen und verschlüsselt. Die subjektiven Fragen wurden mit Hilfe eines Fragebogens erhoben.

- Trifokal - IOL Gruppe:

Insgesamt wurden 17 Patienten operiert und untersucht. 13 Patienten wurden routinemäßig am Grauen Star operiert. Bei 4 Patienten wurde ein refraktiver Linsenaustausch (RLA) vorgenommen.

Die Daten der Krankenakten wurden in eine Excel Tabelle übernommen und verschlüsselt. Mit einem modifizierten Fragebogen wurden die subjektiven Fragen erhoben.

#### **4.1.1 Einschlusskriterien**

Voraussetzung für die Aufnahme in diese Untersuchung waren für die Patienten in der Katarakt Gruppe eine beidseitige Katarakt. Für die Patienten der refraktiven Gruppe war der Wunsch nach Brillenunabhängigkeit Voraussetzung.

Für die Gruppe der trifokalen IOL - der Wunsch nach Brillenunabhängigkeit auch im intermediären Bereich. Für alle Patienten wurde die Verfügbarkeit für eine

Nachuntersuchung sowie das Einverständnis der Patienten zur Operation vorausgesetzt.

#### **4.1.2 Ausschlusskriterien**

Als Ausschlusskriterien galten Hornhautnarben, irregulärer Hornhautastigmatismus, Hornhautastigmatismus mehr als 1,5 Dioptrien, Amblyopie, Strabismus, Optikusatrophie und Makuladegeneration. Patienten, die eine Kontaktlinsen Simulation nicht toleriert haben und Patienten, die nach einem ausführlichen Aufklärungsgespräch von dem Monovision Konzept nicht überzeugt waren, sind in die Studie nicht aufgenommen worden.

#### **4.2 Operations-Technik**

Die Operation wurde routinemäßig von einem Operateur in Lokalanästhesie durchgeführt. Nahtlose Kleinschnitttechnik mit Inzisionsweiten von 2.7mm und ein posteriorer limbalen Zugang wurde eingesetzt. Die Entfernung der kristallinen Linse erfolgte mit Phakoemulsifikation.

Es wurden monofokale IOL (AR40 3-Stück hydrophobes Acrylat) mit einem gesamten Durchmesser von 12,50 mm und einem Durchmesser der Optik von 6 mm mit scharfer Kante implantiert. Mit einem Injektor wurden die gefalteten Linsen durch einen Zugang von 2,7 mm und durch eine vorher angelegte zentrale Eröffnung des anterioren Kapselsackes (Kapsulorhexis) von temporal direkt in den Kapselsack implantiert. Bei allen Patienten der Gruppe Trifokale IOL wurde eine trifokale IOL AT LISA® tri bilateral implantiert. Die postoperative medikamentöse Therapie erfolgte durch nichtsteroidale Lokalthherapie.

#### **4.3 Untersuchungsmethoden**

##### **4.3.1 Voruntersuchung**

Nach Beurteilung der Ein- und Ausschlusskriterien erfolgt die Voruntersuchung, die folgende Untersuchungsschritte beinhaltet:

#### **4.3.1.1 Refraktion**

Die Refraktion der Augen, wird zunächst am Autorefraktometer objektiv bestimmt. Die subjektive Refraktion wird mit einer Probierbrille bzw. am Phoropter ermittelt. Die Bestimmung der Sehschärfe in der Ferne mit Korrektur (Visus cc) erfolgte unter photopischen Bedingungen. Die Untersuchung erfolgte gemäß den empfohlenen Kriterien zur Sehschärfebestimmung (ISO 8596/97 bzw. DIN 58220, Teil 3) von der DOG und BVA (Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr 2011). Die Bestimmung des Nahvisus erfolgte in einer Entfernung von 0,3 Meter mit Niedrigen Nahlesetafeln.

#### **4.3.1.2 Biometrie**

Bei allen Patienten wurde die optische Biometrie mit dem IOL Master Zeiss (Modell 500) durchgeführt. Für die Festlegung der Zielrefraktion wurde die Holladay 1 Formel benutzt. Die Zielrefraktion wurde nach Absprache mit dem Patienten durch den Operateur festgelegt.

#### **4.3.1.3 Bestimmung der Ferndominanz**

Eine Bestimmung des dominanten Auges wurde durchgeführt. Es gibt mehrere Tests zur Bestimmung der Ferndominanz, wir haben uns für den Handfixationstest entschieden, in der Praxis als Schnelltest zur Messung des Führungsauge bekannt. Die Testperson richtet ihre Hände so, dass sich ein Loch zwischen den Daumen und Zeigefingern bildet. Durch dieses Loch wird ein Objekt fixiert. Wenn das fixierte Objekt im Blickfeld des rechten Auges bei geschlossenem linken Auge bleibt, ist das rechte Auge das dominante Auge. Falls das Objekt nicht mehr zu sehen ist, ist das linke Auge dominant. Der gleiche Test wird auf der kontralateralen Seite gemacht.

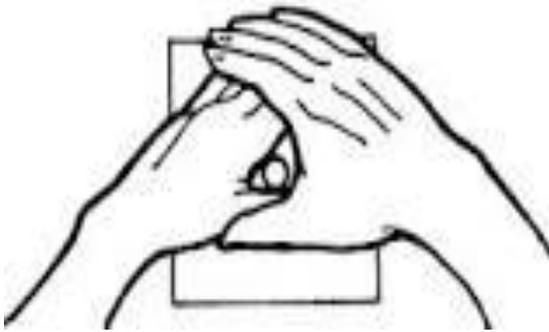


Abbildung 12. Handfixations Test, Quelle: <http://www.pharmama.ch/2011/07>

Ein „Vernebelungstest mit Plus Gläsern“ zur Bestimmung der sensorischen Dominanz wurde obligatorisch vor der Kontaktlinsensimulation durchgeführt. Zuerst wurde eine vollständige Korrektur in der Ferne gewährleistet, danach werden Plus Gläser von +1,5 dpt bis +2,0 dpt abwechselnd vor beiden Augen eingesetzt. Das dominante Auge ist deutlich beeinträchtigt und verschwommen durch die plus Addition. Im Nahbereich toleriert das dominante Auge weniger + dpt als das nichtdominante Auge.

#### **4.3.1.4 Kontaktlinsen Simulation**

Eine Simulation der Zielrefraktion mit Kontaktlinsen sollte eine Gewöhnung erleichtern und die Entscheidung der Patienten für die Monovision Methode leichter machen. Ganz individuell für einige Tage oder Wochen, in einigen Fällen nur für einige Stunden ausreichend, werden Kontaktlinsen eingesetzt mit der Stärke, die annähernd die visuelle Situation nach dem Eingriff simuliert.

#### **4.3.2 Nachuntersuchung**

Die in die Studie aufgenommenen Patienten wurden für eine Abschlussuntersuchung und zur Befragung und Auswertung der Patientenzufriedenheit in die Praxis eingeladen.

#### **4.3.2.1 Refraktion und Visus**

Die Sehschärfe in die Ferne mit und ohne Korrektur monokular und binokular wurde bestimmt. Die Prüfung der Sehschärfe muss nach ISO 8596 und nach Teil 3 von DIN 58220 erfolgen (Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr 2011). Die Lesesehschärfe R/L und binokular wurde in einer Distanz von 0,3 Meter mit Nieden Lesetafel untersucht. Dem Patienten war es gestattet in seinem bevorzugten Leseabstand zu lesen, der mit einem Lineal gemessen wurde.

#### **4.3.2.2 Untersuchung der Hornhaut**

Die Hornhauttopographie (Orbscan) und die Messung der Hornhautradialen (IOL-Master) wurden postoperativ durchgeführt.

#### **4.3.2.3 Untersuchung des Stereosehens**

Zur Untersuchung des Stereosehens haben wir uns für den LANG Test I entschieden. Die postkartengroße Testkarte beinhaltet drei Prüfbilder (Katze, Stern und Auto), sie muss ruhig in 40 cm Abstand gehalten werden, eine Spezialbrille wird nicht benötigt. Die Disparität wird durch die Verschiebung der Punkte auf der Testkarte ermöglicht und der Patient wird gebeten, auf die einfachen Formen auf der Karte, oder auf den Stern zu zeigen. Die Prüfbilder haben eine unterschiedliche Disparität, Auto: 550"; Stern: 600"; Katze: 1200" Bogensekunden.

Das Ergebnis ist „positiv“ bei Auffinden und Benennen aller verborgenen Figuren, das Ergebnis ist „negativ“ wenn kein Objekt erkannt wird und das Ergebnis „zweifelhaft“ wenn nur eines der Objekte erkannt wird.

#### **4.3.2.4 Pupillenmessung**

Die Pupillenweite sollte den Zusammenhang zwischen der Pupillengröße und dem Visus bei Monovision darstellen. Das Colvard-Pupillometer (Oasis Medical) ist ein Infrarotsichtgerät mit einer eingebauten Millimeterskala.

Die Pupillenmessung ist eine subjektive Messung, die unter photopischen und mesopischen Verhältnissen unilateral und nach einer Adaptationszeit von mindestens 5 Minuten in 0,5 mm Schritten erfolgt.

#### **4.4 Patienten-Aufklärung**

Es wurden nur Patienten in die Methode der Monovision aufgenommen, die schon von sich aus eine größtmögliche Brillenunabhängigkeit wünschten. Bei Patienten mit einer bestehenden Anisometropie im Sinne einer Monovision haben wir aktiv auf diese Korrektur-Möglichkeit hingewiesen. Das ausführliche Aufklärungsgespräch ist die wichtigste Voraussetzung, um festzustellen ob der Patient für die Monovision Methode geeignet ist. Patienten mit realistischen Erwartungen sind potenziell zufriedener Patienten.

In diesem Gespräch wurde darauf hingewiesen, dass eine völlige Brillenfreiheit nicht immer zu erzielen ist. Es ist zusätzlich mit einer Gewöhnungszeit an die Methode der Monovision zu rechnen, diese kann bis zu 3 Monaten dauern. Zusätzlich wurde erklärt, dass diese Methode zur Korrektur der Presbyopie einen Kompromiss darstellt. Deshalb wurde betont, dass (nach der Erfahrung des Operateurs) ca. 80 % der Tageszeit ohne Brille in Ferne und Nähe gesehen werden könnte, besonders beim nächtlichen Autofahren (10 %) und beim Lesen von kleinem Text mit ungenügender Beleuchtung (10 %) würden Brillen erforderlich sein.

Außerdem wurde der Berufsfaktor berücksichtigt: LKW Fahrer, Lokführer oder Piloten, die aus beruflichen Gründen einen Visus von 1,0 nachweisen müssen, Patienten, die viel Sport wie Tennis, Skifahren, Skispringen treiben, unsichere oder komplizierte Persönlichkeiten oder solche mit einer ausgeprägten Persönlichkeitsstörung wurden von der Studie ausgeschlossen.

Patienten, die eine trifokale IOL Implantation wünschen wurden über mögliche Dysphotopsien aufgeklärt.

## 4.5 Patientenbefragung

Voraussetzung zur Qualitätssicherung in der Katarakt-Chirurgie sind nachweisbare Qualitätsstandards z.B. ISO 9001:2000, QEP, KTQ (Kooperation für Transparenz und Qualität), die elektronische Patientenkarte, Datenevaluation und die Ermittlung der Patientenzufriedenheit.

Die subjektive Evaluation und die Auswertung an gewonnener Lebensqualität in unserer Studie erfolgte mit einem selbstentworfenen Fragebogen (Tab.1) mit 12 Fragen mit verschiedenem Schwierigkeitsgrad zur Beurteilung der alltäglichen Tätigkeiten und Situationen, die von der Sehschärfe abhängig sind.

Hier wurden Fragen von Patientenbefragungen aus anderen Studien teils abgewandelt übernommen. Die Antworten wurden mit „nie“, „selten“, „häufig“, bzw. „immer“, beantwortet.

Fragen 11 und 12 befragen die Patienten ob sie diese Art Operation wieder wählen werden und ob sie die Operation weiterempfehlen würden.

Frage 11: Würden Sie wieder diese Art der OP (Monovision) wählen?

Frage 12: Würden Sie anderen die Art der OP (Monovision) empfehlen?

Diese Fragen werden mit „ja“ und „nein“ beantwortet. Separat von dem Dokumentationsbogen nach Beantwortung von 12 Fragen, wird die Patientenzufriedenheit in einer Skala (sehr unzufrieden – sehr zufrieden) ermittelt und mit „Noten“ von 1 bis 10 berechnet. Die Antwort entspricht der subjektiven Einschätzung der Patienten. Das Ergebnis wird in der Krankenakte bei der letzten Studienkontrolle unter „Beurteilung“ eingetragen.

### Tab.1 DOKUMENTATIONSBOGEN

1. Wie oft haben Sie eine Brille vor der OP getragen?  
nie – selten – häufig – immer
2. Was für eine Brille haben Sie heute?  
bifokal Brille – Gleitsichtbrille - Fernbrille - Nahbrille - keine
3. Wie oft tragen Sie jetzt eine Brille?  
nie – selten – häufig - immer
4. Wie oft tragen Sie eine Brille beim Autofahren ?  
nie – selten – häufig - immer

5. Wie oft tragen Sie eine Brille bei der Computer-Arbeit ?  
nie – selten – häufig - immer
6. Wie oft tragen Sie eine Brille beim Fernsehen ?  
nie – selten – häufig - immer
7. Wie oft tragen sie eine Brille beim Zeitungslesen ?  
nie - selten - häufig - immer
8. und wenn sie länger als eine halbe Stunde lesen?  
nie - selten – häufig - immer
9. Wie oft tragen sie eine Brille beim Telefonieren?  
nie – selten - häufig - immer
10. Wie lange hat es gedauert bis Sie sich an das "ohne Brille"  
gewöhnnt haben?  
1 Tag 1 Woche 1 Mo 3 Mo
11. Würden Sie wieder diese Art der OP (Monovision) wählen?  
nein ja
12. Würden Sie anderen die Art OP (Monovision) empfehlen?  
nein ja

Der Befragungsbogen für die Patienten mit trifokaler IOL ist eine Modifikation aus dem Dokumentationsbogen für die Patienten der Monovision Gruppe. Der Dokumentationsbogen beinhaltet die gleichen 12 Fragen und ist ergänzt mit den zusätzlichen Fragen „Nebenwirkungen“ (was haben sie als Nebenwirkung erkannt?) und „Gewöhnung“ (Wie lange hat die Gewöhnung gedauert? Die Antwort :„ sofort“; „nach Stunden“; „nach Tagen“; „nach Wochen“; „nach Monaten“) und „Verbesserung der Situation im Alltag“ („ja“, „nein“). Die Patientenzufriedenheit wird hier auch in einer Scala (sehr unzufrieden – sehr zufrieden) ermittelt und mit Noten von 1 bis 10 berechnet. Die Beurteilung der Zufriedenheit mit der trifokalen-IOL ist modifiziert (erweitert) mit den zusätzlichen Fragen:

1. Zufriedenheit: Aufklärung und Information
2. Zufriedenheit: Ablauf und Betreuung

Frage 11 und 12 angepasst:

Frage 11. Würden Sie wieder diese Art der OP (trifokale IOL) wählen?

Frage 12. Würden Sie anderen die Art der OP (trifokale IOL) empfehlen? Die Fragen werden mit „ja“ und „nein“ beantwortet.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Ergebnisse Monovision

#### 5.1.1 Patientenkollektiv

Insgesamt wurden 52 Patienten untersucht, davon 35 (67,3%) Frauen und 17 (32,7%) Männer. Das Durchschnittsalter aller Patienten beträgt 66,5 Jahre (Mittelwert). Der jüngste Patient war 44 Jahre, der älteste 87 Jahre alt. Es sind 2 Patientengruppen der Monovision zu unterscheiden:

1. Katarakt Gruppe: 41 Patienten, davon 14 (34,15%) Männer und 27 (65,85%) Frauen wurden routinemäßig am Grauen Star operiert. Der jüngste Patient ist 44 Jahre alt, der älteste ist 87 Jahre alt. Im Durchschnitt beträgt das Alter 68,5 Jahre.
2. Refraktive Gruppe: Bei 11 Patienten, davon 3 (27,27%) Männer und 8 (72,73%) Frauen wurde ein refraktiver Linsentausch (RLA) vorgenommen. Der jüngste Patient ist 44 Jahre, der älteste 71 Jahre alt. Das Durchschnittsalter beträgt 59,1 (Mittelwert) (Abb13.)

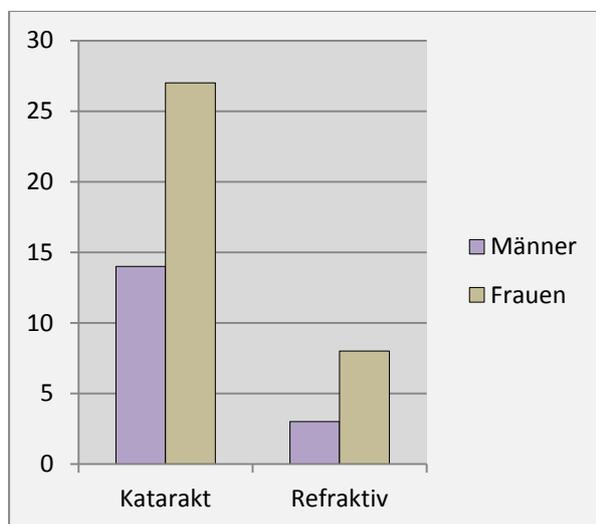


Abbildung 13. Patientenkollektiv Monovision Verteilung

Alle Patienten dieser Gruppe sind in der Zeit zwischen 2004 und 2010 im AugenCentrum Rosenheim operiert worden. Bei allen Patienten erfolgte bilateral eine Katarakt Operation oder ein Refraktiver Linsentausch (RLA) mit Implantation

einer monofokalen intraokularen Linse mit Ziel Monovision. Bei allen Patienten erfolgten obligatorische Kontrollen am ersten postoperativen Tag, eine Woche später und 4 Wochen nach der Operation des zweiten Auges. Alle Patienten wurden für die Studienkontrolle untersucht und im Rahmen der Nachuntersuchung befragt. Insgesamt war die Patientenadhärenz sehr gut, mit geringen Fluktuationen in einigen der Follow up Kontrollen.

## 5.1.2 Visus und Refraktion bei Monovision

### 5.1.2.1 Fernvisus korrigiert präoperativ (VF cc präop)

Der Fernvisus korrigiert präoperativ (VF cc präop) betrug  $0,58 \pm 0,23$  (Mittelwert  $\pm$  SA), (n=102) Augen (Abb.14). 8 Patienten der Gruppe 2 Refraktiv (15,4%) hatten präoperativ einen korrigierten Fernvisus von  $\geq 1,0$ . Der minimale präoperative Visus betrug 0,2 korrigiert, der maximale präoperative Visus betrug 1,1 korrigiert (Abb.15).

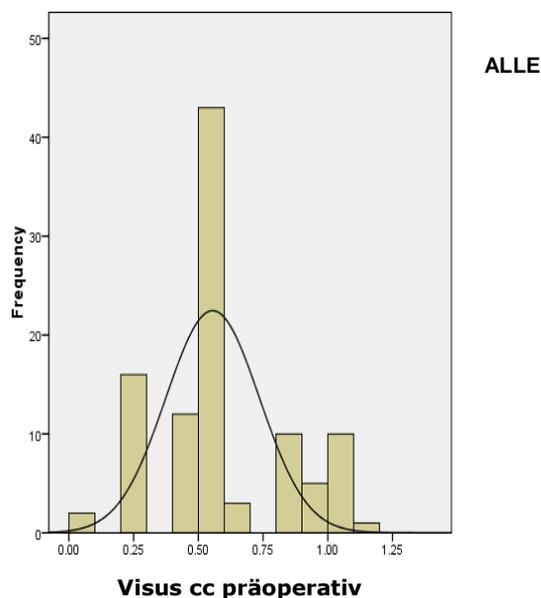
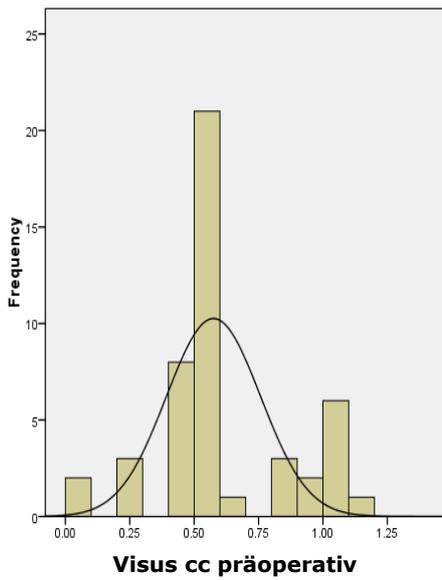
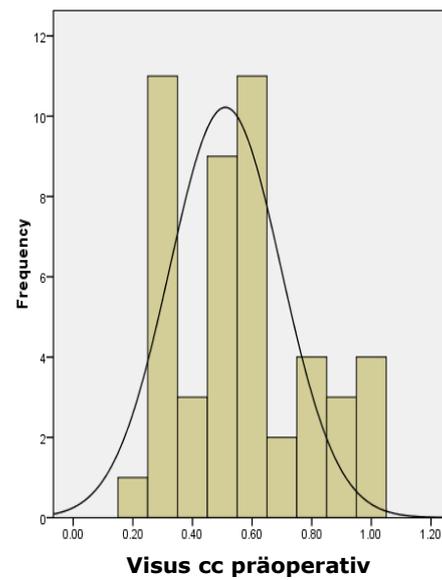


Abbildung 14. Histogramm Fernvisus korrigiert präoperativ (VF cc präop)



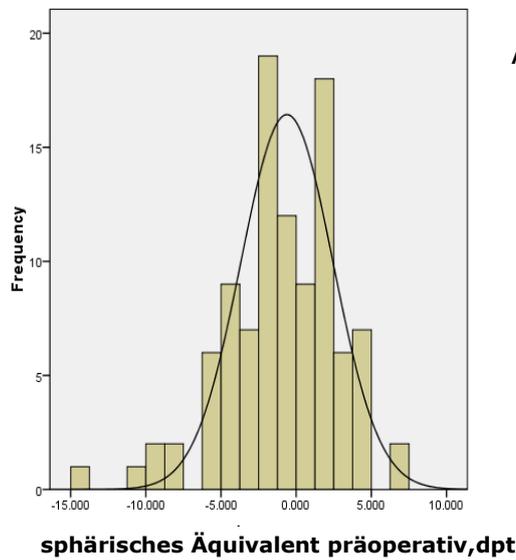
FA



NA

Abbildung 15. Histogramm Visus korrigiert präoperativ Fernauge (VF cc präop FA) und Histogramm Fernvisus korrigiert präoperativ Nahauge (VF cc präop NA)

### 5.1.2.2 Sphärisches Äquivalent präoperativ



ALLE

Abbildung 16. Histogramm sphärisches Äquivalent in dpt präoperativ

Die Verteilung der Sphäre präoperativ ist: in der Katarakt Gruppe von -13,0 dpt bis +5,25 dpt; in der Refraktiven Gruppe von -7,0 dpt bis +7,25; der Zylinder Mittelwert

beträgt  $-0,66$  ( $SA=3,62$ ). Das sphärische Äquivalent liegt im Median bei  $-1,125$ , max.  $7,125$ ; min  $-13,875$ , Mittelwert  $-1,035$  ( $SA=3,68$ ) (Abb.17).

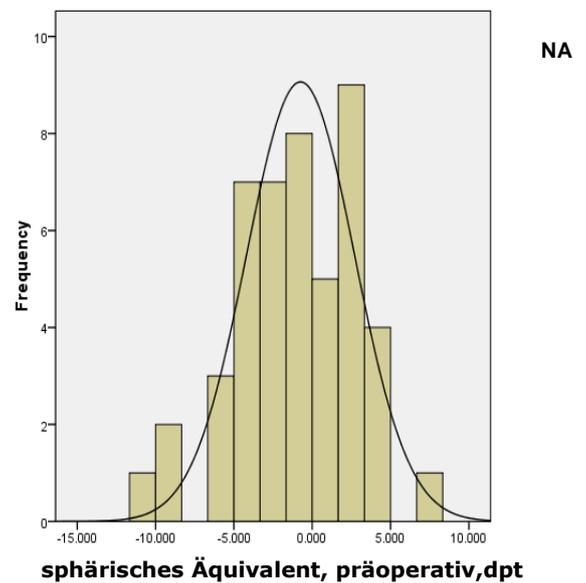
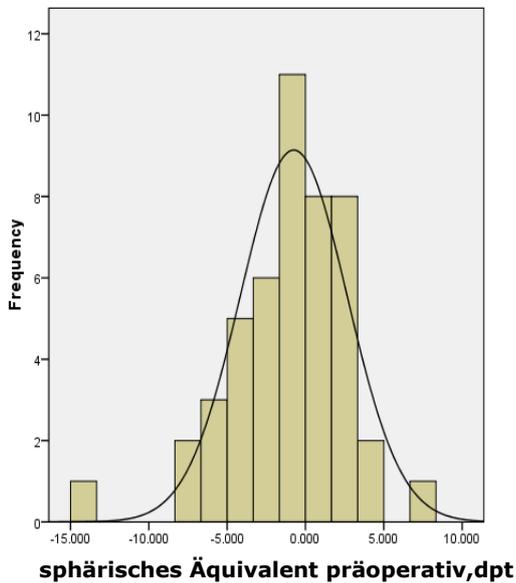


Abbildung 17. Histogramm sphärisches Äquivalent in dpt präoperativ Fernaugen und Histogramm sphärisches Äquivalent präoperativ in dpt Nahaugen

### 5.1.2.3 Visusentwicklung postoperativ

Der Fernvisus binokular unkorrigiert postoperativ (VF bin sc postop) beträgt bei 86% der Patienten ( $n=45$ )  $0,94 \pm 0,15$  (Mittelwert  $\pm$  SA). 62,2% davon ( $n=28$ ) hatten postoperativ einen unkorrigierten, binokularen Fernvisus von  $\geq 1,0$  (Abb.18).

Der unkorrigierte Nahvisus binokular postoperativ (VN bin sc postop) beträgt bei 92,3% ( $n=48$ ) Patienten  $0,94 \pm 0,17$  (Mittelwert  $\pm$  SA). 60,4% der Patienten ( $n=29$ ) hatten postoperativ einen unkorrigierten Nahvisus von  $\geq 1,0$  (Abb.19).

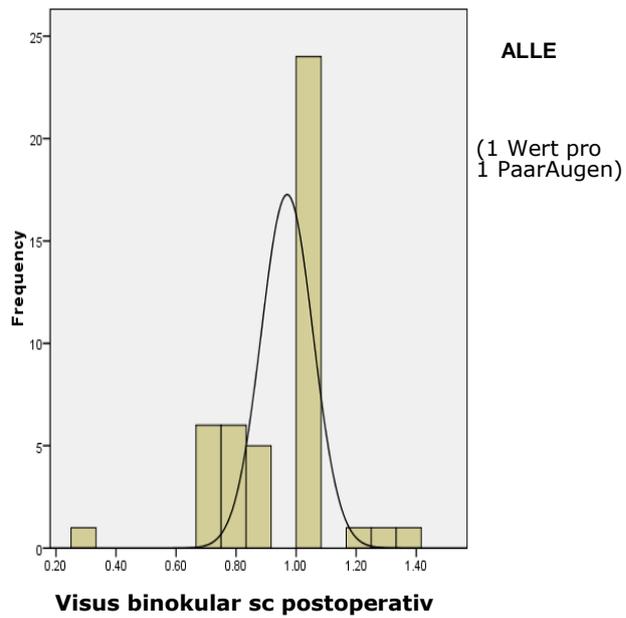


Abbildung 18. Histogramm Fernvisus binokular unkorrigiert postoperativ (VF bin sc postop)

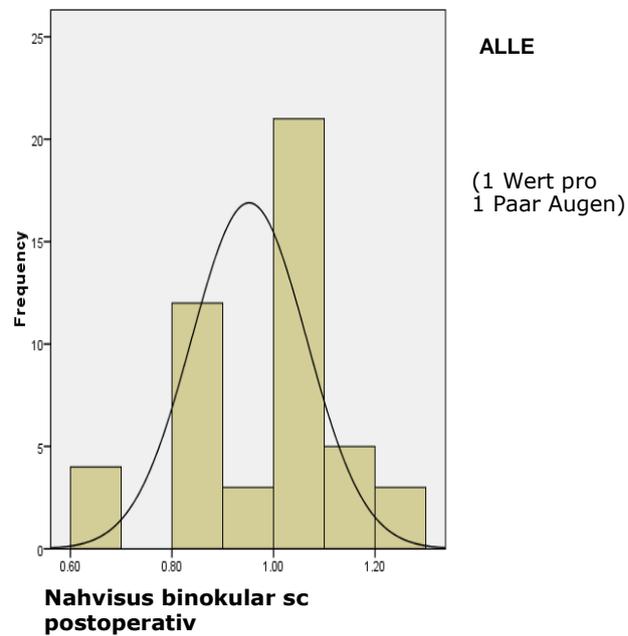


Abbildung 19. Histogramm Nahvisus binokular unkorrigiert postoperativ (VN bin sc postop)

Der Fernvisus unkorrigiert post op (VF sc postop FA) am Fernauge liegt bei 0,92 (MW  $\pm$  SA 0,165), min. 0,75, max. 1,0. Der Fernvisus am Nahauge (VF sc postop NA) liegt bei 0,49 ( MW  $\pm$  SA 0,206), min. 0,4, max. 0,6 (Abb.20).

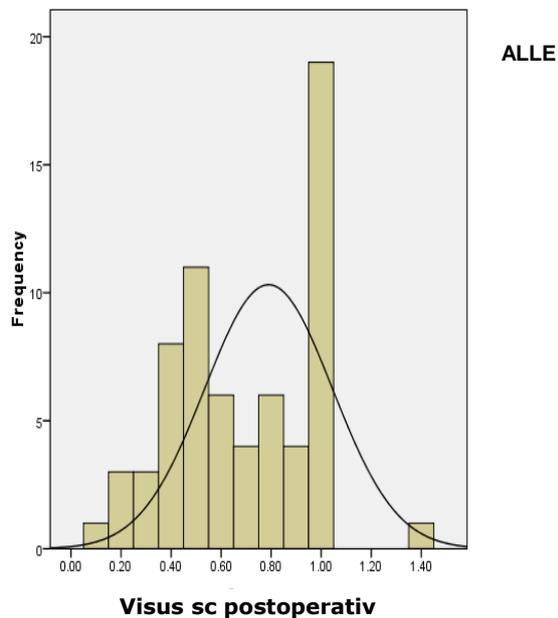


Abbildung 20. Histogramm Visus unkorrigiert postoperativ (VF sc postop)

Der Nahvisus unkorrigiert postoperativ (VN sc postop NA) am Nahauge liegt bei 1,07 (MW  $\pm$  SA 0,14). Der Nahvisus unkorrigiert postoperativ (VN sc postop FA) am Fernauge liegt bei 0,54 (MW  $\pm$  0,304) (ohne Abb.).

Der korrigierte binokulare Fernvisus postoperativ der Patienten (n=52) beträgt 1,01  $\pm$  0,14 (MW  $\pm$  SA). Bei 75,0% (n=39) der Patienten wurde ein postoperativer Fernvisus korrigiert  $\geq$  1,0 gemessen (Abb. 21).

Der Fernvisus cc postoperativ am Fernauge beträgt 0,99  $\pm$  0,17 (MW  $\pm$  SA); der Fernvisus cc postoperativ am Nahauge beträgt 0,94  $\pm$  0,152 (MW  $\pm$  SA).

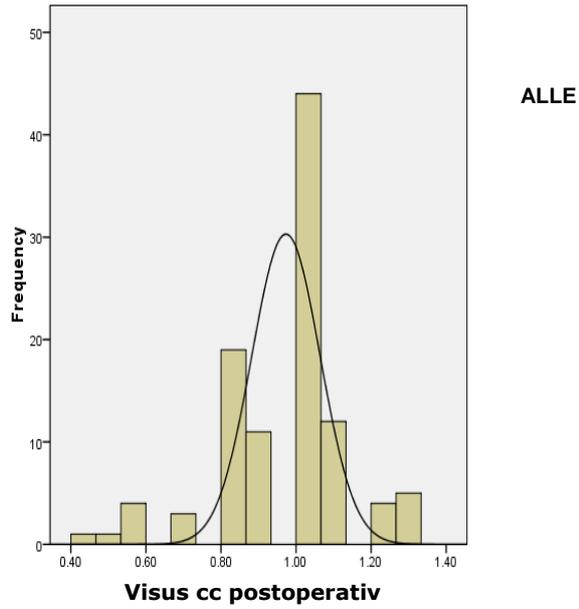


Abbildung 21. Histogramm Fernvisus korrigiert postoperativ (VF cc postop)

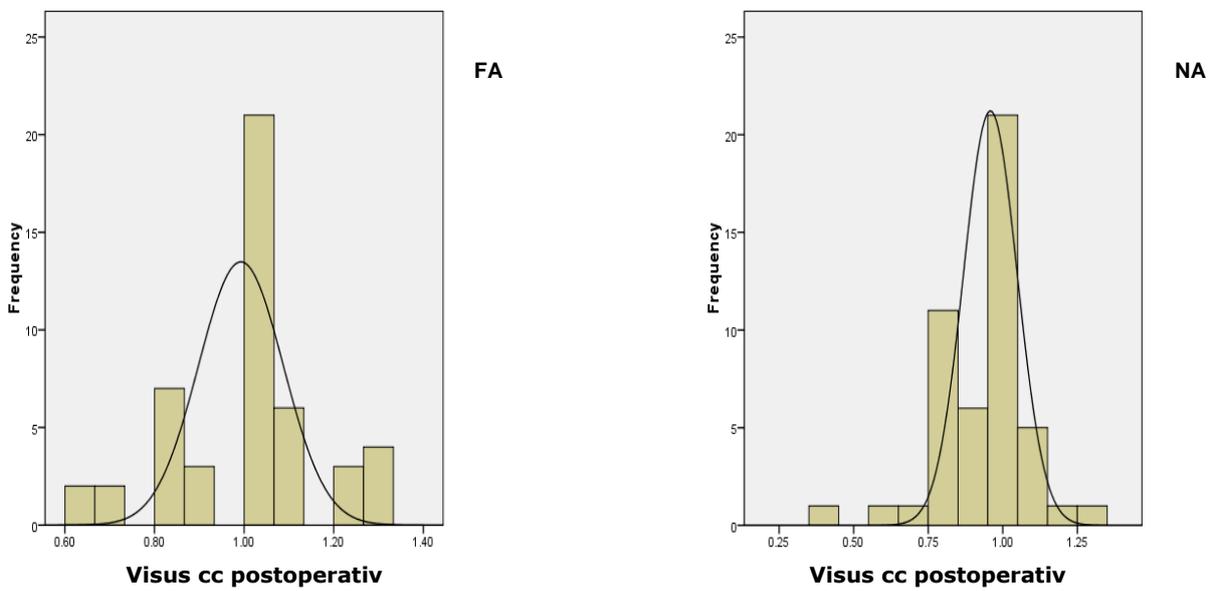


Abbildung 22. Histogramm Fernvisus korrigiert postoperativ (VF cc postop FA) Fernauge und Histogramm Fernvisus korrigiert postoperativ (VF cc postop NA) Nahaugen

### 5.1.2.4 Sphärisches Äquivalent postoperativ

Die Sphäre postoperativ liegt bei -0,69 (Mittelwert), im Median bei -0,5 dpt (SA  $\pm$  0,89); max. 1,0; min -2,75 dpt. Das sphärische Äquivalent postoperativ liegt bei -0,93 (Mittelwert), im Median bei -0,75 (SA  $\pm$  0,88); max. 0,5, min. -2,88, (n=104) Augen (Abb.23).

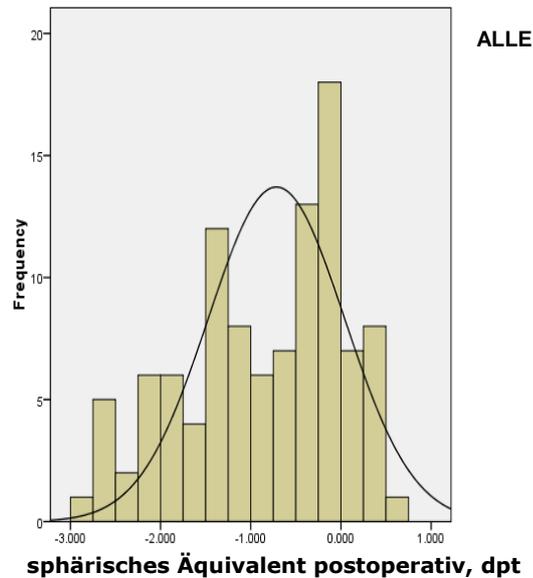


Abbildung 23. Histogramm sphärisches Äquivalent postoperativ in dpt

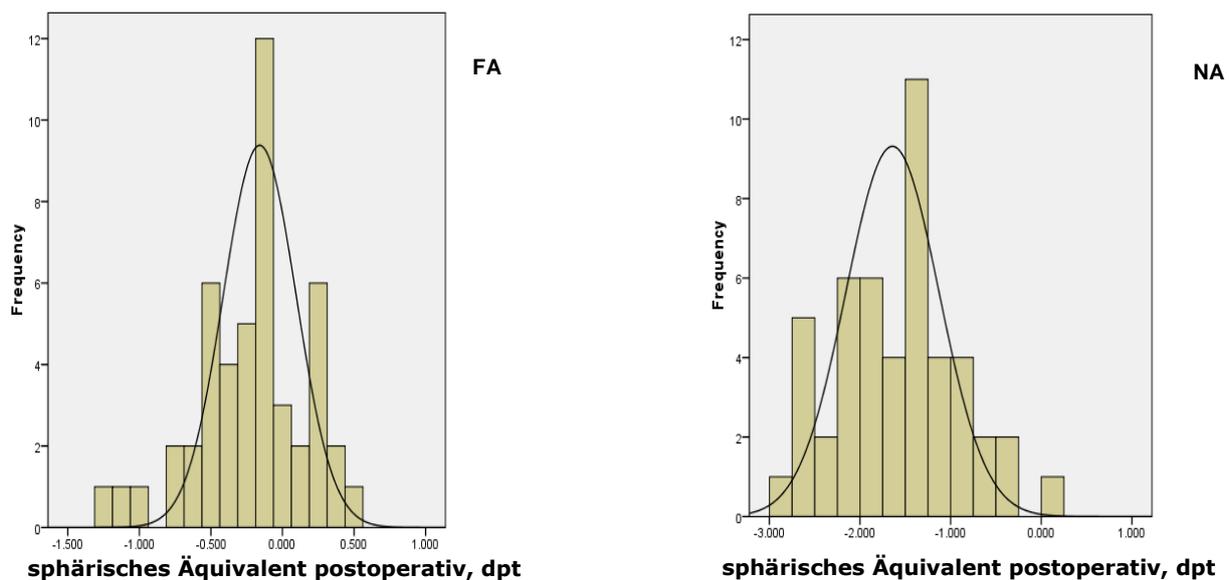


Abbildung 24. Histogramm sphärisches Äquivalent postoperativ in dpt Fernaugen  
Histogramm sphärisches Äquivalent postoperativ in dpt Nahaugen

Das sph. Äquivalent postop in dpt am Fernauge beträgt -0,22dpt (SA=0,386);  
 Das sph. Äquivalent postop in dpt am Nahauge beträgt -1,67dpt (SA=0,666)  
 (Abb. 24)

### 5.1.2.5 Fernvisus korrigiert binokular präoperativ (VF cc bin präop) vs. Fernvisus unkorrigiert binokular postoperativ (VF sc bin postop)

Der Vergleich Vis cc präop vs. Visus sc postop ermittelt die Wirksamkeit („efficacy“) des operativen Eingriffs.

Der Fernvisus korrigiert binokular präoperativ (VF cc bin präop) beträgt  $0,65 \pm 0,21$  (MW  $\pm$  SA), (n=52).

Der Fernvisus unkorrigiert binokular postoperativ (VF sc bin postop) beträgt  $0,94 \pm 0,15$  (MW  $\pm$  SA), (n=45).

Der Unterschied ist hochsignifikant:  $p < 0,001$  (T-Test); (Wilcoxon Test)( Abb. 25).

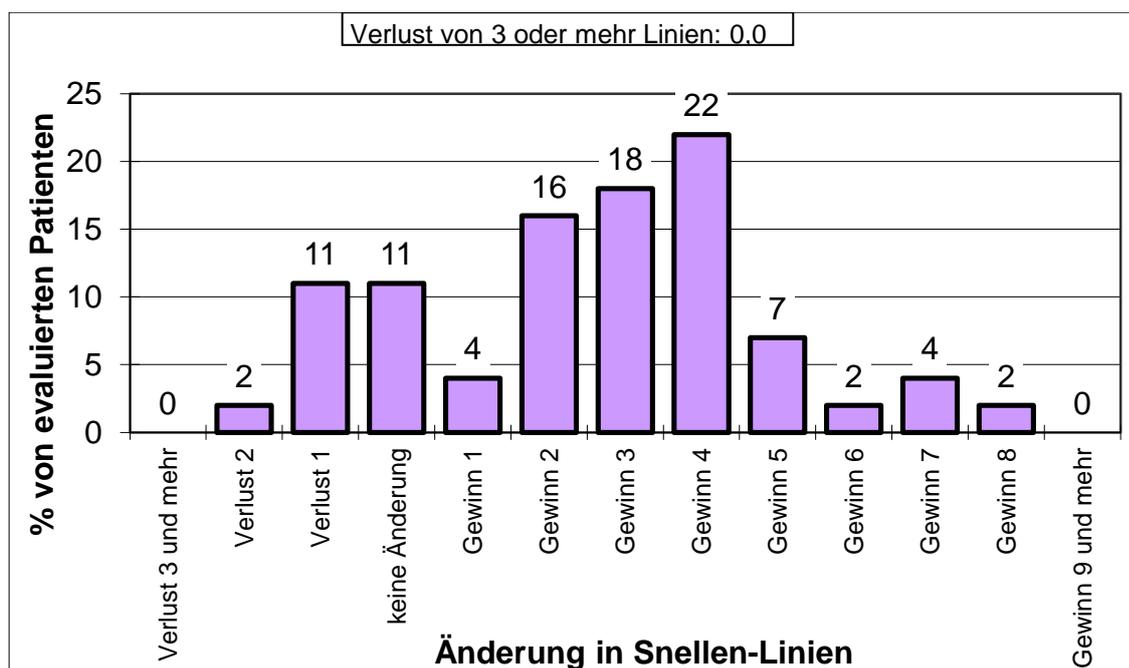


Abbildung 25. Fernvisus korrigiert binokular präoperativ (VF cc bin präop) vs. Fernvisus unkorrigiert binokular postoperativ (VF sc bin postop) (Wirksamkeit)

### 5.1.2.6 Visus unkorrigiert binokular (V bin sc) vs. Visus korrigiert binokular (V bin cc) (Qualität der Monovision)

Der Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) beträgt  $0,95 \pm 0,17$  (MW  $\pm$  SA), (n=48) Patienten. Der Nahvisus korrigiert binokular (VN cc bin) beträgt  $1,11 \pm 0,13$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist hochsignifikant:  $p < 0,001$  (T-Test);  $p < 0,01$  (Wilcoxon Test) (Abb. 26).

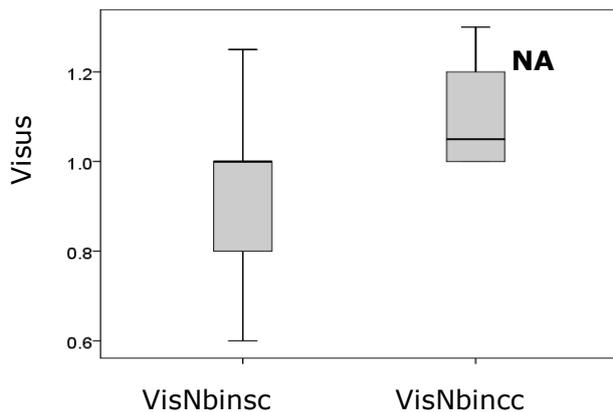


Abbildung 26. Boxplots - Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) vs. Nahvisus korrigiert binokular (VN bin cc)

Der Fernvisus unkorrigiert binokular (VF sc bin) beträgt  $0,94 \pm 0,15$  (MW  $\pm$  SA), (n=48). Der Fernvisus korrigiert binokular binokular (VF cc bin) beträgt  $1,01 \pm 0,14$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist hochsignifikant:  $p < 0,001$ , (T-Test);  $p < 0,001$  (Wilcoxon Test). Der Unterschied beträgt im Durchschnitt aber weniger als eine Zeile (Abb.27).

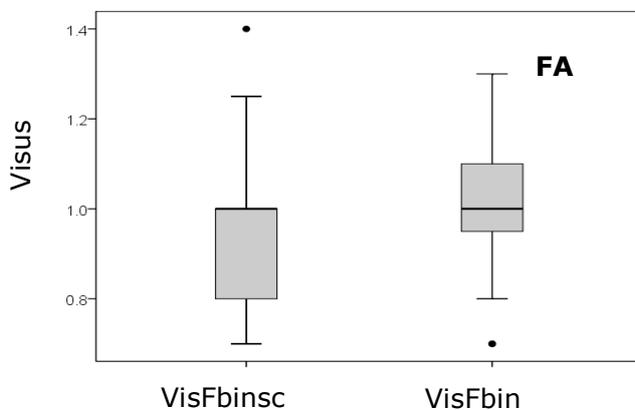


Abbildung 27. Boxplots - Fernvisus unkorrigiert binokular (VF sc bin) vs. Fernvisus korrigiert binokular (VF bin cc)

### 5.1.3 Zielrefraktion postoperativ vs. sphärisches Äquivalent postoperativ

Die Vorhersagbarkeit („predictability“) wird in Form eines Streudiagramms dargestellt und definiert die angestrebte und die erreichte Refraktionseränderung.

Zielrefraktion (ZRef) beträgt  $-0,81 \pm 0,90$  (MW  $\pm$  SA), (n=97). Das sphärische Äquivalent postoperativ (sph Äq postop) liegt bei  $-0,93 \pm 0,91$  (MW  $\pm$  SA), (n=104). Der Unterschied ist signifikant:  $p=0,028$  (T-Test);  $p=0,007$  (Wilcoxon Test). Die Sphäre (sph) postoperativ liegt bei  $-0,69 \pm 0,89$  (MW  $\pm$  SA), (n=104). Der Unterschied ist grenzwertig:  $p=0,032$  (T-Test); nicht signifikant:  $p=0,057$  (Wilcoxon Test).

*Fernaugen(FA)*: Zielrefraktion (ZRef F) beträgt  $-0,07 \pm 0,38$  (MW  $\pm$  SA), (n=48). Das sphärische Äquivalent postoperativ (sph Äq F) der FA beträgt  $-0,21 \pm 0,39$  (MW  $\pm$  SA), (n=48). Der Unterschied ist signifikant:  $p=0,024$  (T-Test);  $p=0,009$  (Wilcoxon Test). Die Sphäre (sph F) postoperativ beträgt  $0,03 \pm 0,41$  (MW  $\pm$  SA), (n=48). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,160$  (T-Test);  $p=0,260$  (Wilcoxon Test).

*Nahaugen(NA)*: Zielrefraktion (ZRef N) beträgt  $-1,57 \pm 0,58$  (MW  $\pm$  SA), (n=48). Das sphärische Äquivalent postoperativ (sph Äq N) der NA beträgt  $-1,66 \pm 0,67$  (MW  $\pm$  SA), (n=48) (Abb.37). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,316$  (T-Test);  $p=0,223$  (Wilcoxon Test). Die Sphäre (sph N) postoperativ beträgt  $-1,42 \pm 0,69$  (MW  $\pm$  SA), (n=48). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,108$  (T-Test);  $p=0,138$  (Wilcoxon Test) (Abb.28).

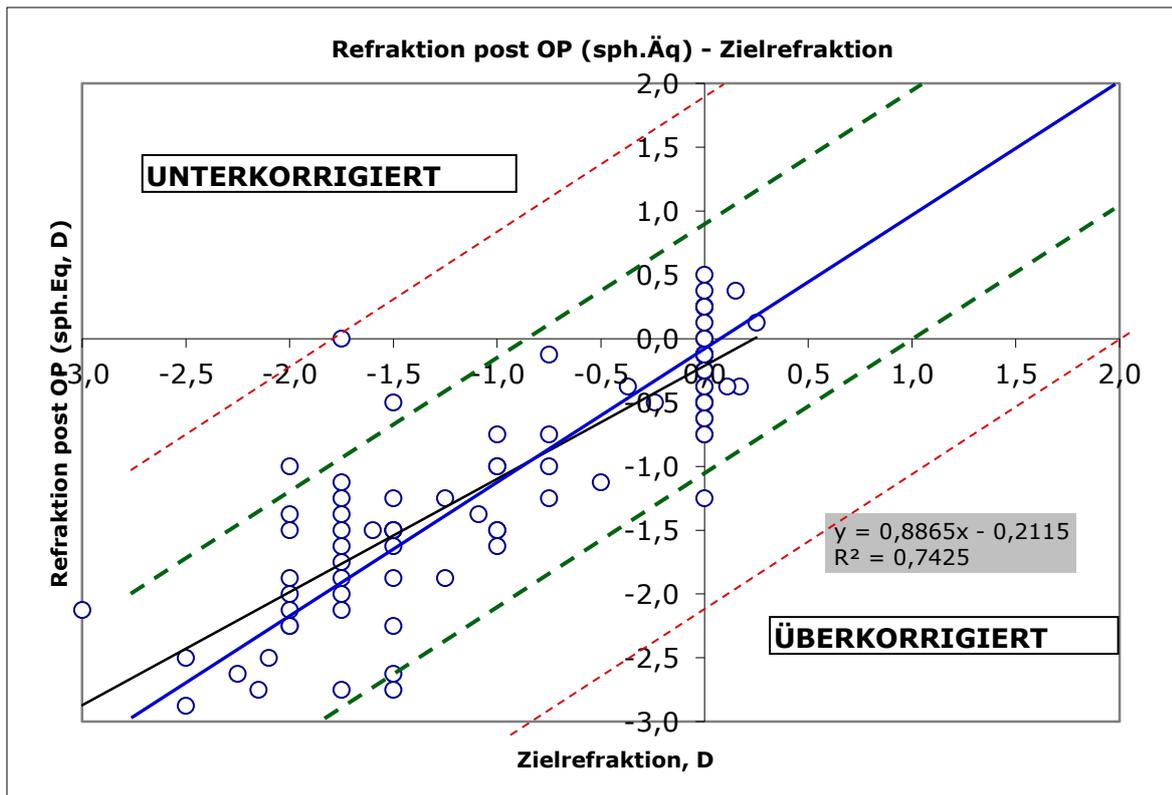


Abbildung 28. Streudiagramm Zielrefraktion (ZRef postop) in dpt vs. Refraktion (sph. Äquivalent); Korridore der Abweichung

### Refraktiv chirurgische Patienten

Zielrefraktion (ZRef N) beträgt  $-1,61 \pm 0,45$  (MW  $\pm$  SA), (n=10) Nahaugen.  
 Das sphärische Äquivalent postoperativ (sph Äq post N) liegt bei  $-1,75 \pm 0,64$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,133$  (T-Test);  $p=0,173$  (Wilcoxon Test). Die Sphäre postoperativ (sph N) beträgt  $-1,62 \pm 0,59$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,213$  (T-Test);  $p=0,780$  (Wilcoxon Test).

Zielrefraktion (ZRef F) beträgt  $0,04 \pm 0,08$  (MW  $\pm$  SA), (n=10) Fernaugen.  
 Das sphärische Äquivalent postoperativ (sph Äq F) beträgt  $0,01 \pm 0,20$  (MW  $\pm$  SA).  
 Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,750$  (T-Test);  $p=1,000$  (Wilcoxon Test).  
 Die Sphäre postoperativ (sph F) beträgt  $0,15 \pm 0,17$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,08$  (T-Test);  $p=0,074$  (Wilcoxon Test) (Abb.29).

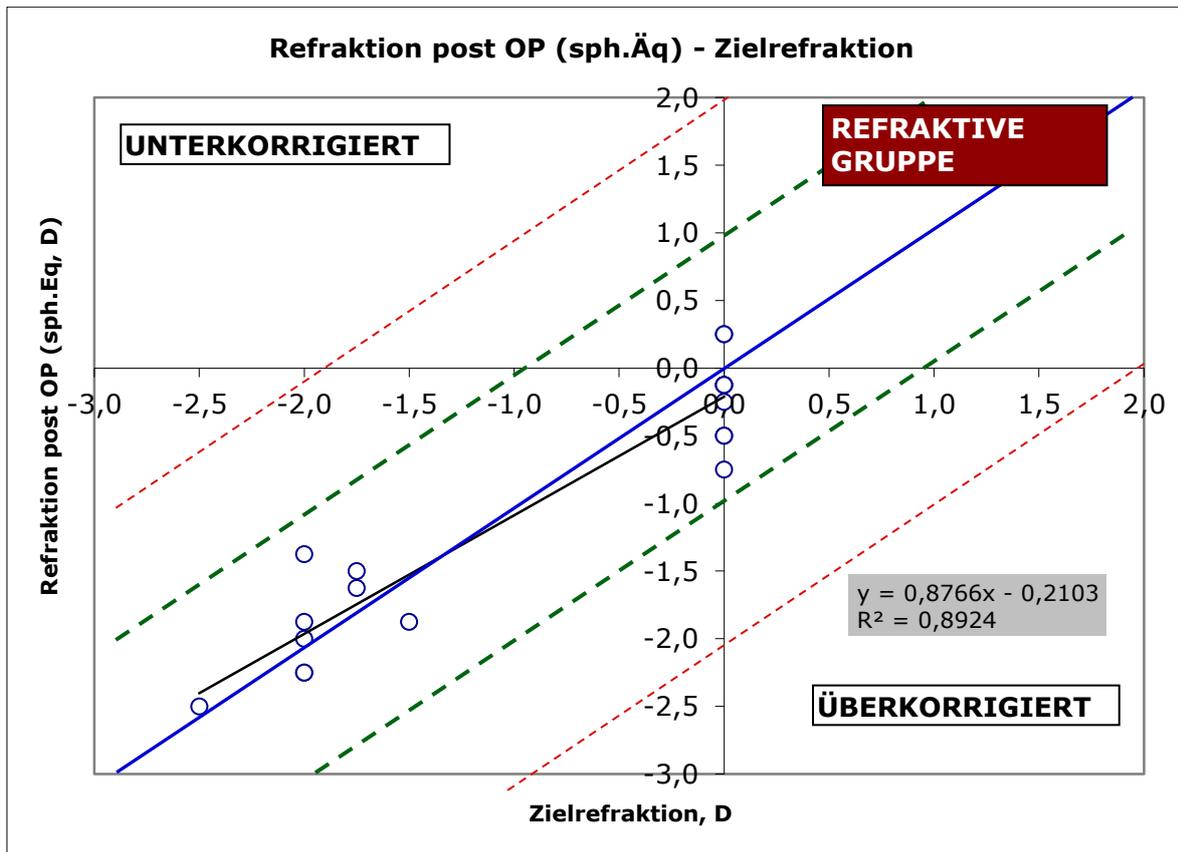


Abbildung 29. Streudiagramm Zielrefraktion (ZRef postop) in dpt vs. Refraktion postop (sph. Äquivalent) in der Refraktiven Gruppe; Korridore der Abweichung

## Katarakt-Patienten Gruppe

Zielrefraktion (Z Ref N) beträgt  $-1,50 \pm 0,62$  (MW  $\pm$  SA), (n=38) Nahaugen. Das sphärische Äquivalent postoperativ (sph Äq) liegt bei  $-1,64 \pm 0,68$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,490$  (T-Test);  $p=0,360$  (Wilcoxon Test). Die Sphäre postoperativ (Sph) liegt bei  $-1,37 \pm 0,67$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,092$  (T-Test);  $p=0,112$  (Wilcoxon Test).

Zielrefraktion (ZRef F) beträgt  $-0,10 \pm 0,43$  (MW  $\pm$  SA), (n=38) Fernaugen. Das sphärische Äquivalent postoperativ (sph Äq) liegt bei  $-0,27 \pm 0,40$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist signifikant:  $p=0,024$  (T-Test);  $p=0,007$  (Wilcoxon Test). Die Sphäre postoperativ (sph N) liegt bei  $-0,01 \pm 0,45$  (MW  $\pm$  SA). Der Unterschied ist nicht signifikant:  $p=0,285$  (T-Test);  $p=0,463$  (Wilcoxon Test) (Abb.30).

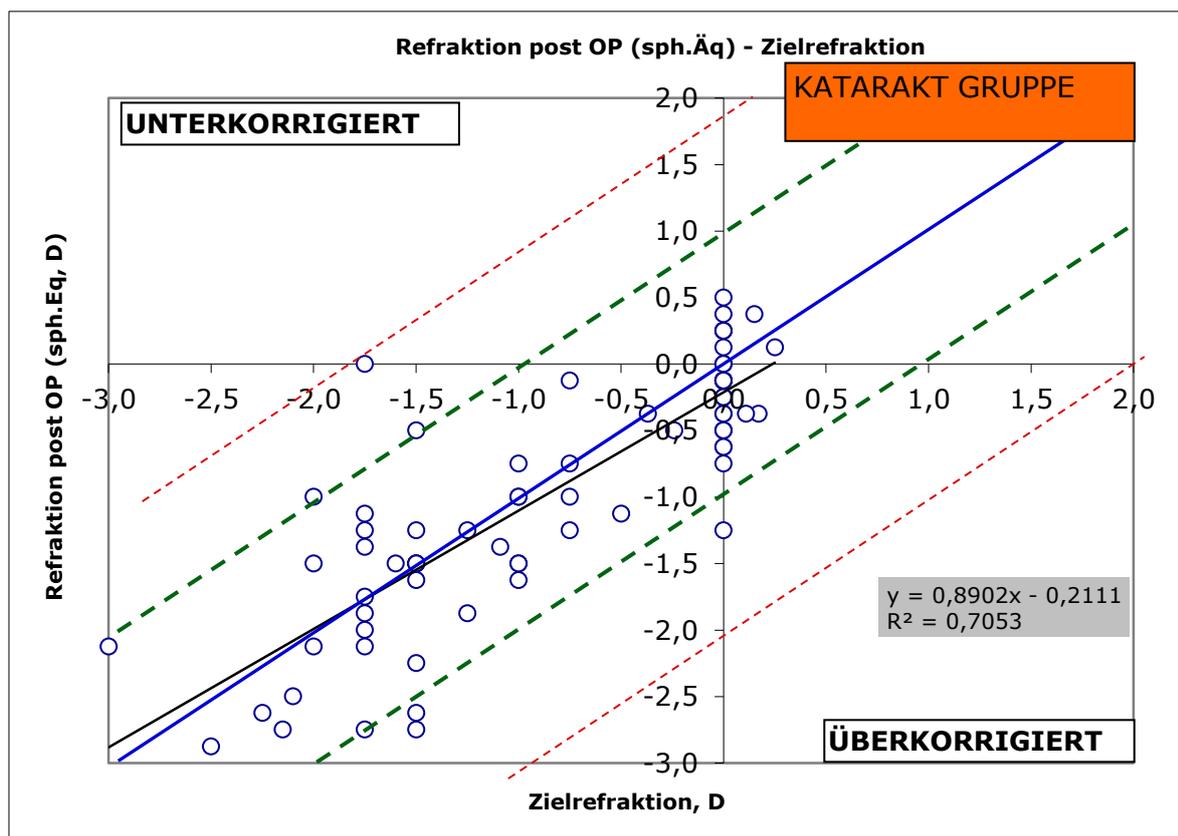


Abbildung 30. Streudiagramm Zielrefraktion (ZRef postop) in dpt vs. Refraktion postop (sph. Äquivalent) in der Katarakt Gruppe

## 5.1.4 Korrelation: Nahvisus – Pupillenweite

### 5.1.4.1 Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) – Pupillenweite

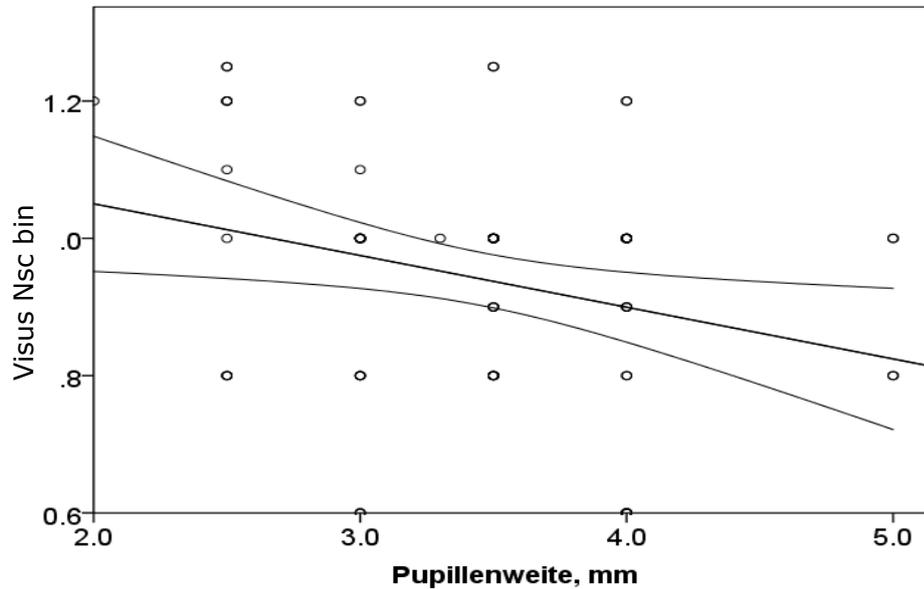


Abbildung 31. Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) - Pupillenweite

Der Nahvisus binokular unkorrigiert (VN sc bin) ist signifikant besser bei einer kleinen Pupillenweite von 2,5 -3,0 mm;  $r=0,268$ .

Der Unterschied ist signifikant ( $n=80$ );  $p= 0,017$ (signifikant, Spearman)(Abb.31).

### 5.1.4.2 Mittelwert der Pupillenweite

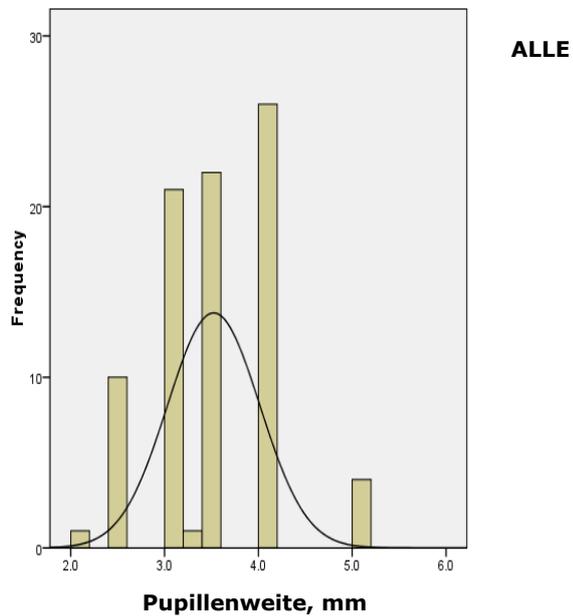


Abbildung 32. Histogramm Mittelwert der Pupillenweite in mm

Der Mittelwert der Pupillenweite liegt bei 3,46 mm (n= 85) Augen,

Mittewert (min. 2,0 mm, max. 5,0 mm), Median 3,5 (SA=1,5). (Abb.32)

Der Mittelwert der Pupillenweite (n=40) Fernaugen ist 3,49 mm. (Abb.33).

Der Mittelwert der Pupillenweite bei (n=40) Nahaugen ist 3,46 mm;

SA  $\pm$  1,05 (Abb.34).

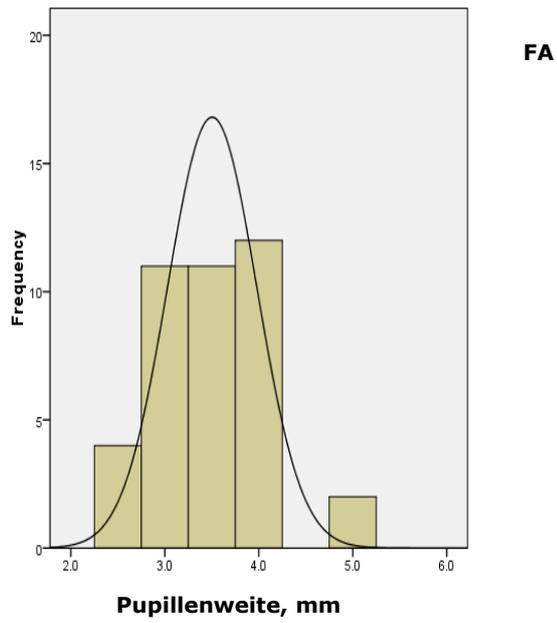


Abbildung 33. Histogramm Mittelwert der Pupillenweite (Fernaugen)

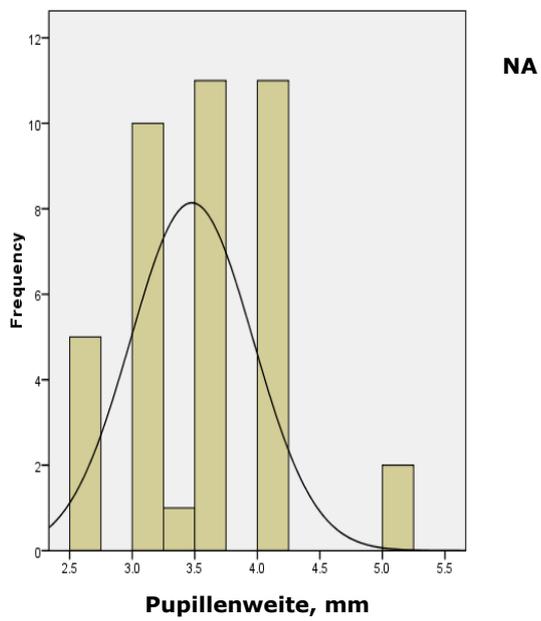


Abbildung 34. Histogramm Mittelwert der Pupille (Nahaugen)

### 5.1.5 Korrelation: Stereosehen - sphärisches Äquivalent

Die Patientenadhärenz in unserer Studie war sehr gut. Mit zunehmender Zeitdauer der Studie haben die Fluktuationen der Teilnahme an den Nachuntersuchungen zugenommen. Die Untersuchung des Stereosehens fand bei einer der letzten Follow ups statt. An dieser Nachuntersuchung haben nur (n=26) Patienten teilgenommen.

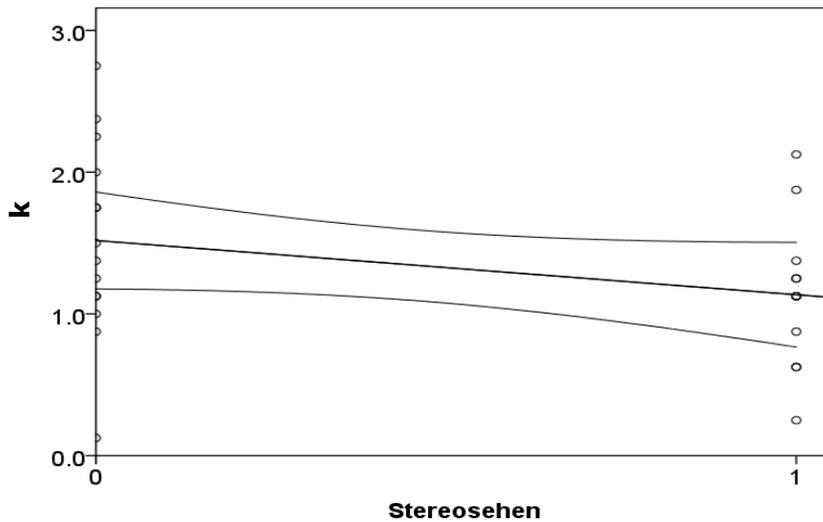


Abbildung 35. Stereosehen – K (sph. Äquivalent RA – sph. Äquivalent LA)

Die Korrelation Stereosehen - Konstante  $K$  (sph. Äquivalent RA – sph. Äquivalent LA) ist nicht signifikant. Das Stereosehen ist durch die Höhe der Anisometropie nicht signifikant beeinträchtigt.  $p=0,137$  (nicht signifikant, Spearman) (Abb 35.)

Postoperativ ohne Korrektur haben:

9 Patienten - zum Teil positiv (mind.1 Figur) im Lang Test erkannt

6 Patienten - Lang Test negativ

11 Patienten - Lang Test positiv (alle 3 Figuren) erkannt.

### 5.1.6 Brillentrageverhalten Monovision

Alle Studienkandidaten (100%) der Katarakt und RLA Gruppe waren vor der Operation Brillenträger.

Der Gebrauch einer Brille nach der Operation:

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| 13 Patienten (25%)    | brauchen keine Brille im Alltag  |
| 16 Patienten (30,76%) | brauchen eine Fernbrille, nur zum Autofahren<br>davon 3 (5,76%) der RLA Gruppe |
| 28 Patienten (53,84%) | brauchen eine Lesebrille<br>davon 5 (9,61%) der RLA Gruppe                     |
| 2 Patienten (3,84%)   | brauchen eine Brille am PC   |
| 2 Patienten (3,84%)   | haben nicht geantwortet  |

Die Brillenunabhängigkeiten bedeuten für viele Patienten sich frei bewegen können und eine Brille für einen bestimmten Bereich nur bei Bedarf zu tragen. Die Entscheidung wann die Brille getragen wird trifft der Patient selber.

Die subjektive Beurteilung der Patienten mittels Fragebogen ergibt:

Der Besitz einer Brille steht nicht in Korrelation mit der subjektiven Einschätzung der Brillenunabhängigkeit. Kein einziger Patienten braucht „immer“ eine Brille.

Die Brille wird überwiegend „selten“ in einem bestimmten Bereich getragen:

- 27 Patienten (51,92%) tragen „selten“ eine Brille
- 3 Patienten ( RLA ) tragen „selten“ eine Brille zum Autofahren
- 6 Patienten ( RLA) tragen „selten“ eine Brille zum Lesen
- 9 Patienten (15,38%) (Monovision) tragen eine Brille „häufig“. 6 brauchen „häufig“ zum Lesen und 4 Patienten „häufig“ zum Autofahren.
- 13 Patienten (25%) besitzen eine Brille, tragen aber im Alltag keine und bezeichnen sich als brillenunabhängig:
- 8 Patienten ( Monovision) tragen „nie“ eine Brille.
- 5 Patienten ( RLA ) tragen „nie“ eine Brille.

Brillenstatistik:

- 8 Patienten besitzen eine F Brille
- 21 Patienten besitzen eine N Brille
- 9 Patienten besitzen eine F+ N Brille (GS Brille)
- 4 nicht geantwortet

### **5.1.7 Patientenzufriedenheit Monovision**

Die Patientenzufriedenheit ist in beiden Gruppen (Katarakt) und (Refraktiv) sehr hoch. Sie beträgt bei 92,3% der Patienten  $9,27 \pm 1,13$  (MW  $\pm$  SA), min: 6; max:10 in einer Skala von 1 bis 10. 45 Patienten haben eine Note abgegeben.

Die Patientenbefragung erfolgte mittels Fragebogen. Fragen 11 und 12 werden mit „ja“ und „nein“ beantwortet und befragen die Patienten ob sie diese Art Operation wieder wählen werden und ob sie die Operation weiterempfehlen würden.

- 45 Patienten (86,5%) würden diese Art der OP weiter empfehlen und sich wieder für diese Art OP entscheiden (Antwort „ja“)
- 5 Patienten mit „nicht sicher“ und
- 2 Patienten mit „weiß nicht“.

Die Patientenzufriedenheit in unserer Studie korreliert mit der Brillenunabhängigkeit und ist nicht vom Alter abhängig. Die jüngeren Patienten, in der Regel Patienten der RLA Gruppe sind genauso zufrieden wie die älteren Teilnehmer.

## **5.2 Ergebnisse Trifokale Intraokularlinsen (IOL)**

### **5.2.1 Patientenkollektiv Trifokale-IOL**

Insgesamt 17 Patienten wurden operiert und untersucht, davon 7(41,2 %) Frauen und 10 (58,8 %) Männer. Das Durchschnittsalter aller Patienten beträgt 61,8 Jahre. Der jüngste Patient war 52 Jahre der älteste 70 Jahre alt.

Es sind 2 Patientengruppen zu unterscheiden:

#### 1. Katarakt Gruppe:

13 Patienten, davon 8 Männer und 5 Frauen, wurden routinemäßig am Grauen Star operiert. Der jüngste Patient ist 41 Jahre der älteste ist 73 Jahre alt. Im Durchschnitt beträgt das Alter 63,3 Jahre.

#### 2. Refraktive Gruppe:

Bei 4 Patienten, davon 3 Männer und 1 Frau wurde ein refraktiver Linsentausch (RLA) vorgenommen. Der jüngste Patient ist 52 Jahre der älteste 70 Jahre alt. Das Durchschnittsalter beträgt 61,50 Jahre (Abb. 36).

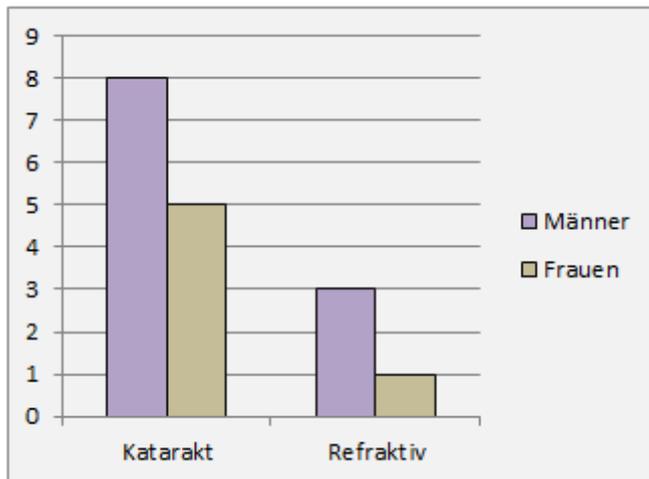


Abbildung 36. Patientenkollektiv trifokale IOL Verteilung

## 5.2.2 Visus und Refraktion (trifokale-IOL)

In der Gruppe der trifokalen-IOL Patienten werden nur die erzielten Ergebnisse für die Refraktion und den Visus ermittelt, ohne die prä-operativen Daten dazu ins Verhältnis zu setzen. Da die Gruppe mit refraktivem Linsenaustausch (RLA) zu klein ist, werden die Ergebnisse der Gesamtgruppe zugeordnet.

### 5.2.2.1 Ergebnisse unkorrigierter binokularer Fern- und Nahvisus

#### 4 Wochen:

- der unkorrigierte monokulare Fernvisus für alle Patienten betrug 0,89 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,40 (minimal).
- der unkorrigierte binokulare Fernvisus für alle Patienten betrug 0,99 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,60 (minimal).
- der unkorrigierte monokulare Nahvisus für alle Patienten betrug 0,91 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,50 (minimal).
- der unkorrigierte binokulare Nahvisus für alle Patienten betrug 1,02 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,70 (minimal).

#### 6 Monate:

- der unkorrigierte monokulare Fernvisus für alle Patienten betrug 0,91 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,40 (minimal).

- der unkorrigierte binokulare Fernvisus für alle Patienten betrug 1,05 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,63 (minimal).
- der unkorrigierte binokulare intermediäre Visus (50 cm) betrug 0,75 (Mittelwert), 1,00 (maximal) und 0,50 (minimal).
- der unkorrigierte monokulare Nahvisus für alle Patienten betrug 0,94 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,50 (minimal).
- der unkorrigierte binokulare Nahvisus für alle Patienten betrug 1,08 (Mittelwert), 1,20 (maximal) und 0,80 (minimal).

### **5.2.2.2 Ergebnisse Refraktion**

*6 Monate*

für die Ferne sph = +0,29 dpt (max: +0,75, min: -0,50), cyl -0,52 dpt (max: -1,00), das sphärische Äquivalent betrug 0,10 dpt.

### **5.2.3 Gewöhnungszeit Trifokale-IOL**

Die Gewöhnungszeit zum guten Vertragen der neuen Optik war unterschiedlich: sofort: 4; nach Stunden: 1; nach Tagen: 4; nach Wochen: 2; nach Monaten: 4.

### **5.2.4 Nebenwirkungen Trifokale-IOL**

Dysphotopsien als Blendung bei Gegenlicht wurden von 8 Patienten beschrieben. Die Störungen wurden als gering bewertet.

### **5.2.5 Brillentrageverhalten Trifokale-IOL**

In Bezug auf das Tragen einer Brille zu den verschiedenen Tätigkeiten kamen nach der OP 10 (58,8%) sehr gut und 5 (29,4%) gut ohne Brille zurecht.

Die Häufigkeit des Brillentragens wurde beschrieben: häufig 1; selten 7, nie 7;

Dabei wird die Brille getragen: beim Autofahren und beim Fernsehen: nie 17;

am PC: immer 1; häufig 3; nie 12; beim Zeitunglesen: immer 1; häufig 1; selten 2; nie 11.

### **5.2.6 P Patientenzufriedenheit Trifokale-IOL**

Von den 17 Patienten nahmen 15 Patienten an der Fragebogenaktion teil.

Die allgemeine Zufriedenheit wurde auf einer Skala von 1 – 10 abgefragt, dabei verteilten sich die Antworten auf 7 = 1; 8 = 2; 9 = 2; 10 = 10

Alle Patienten (100%) würden sich zu dieser Operation mit einer M-IOL erneut entscheiden.

Alle Patienten (100%) empfehlen diese Operation anderen Mitmenschen.

Die Patientenbefragung erfolgte mittels Fragebogen.

## **6 DISKUSSION**

### **6.1 Presbyopie: operative Korrektur – Möglichkeiten**

Bis zum 45. Lebensjahr wird von der bestehenden Akkommodationsfähigkeit profitiert. Auch Fehlsichtige benötigen danach für das Lesen eine zusätzliche refraktive Hilfe, wie eine Lese- oder Gleitsichtbrille. Die Notwendigkeit eine Brille tragen zu müssen, bedeutet für die einzelne Person eine Minderung der Lebensqualität (McDonnell et al. 2003), (Luo et al. 2008). Das empfinden jüngere Presbyope deutlich ausgeprägter als ältere Presbyope. Den Presbyopen zwischen dem 45. und 50. Lebensjahr ist die klare Linse gemeinsam. Die individuellen Unterschiede beziehen sich auf die refraktive Ausgangssituation:

- Brillenträger mit Myopie, Hyperopie und/oder Astigmatismus
- Kontaktlinsenträger mit Myopie, Hyperopie und/oder Astigmatismus,
- Anisometropien mit oder ohne Hilfsmittel,
- Unverträglichkeit bisheriger Kontaktlinsen,
- Zustand nach refraktiver Hornhaut-Chirurgie.

Auch die Hornhaut-Chirurgie mit dem Excimer-Laser bietet seit 20 Jahren verschiedene Verfahren an, um die Presbyopie operativ zu korrigieren. Die ablativen Methoden mit dem Excimer-Laser sind in den letzten Jahren zu einem Standard

mit sehr hoher Präzision und Sicherheit sowie gutem Erfolg geworden (Grabner 2010). Versorgt werden Patienten mit noch erhaltener Akkommodation, also zwischen dem 20. und 45. oder maximal 50. Lebensjahr. Bei Beginn der Presbyopie hat sich hier die Monovision durchgesetzt, bei Verträglichkeit liefert sie eine hohe Zufriedenheit und gute visuelle Ergebnisse (Jain 2001). Braun et al. (2008) belegen die Erfolge in ihrer Studie mit 284 Lasik Patienten. Ebenfalls im Sinne von Monovision wirkt INTRACOR zur Presbyopie-Korrektur mit dem Femtosekundenlaser. Die Korrektur der Presbyopie erfolgt nur am nicht-dominanten Auge bei leichter Hyperopie (+0,5 bis +1 dpt) und einem Astigmatismus bis zu 0,5 dpt oder weniger sowie Presbyopiekorrektur am nicht-dominanten Auge bei Emmetropie. Dieses Verfahren setzte ein großes Investitionsvolumen in die Apparatechnik voraus und zeigte zuletzt für ca. 80-85 % der Behandelten ein gutes Ergebnis, für den Rest aber durchaus auch Visusminderungen, das Verfahren ist nicht reversibel (Holzer et al. 2009). In Gesamtbewertung des begrenzten Wirkungspotentials in Verbindung mit dem Risiko erheblicher Nebenwirkungen empfiehlt die KRC das INTRACOR-Verfahren nicht (Kohnen et al. 2014).

Seit mehreren Jahrzehnten wird versucht mit Hornhaut - Implantaten, den sogenannten Inlays, eine Refraktionsänderung zu bewirken. In den letzten Jahren haben sich Fortschritte in der längerfristigen Verträglichkeit dieser reversiblen Methoden ergeben. Das Kamra Implantat (Dexl et al. 2011) basiert auf der Monovision Methode und nutzt ein künstliches intrastromales Hornhaut - Implantat mit enger Pupille für eine Pseudoakkommodation. Als Übergang vom 45. bis zum 50. bzw. 55. Lebensjahr könnte diese reversible Methode ursprünglich Emmetropen Patienten helfen. Allerdings kommt auch hier zum Ausdruck, dass alle bisherigen Presbyopie refraktiven Methoden einen Kompromiss darstellen.

Das Presby-LASIK-Verfahren (Schwindt) und das SupraCor-LASIK-Verfahren (Bausch+Lomb) modulieren beidseits eine Multifokalität in die Hornhaut-Oberfläche. Sie ermöglichen damit beidseits ein Sehen in die Nähe ohne Brille. Beide Verfahren scheinen eine bessere Sehschärfe zu liefern, bedingen aber auch die bekannten Nebenwirkungen der Multifokalität (Holland et al. 2012) und bei einigen Patienten eine Reduzierung der Sehschärfe in der Ferne.

Fehlfunktionen der Linse bei Transparenz und Absorption werden operativ mit der Linsen-Chirurgie therapiert.

In den Anfangsjahren galt für die Katarakt-Chirurgie als Ziel, die Transparenz wieder herzustellen. Post-operative Ametropien wurden mittels Hilfsmitteln wie Brille oder Kontaktlinse korrigiert. Bisher kann die Akkommodation der natürlichen Linse aber noch nicht wieder hergestellt werden.

Die Kataraktoperation ist der weltweit am häufigsten durchgeführte operative Eingriff (Kohnen et al. 2009) und gehört gleichzeitig in die Gruppe der Eingriffe mit den geringsten Komplikationen (Powe et al. 1994). In den letzten Jahren hat die Kataraktchirurgie eine weitere enorme Entwicklung erfahren. Bedeutende Schritte für die Entwicklung der Katarakt-Chirurgie waren die Erfindung der künstlichen Intraokularlinse (IOL) aus PMMA von Sir Harold Ridley im Jahre 1949 (Ridley 1952), die Einführung der Linsenkernzertrümmerung durch Ultraschall von Charles Kelman (1967), die Kleinschnittführung mit Reduzierung des postoperativen Astigmatismus (Burgansky et al. 2002) und die hochpräzise Biometrie mit den exakten Linsenkraftberechnungsformeln (Haigis 1995).

Besonders verbesserte operative Techniken wie die Phakoemulsifikation (Brauweiler 1996), (Gimbel 1991) und die Kleinschnitttechniken mit der Implantation von faltbaren Intraokularlinsen (Fabian und Maier 2010) haben die Katarakt-Chirurgie zur Standardtechnik für Patienten um das 70. Lebensjahr werden lassen.

Die Indikationen zur IOL-Implantation haben sich erweitert, so dass neben der klassischen Indikation der Implantation von Standard-Linsen zur Aphakiekorrektur bei Kataraktchirurgie (therapeutische Kataraktchirurgie) heute auch Eingriffe aus refraktiven Gründen als refraktiver Linsen-Austausch (RLA) mit Sonder-Linsen durchgeführt werden (Kohnen et al. 2008). Die natürliche Augenlinse des Patienten wird durch eine künstliche Linse ersetzt. Hier gilt als primäres Ziel die Erhaltung des klaren und scharfen Sehens. Hohe Ansprüche der Patienten fordern aber auch einen hohen Grad an Brillenunabhängigkeit zumindest in einer Entfernung.

Die erhöhten Anforderungen an das Sehen haben dazu geführt, dass eine Katarakt-Chirurgie heute bei viel geringeren Beschwerden als früher indiziert sein kann.

Nach der Implantation einer Standard IOL mit sphärischer monofokaler Optik kann allerdings nur in eine Entfernung ohne Brille scharf gesehen werden. Zumeist wird das Sehen ohne Brille in die Ferne gewünscht. Ein restlicher bestehender Astigmatismus und die Presbyopie müssen dann mit Hilfsmitteln wie Brille ausgeglichen werden.

Naheliegend ist der Wunsch mit einer Pseudophakie auch das Sehen in der Nähe ohne Hilfsmittel zu korrigieren.

Eine der ältesten Methoden der Korrektur der Sehschärfe in die Ferne und den Nahbereich bei Pseudophakie ist die Methode der Monovision, beschrieben als Anisometropie von Börner und Trascher (1984). Greenbaum (2002) kann die ersten Ergebnisse bei der pseudophaken Monovision nachweisen. Finkelman et al. (2009), Handa et al. (2004) können eine sehr gute Patientenzufriedenheit nach Monovision feststellen. Dabei wird eine Zielrefraktion für das ferndominante Auge von  $\pm 0$  und das Nahauge von bis zu  $-2,0$  dpt angestrebt. Diese Methode ermöglicht eine sehr gute Sicht im Fern- und im Nahbereich. Die pseudophake Monovision wird seit Jahren in den USA bevorzugt. Eine Umfrage der American Society of Cataract und Refraktive Surgery (Leaming 2004) im Jahr 2003 zeigte, dass in den Vereinigten Staaten 86% der Chirurgen Monovision oder modifizierte Monovision und nur 13% die multifokale „Array“ IOL bevorzugten. Bei der Umfrage in 2007 empfahlen 61% der Mitglieder Monovision und 17,5 % eine M-IOL (Pick et al. 2008).

Die Vorteile der pseudophaken Monovision liegen darin, dass ein sehr hoher Grad der Brillenunabhängigkeit erreicht werden kann (Finkelman et al. 2009). Im Gegensatz zu den bisherigen multifokalen IOL treten hier keine Kontrastverminderungen und/oder Blendungserscheinungen auf. Außerdem wird direkt am 1.-2. Tag nach der Operation ein scharfes Sehen erzielt. Eine längere Gewöhnungszeit wie bei den M-IOL üblich entfällt.

Dass die Methode der Monovision aber auch eine Kompromisslösung bleibt, kommt durch die möglichen Einschränkungen und Nachteile zum Ausdruck. Als Einschränkung gilt, dass hierfür nur Menschen in Frage kommen, die beidseits eine volle Sehschärfe erzielen können. Hinzu kommt, dass nicht jeder die Methode der Monovision vertragen bzw. akzeptieren kann.

Die eigentlich notwendige Korrektur für das Nahauge in 0,33 m mit  $+2,50$  bedeutet für die meisten Menschen eine zu große Anisometropie, wenn das Ferndominante Auge auf  $\pm 0$  ausgerichtet wird. Somit haben sich drei Zielrefraktionen herauskristallisiert:

- die klassische Monovision:  
für das ferndominante Auge -0,25, für das nahdominante Auge -1,75 dpt.
- die milde Monovision:  
für das ferndominante Auge  $\pm 0,00$ , für das nahdominante Auge -1,25 dpt,
- die mini Monovision:  
für das ferndominante Auge +0.00, für das nahdominante Auge - 0,75 dpt.

Die Wahl der geringeren Additionswerte bei der milden Monovision reduziert zwar die möglichen Nebenwirkungen, aber der Nahvisus ist ebenfalls eingeschränkt. Das Tragen einer Lesebrille ist häufig notwendig.

Die präoperativ zu fällende Entscheidung für eine Monovision ist nicht nur alleine an den Werten der Zielrefraktion auszumachen. Nach einer monofokalen IOL Implantation sind in bestimmten Fällen größere Pseudoakkommodationen feststellbar. Dies ist zu beobachten und von Vorteil wenn der Patient eine leichte Myopie und einen mäßigen einfachen myopen Astigmatismus aufweist (Huber 1981). Auch eine kleine Pupillenweite kann wesentlich durch eine höhere Schärfentiefe zu einer Pseudoakkommodation beitragen (Kawamorita et al. 2010). Bestand schon präoperativ eine Anisometropie so kann davon ausgegangen werden, dass auch postoperativ eine Anisometropie im Sinne für eine Monovision vertragen und genutzt werden kann.

In der Altersgruppe mit über 20 Jahre „Erfahrung“ mit der Presbyopie und Katarakt ist der Gewinn des klaren und scharfen Sehens ein Erfolg. Die Brillenunabhängigkeit ist ein zusätzlicher Gewinn. Somit ist auch verständlich, dass eine hohe Zufriedenheit auch mit der milden Monovision Methode besteht.

Diese ist bei Vorliegen von Ametropien die Hauptindikation (Kohnen et al. 2008). Soll mit der refraktiven Linsen-Chirurgie gleichzeitig beidseits die Transparenz und die Presbyopie korrigiert werden, müssen multifokale IOL implantiert werden. Multifokallinsen (M-IOL) werden seit Ende der 80er Jahre (Auffahrt et al. 2008) im Rahmen der Kataraktchirurgie implantiert (Pearce 1996). Diese Linsen besitzen eine Optik, die basierend auf dem Prinzip der Lichtbeugung (Diffraktion) oder Lichtbrechung (Refraktion) gleichzeitig mehrere Brennpunkte aufweisen und dadurch eine gute Sehschärfe in unterschiedlichen Entfernungen ohne zusätzliche Brillenkorrektur erlauben. Die ersten M-IOL waren aus PMMA und vom diffraktivem

Typ. Sie mussten durch 5,5 mm Inzisionen implantiert werden und induzierten zumeist einen unerwünschten Astigmatismus (Auffahrt et al. 2008).

Die M-IOL erlaubt eine Pseudoakkommodation durch das Erzeugen mehrerer Bilder auf der Netzhaut (Hunold et al. 1993). In den letzten Jahren sind die M-IOL so weiterentwickelt worden, dass photopische Phänomene und herabgesetztes Kontrastsehvermögen in ihrer Ausprägung reduziert werden konnten (Holzer et al. 2006). Das Prinzip der Multifokalität wird heute in der Regel durch faltbare, asphärische, refraktive und/ oder diffraktiven IOL (Auffarth und Apple 2001) umgesetzt. Diese modernen faltbaren MIOL werden neben einer reinen Aphakiekorrektur auch für den RLA eingesetzt (Auffahrt und Dick 2001). Bei guter Selektion und Aufklärung ist sie für diese Patienten die IOL der Wahl. Die Implantation einer MIOL hat auch eine positive Auswirkung auf die Lebensqualität der Patienten (Alio et al. 2011). Allein in Deutschland wurden im Jahr 2011 4738 MIOL implantiert (Wenzel et al. 2011).

Bisher wurden zumeist die zuvor beschriebenen zwei Linsentypen eingesetzt, um die Akkommodation im Sinne der dynamischen Brechkraftänderung zu erzeugen. Die Funktion einer akkommodativen ein Stück IOL basiert auf der Verschiebung der Linse im Auge durch eine Ziliarkörperkontraktion. Die Linsenoptik wird auch durch den erhöhten Glaskörperdruck nach vorne verlagert (Dick et al. 2005). Ein anderes Prinzip basiert auf der Verschiebung zweier Optiken gegeneinander. Auch hier überträgt der Ziliarkörper durch seine Kontraktion die Kraft über die Zonulafasern auf die Linsenkapsel und bewirkt die Abstandänderung der beiden Linsen gegeneinander. Diese Linsen haben einen sehr flexiblen Übergang zwischen Optik und Haptik, die Nachstarrate ist hoch und der Akkommodationserfolg nicht ausreichend, und es ist fraglich ob überhaupt noch vorhanden (Menapace 2005).

Schließlich kann eine Rest-Pseudoakkommodation ca 1 bis 1,50 dpt an Nahkorrektur erhalten bleiben. Aber auch mit diesem Linsentyp wird nur ein Kompromiss zur Presbyopie-Korrektur erzielt.

Trotz der Möglichkeiten mit den MIOL haben sie bisher erst einen Anteil von 1-2 % an der Linsen-Chirurgie erzielt. Mit der Einführung von sogenannten trifokalen-IOL im Jahr 2012 scheint sich das geändert zu haben. Die trifokale Intraokularlinse AT LISA tri 839MP gehört einer neuen Generation multifokaler, besser trifokaler IOL an. Ihr innovatives Design sorgt für eine asymmetrische Lichtverteilung zwischen den

drei Fokuspunkten und hohe Lichtdurchlässigkeit. So bleibt die Kontrastempfindlichkeit nur gering reduziert, während gleichzeitig störende optische Phänomene weitestgehend vermieden werden. Sie kann zusätzlich mit einer Intermediäraddition von +1,66 Dioptrie im Vergleich zu anderen IOL eine bessere Sehkraft im mittleren Entfernungsbereich ermöglichen (Wehner 2012).

## **6.2 Monovision Ergebnisse**

Die sehr guten Ergebnisse unserer Studie stehen in Korrelation mit einer Vielzahl an in der ophthalmologischen Fachliteratur veröffentlichten Studien anderer Arbeitsgruppen. Barrett (2012) bestätigt den Platz der Monovision als Lösung zur Presbyopie Korrektur. Er betrachtet Monovision als klassische musikalische Komposition, die in Bezug auf Rhythmus, Melodie, Ton und Harmonie beschrieben werden kann.

Einer der wichtigsten Faktoren bei den Ausschlusskriterien ist die richtige Patienten Auswahl. Patienten, die sich für die Monovision Methode zur Verbesserung der Sehschärfe in der Ferne und dem Presbyopie Ausgleich im Nahbereich entscheiden, egal ob bei Katarakt oder RLA, müssen über die Kompromisse der Methode aufgeklärt sein. Gut aufgeklärte Patienten, also mit einer realistischen Erwartungshaltung bewundern das postoperative Ergebnis. Die wenigen Patienten, die nicht zufrieden sind, sind diejenigen, die viel mehr Erwartungen gehabt haben als die Operation liefern könnte (Cummings und Stodulka 2010).

Einschränkungen für die Auswahl der Patienten in unserer Studie war eine Hornhautverkrümmung größer als 1,75 dpt. 2 Patienten mit einem Astigmatismus  $\geq 1,5$  haben sich für die Monovision Methode entschieden und wurden auf ihren ausdrücklichen Wunsch in die Studie aufgenommen. Ito et al. (2009) betonen die Wichtigkeit der Selektionskriterien und strengen Auswahl für Monovision Patienten: Hornhautastigmatismus kleiner als 1,50 dpt, Exophorie  $< 10,0$  Prismendioptrien, geringe okuläre Dominanz, kleine Pupillendurchmesser. In der Studie von Finkelman (2009) sind kaum Einschränkungen für die Aufnahme der Patienten für pseudophake Monovision, außer Astigmatismus  $\geq 1,5$  dpt. erwähnt. Greenbaum (2002) hat fast keine Einschränkungen für die Auswahl der Patienten, mit Ausnahme Astigmatismus  $\geq 2,0$  dpt beschrieben.

Die sorgfältige Patientenberatung, die präzise IOL Berechnung und die präoperative Vorbereitung sind Bedingung für den Erfolg der Monovision.

Über die Bedeutung der Augendominanz wird immer noch unterschiedlich diskutiert. Eine stark ausgeprägte okulare Dominanz ist nicht von Vorteil für die Monovision Patienten. Bei einer nicht stark ausgeprägten Dominanz können die visuellen Signale reibungslos durch das Gehirn verarbeitet werden. Eine zu sehr ausgeprägte okulare Dominanz löst eine insuffiziente Suppression aus. Dies resultiert möglicherweise in einer nicht optimalen postoperativen Sehschärfe.

Bei der Auswahl des dominanten Auges haben wir uns für die konventionelle Augendominanz entschieden. Das dominante Auge wurde für die Ferne auf 0 bis -0,25 dpt korrigiert und das nicht dominante Auge auf  $\pm 0,5$  bis -2,5 dpt für die Nähe. Greenbaum (2002) bevorzugt die Korrektur des dominanten Auges für die Ferne. Aus der Literatur ist die sogenannte Cross-Monovision bekannt, in dem das dominante Auge für die Nahsicht korrigiert wird und das nicht dominante Auge für die Ferne. Ito und Shimizu(2009) haben die okulare Dominanz und die Zufriedenheit der Patienten nach Monovision durch IOL-Implantation beschrieben. Der Erfolg der Monovision und die Zufriedenheit der Patienten nach Monovision sind deutlich durch die Amplitude der okularen Dominanz beeinflusst (Handa et al. 2004).

In der Literatur und in der Praxis sind mehrere Tests zur Bestimmung der Augendominanz bekannt: der Visierversuch nach Rosenbach (1903), der Lochtest (Hole-in –the –Card –Test), der Vier Lichter Test nach Worth (Methling 2013). Wir haben neben dem Handfixationstest obligatorisch vor der Kontaktlinsensimulation auch den Vernebelungstest mit Plus Gläsern durchgeführt.

Die Zielrefraktion spielt eine große Rolle bei der Berechnung der postoperativen Emmetropie an dem fern dominanten Auge. Hier wird am wenigsten ein Kompromiss akzeptiert.

In unserer Studie liegt der Mittelwert des sphärischen Äquivalents am Fernauge postoperativ bei  $-0,21 \pm 0,39$ . Der Mittelwert des sphärischen Äquivalents am Nahauge postoperativ beträgt  $-1,66 \pm 0,67$ .

In der RLA Patienten-Gruppe liegt der Mittelwert des sphärischen Äquivalents am Nahauge postoperativ bei  $-1,75 \pm 0,64$  (MW  $\pm$  SA) und am Fernauge bei  $+ 0,01 \pm 0,20$  (MW  $\pm$  SA).

In der Katarakt Patienten-Gruppe liegt der Mittelwert des sphärischen Äquivalents am Nahauge postoperativ bei  $-1,64 \pm 0,68$  (MW  $\pm$  SA) und am Fernauge bei  $-0,27 \pm 0,40$  (MW  $\pm$  SA). Unsere Studienenergebnisse der Zielanisometropie von  $-1,64$  dpt (Katarakt) und  $-1,75$  dpt (RLA) korrelieren hervorragend mit den Ergebnisse anderer Studien, erscheinen als optimal und sind entscheidend für die Patientenzufriedenheit. In der Studie von Hayashi et al. (2011) befindet sich die optimale Zielanisometropie bei Patienten mit bilateraler Pseudophakie und Monovision bei  $-1,50$  bis  $-2,00$  dpt. Eine Anisometropie von  $-1,50$  dpt wird als optimal für eine erfolgreiche Monovision empfohlen. Sie ermöglicht eine gute binokulare Sehschärfe im Fern- und Nahbereich und ein gutes Stereosehen von 100 Bogensekunden.

In der Studie von Ito et al. (2009) befindet sich das sphärische Äquivalent der Anisometropie bei  $-2,27$  dpt, in der Studie von Finkelman (2009) liegt die durchschnittliche Anisometropie bei  $-1,16$  dpt.

Die Visusentwicklung in der Monovision Gruppe zeigt eine optimale Entwicklung von VF bin cc präop  $=0,65 \pm 0,21$  auf VF bin sc  $= 0,94 \pm 0,15$ . 62,2% der Patienten haben postoperativ eine unkorrigierte binokulare Sehschärfe in der Ferne von  $\geq 1,0$ .

LKW Fahrer waren in die Studie nicht aufgenommen. Studienteilnehmer, die aktiv Auto fahren und viel Auto in der Nacht fahren waren über die Notwendigkeit einer Fernbrille aufgeklärt. Eine Überprüfung der Nachtfahrtauglichkeit mit Mesotest bei mono- und multifokaler Pseudophakie in der Studie von Großkopf und Eisenmann (1996), zeigt eine eingeschränkte Nachtfahrtauglichkeit bei 27% der Patienten mit multifokaler und 35% der Patienten mit monofokaler IOL. Patienten die häufig nachts Autofahren müssen darüber informiert sein.

Die Ergebnisse unserer Studie sind vergleichbar mit Ergebnissen anderer Studien (Xiao et al. 2011). In der Studie von Greenbaum (2002) erreichen 120 Kataraktpatienten und 20 refraktive Patienten mit Ametropien von  $+8,00$  bis  $-14,00$  D einen unkorrigierten Fernvisus von 20/30\* oder besser (92%), das sind 91% der Katarakt Patienten und 95% der Refraktiven Patienten.

In der Studie von Ito et al. (2009) erreichen 82 Patienten im Alter von 49-87 Jahren mit pseudophaker Monovision einen binokularen unkorrigierten Visus von 0,10 logMAR\* oder besser in allen Entfernungen.

\* Visusäquivalente im Anhang B

Finkelman et al. (2009) untersuchen 52 Augen von 26 Patienten mit pseudophaker Monovision. Die nicht korrigierte Sehschärfe in der Ferne bei 96% der Patienten beträgt mindestens 20/30 \*, 92% der Patienten haben in der Nähe einen unkorrigierten Visus von J4 \* oder besser. Marques et al. (2009) untersuchten prospektiv 38 Patienten mit pseudophaker Monovision. Alle Patienten erreichten einen unkorrigierten Fernvisus von 20/40\* oder besser und einen unkorrigierten Nahvisus von J3 \* oder besser und einen intermediären Visus von J3 \* in 90%. Die objektive Bewertung des Sehens in der Ferne und im Nahbereich korreliert sehr gut mit der subjektiven Patienteneinschätzung der Qualität des Sehens. Unsere Studienkandidaten haben durch die Entscheidung für die Monovision eine hohe Brillenunabhängigkeit im Alltag erreicht. 25% der Patienten bezeichnen sich nach der Operation als brillenunabhängig. Die Brillenunabhängigkeiten bedeuten für viele Patienten eine Brille nur bei Bedarf zu tragen. 30,76 % der Patienten brauchen eine Brille zum Autofahren, 53,8% brauchen eine Brille zum Lesen und nur 3,8% eine Brille am PC. Die Notwendigkeit des Tragens einer Brille beurteilen die Patienten ganz unterschiedlich: kein einziger Patient braucht eine Brille „immer“, 51,92% der Patienten brauchen die Brille „selten“; 15,38% brauchen „häufig“ eine Brille, 38,46% der Patienten brauchen „nie“ eine Brille. Außerdem besitzen 25% der Patienten eine Brille, tragen aber im Alltag keine. Es stellt sich heraus, dass der subjektive Erfolg nicht immer mit dem besten dezimalen Visus korreliert. In der retrospektiven Studie von Boerner und Thrasher (1984) wurde die postoperative Verwendung von Brillen bei 100 Patienten mit pseudophaken Monovision ausgewertet. Die Zahl der Patienten die eine bifokale Brille präoperativ trugen sank um die Hälfte postoperativ. Nur 11% der Patienten trugen eine Brille aus Gewohnheit, obwohl sie subjektiv eingeschätzt keine Korrektur nach der Operation benötigten. 25 % der Patienten in der Studie von Finkelman (2009) bezeichnen sich als brillenunabhängig. Die Patientenzufriedenheit in unserer Studie korreliert mit der Brillenunabhängigkeit und ist nicht vom Alter abhängig. Die jüngeren Patienten, in der Regel Patienten der RLA Gruppe sind genauso zufrieden wie die älteren Teilnehmer.

\* *Visusäquivalente im Anhang B*

86,5% aller Teilnehmer würden diese Art der OP weiter empfehlen und sich wieder für diese Art OP entscheiden.

Die Patientenzufriedenheit ist sehr hoch mit einem Wert von  $9,27 \pm 0,13$  in einer Skala der Auswertung der Patientenzufriedenheit von 1- 10.

Der Erfolg der Monovision in unserer Studie korreliert und ist besser als die Ergebnisse anderer Studien: Die Patientenzufriedenheit der Monovision Patienten in der Studie von Marques liegt bei 97,3%, in der Studie von Shimizu (2011) liegt sie durchschnittlich bei 81%, und korreliert mit dem Alter, diese Patientenzufriedenheit beträgt 64% bei den jüngeren als 60 Jahre, 87% in dem Alter zwischen 60 und 70 Jahren und 94% bei den über 70 jährigen. Greenbaum (2002) belegt 90% Akzeptanz in der Katarakt-Gruppe und 100% in der „clear lens“ Gruppe.

Einige visuelle Funktionen wie Stereosehen können nach Monovision Korrektur verringert sein (Evans 2007). Das Stereosehen sinkt um 37“ Bogensekunden im Vergleich zum binokularen Zustand. Die Ergebnisse der Untersuchung des Stereosehens zeigen eine Korrelation mit der Anisometropie (Kohnen 2011).

Bei einer bifokalen Kontaktlinse sinkt das Stereosehen um 50“ Bogensekunden, bei einer Monofokalen um 200“. Bei Patienten mit erfolgloser Monovision sinkt der Wert um 50-62“ stärker als bei erfolgreicher Monovision (Kirschen et al.1999). Diese Funktionen sind vor allem von der postoperativen Anisometropie abhängig.

Ito et al. (2009) untersuchten das Stereosehen mit Titmus Test bei 82 Patienten mit pseudophaker Monovision (Mittelwert der Anisometropie -2,27 dpt). 87% der Patienten liegen im normalen Bereich (100 Bodensekunden). Gutes Stereosehen und gute Kontrastempfindlichkeit wurden beibehalten.

In unserer Studie ist die Korrelation Stereosehen mit dem sphärischen Äquivalent nicht signifikant ( $p=0,137$ ). Die Hälfte der befragten Patienten (50%) haben alle Figuren im Lang Test erkannt, 35,4% der befragten haben Lang Test zum Teil erkannt, nur 11,5 % der Befragten haben keine Figur im Lang Test erkannt. Unsere Studienkandidaten kommen sehr gut zurecht mit Tätigkeiten in ihrem alltäglichen Ablauf und tragen nur gelegentlich eine Brille. Außerdem stellten wir fest, dass das herabgesetzte Stereosehen keinen Einfluss auf die Zufriedenheit der Patienten mit dem Operationsergebnis hat.

Die engere Pupillengröße unterstützt die Tiefenschärfe auf dem nicht dominanten Auge und somit die Monovision. Der Pupillendurchmesser nimmt im Alter ab, so dass

dieser Ansatz von Vorteil bei den älteren Patienten ist. Kamarowita (2010) untersucht in einem Labormodel den Einfluss der Pupillengröße auf die Sehschärfe bei pseudophaker Monovision. Für die Simulation wird eine modifiziertes Liou-Brennan-Modell Auge mit einer Eintrittspupille von 2,0, 2,5, 3,0 und 4,0 mm Durchmesser verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass ein kleinerer Pupillendurchmesser und eine zunehmende Myopie die Sehschärfe in der Nähe verbessern kann. Eine Eintrittspupille von 2,5 mm und eine Fehlsichtigkeit von -1,50 Dioptrien erscheinen optimal.

Unsere Studienergebnisse unterstützen eine Korrelation zwischen dem unkorrigierten binokularen Nahvisus und einer kleinen Pupillenweite. Der Nahvisus unkorrigiert binokular war signifikant besser bei einer kleinen Pupille von 2,5-3,0mm.

#### *Sonstige Einflussfaktoren auf den Erfolg mit Monovision*

Schlechte Voraussetzungen für den Erfolg sind psychologische Faktoren wie neurotische Fehlneigungen und Personen die mit Angst und Unsicherheiten behaftet sind (Kohnen 2011).

In einer Studie mit 67 Monovision Kontaktlinsen Patienten erstellen Du Toit et al. (1998) durch einen Test das psychische und visuelle Profil des erfolgreichen Monovision Trägers.

Diese Studie ist eine der wenigen die auf psychologische Faktoren einen Wert legt. Der Erfolg wurde in 68% der Fälle nur am Persönlichkeitsfaktor gemessen. Andere Faktoren (Alter, Geschlecht, Pupillengröße, Motivation, Selbstwirksamkeit, Refraktionsfehler) sind in der Studie nicht berücksichtigt. Die zufriedenen Kandidaten mit einer ausgeprägten Persönlichkeitsstärke sind positiv, gewissenhaft und kooperativ, im Gegensatz zu den unzufriedenen Kandidaten, die negativ, unzuverlässig und emotional labil erscheinen.

### **6.3 Monovision Modifikationen und Langzeitergebnisse**

Die Nachteile der Monovision wegen der nur einseitigen Fern- und Nahsehschärfe und die Nachteile der multifokalen IOL mit dem reduzierten Intermediärvisus

versuchen die Ophthalmochirurgen mit unterschiedlichen Anpassungen der gewählten monofokalen und multifokalen IOL auszugleichen.

Monovision Modifikationen um die Brillenunabhängigkeit zu ermöglichen sind:

*Hybrid Monovision mit MIOL* – eine monofokale IOL in das dominante Auge und eine diffractive MIOL in das nichtdominante Auge (Shimizu 2011) bei Patienten jünger als 60 Jahre. In der Studie von Lida et al. (2011) wurde das dominante Auge mit einer monofokalen Linse für die Ferne und das nichtdominante Auge mit der multifokalen Linse für die Nähe korrigiert. Die Zufriedenheit der Patienten liegt bei 85 %, das Stereosehen ist bei 62,5% der Patienten erhalten. 18,8% der Patienten sind brillenunabhängig.

*Modifizierte Monovision (customized) mit unterschiedlichen MIOL*

In beide Augen wird eine multifokale IOL implantiert, das dominante Auge wird für die Ferne korrigiert, und das nichtdominante Auge mit -1,0 dpt Zielrefraktion für die Nähe (Shimizu 2011).

*Langzeit Studien*

In der 5 Jahre Langzeit Studie (Ito et al. 2012) mit 54 Patienten, Durchschnittsalter 74.7 Jahren, lag das sphärische Äquivalent bei - 2,13 dpt, 98% der Patienten erreichten einen Fernvisus von 0.10 logMAR \*, 41% der Patienten trugen 1 Jahr nach der Operation eine Brille und nur 22% trugen eine Brille 5 Jahre nach der Operation. Die Langzeitergebnisse der Monovision bescheinigen eine Verbesserung der Patientenzufriedenheit im Verlauf.

\* *Visusäquivalente im Anhang B*

#### **6.4 Trifokale - IOL Ergebnisse**

Zusätzlich zum eigentlichen Thema der Monovision sollen wegen der Aktualität Ergebnisse zur Implantation von trifokalen-IOL vergleichend hinzugezogen werden. Da die Korrektur der Alterssichtigkeit immer noch ein Kompromiss ist, muss sehr individuell beraten werden. Dabei gehen der unbedingte oder der nur relative Wunsch nach Brillenunabhängigkeit sowie die Nebenwirkungen der vorgesehenen Korrektur in die Entscheidung mit ein.

Bisher zeigten die mehrfokalen IOL gute bis befriedigende Visusergebnisse für die Ferne und Nähe, dabei war die Nähe mit zumeist scharfem Sehen in 30 cm etwas zu nah eingestellt und der intermediäre Bereich vernachlässigt.

Seit 2012 gibt es eine Fortentwicklung des diffraktiven optischen Prinzips für diese mehrfokalen 3-Zonen IOL (trifokalen-IOL). Die Anzahl der optischen Zonen wurde verringert, die Anordnung der optischen Zonen verändert (Wehner 2012). Dies sollte die Sehschärfe im intermediären Bereich verbessern und die Nebenwirkungen verringern. Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend, der Defokuskurvenverlauf im intermediären Bereich ist stabiler im Vergleich zu den „klassischen“ diffraktiven MIOL.

Die in diese Untersuchung einbezogenen ersten 17 Patienten mit mehrfokaler 3-Zonen IOL bestätigen deutlich diese Erwartungen. Für die Refraktion bestanden präoperative Werte für die Sphäre: -0,77 dpt (Mittelwert), bei einem Bereich von +2,00 bis -8,25 dpt; postoperative Werte für die Sphäre: 0,29 dpt (Mittelwert), bei einem Bereich von +0,75 bis -0,50 dpt.

Nachdem die Berechnungsgrundlage für die Zielrefraktion der ersten Hälfte der Ergebnisse angepasst wurde, waren die Werte für die Sphäre im Bereich von + 0,25 dpt bis -0,50 dpt. Damit wurde das für diese trifokale IOL so wichtige Ziel für 100 % der Patienten mit  $\pm 0,50$  dpt erreicht.

Basierend auf diesen guten Werten für die Zielrefraktion waren die Visuswerte ohne Korrektur: Der Fernvisus unkorrigiert monokular: 0,91 (Mittelwert) von 0,40 bis 1,20. Der Fernvisus unkorrigiert binokular: 1,05 (Mittelwert) von 0,63 bis 1,20.

Damit werden die Visuswerte erreicht bzw. übertroffen wie sie für andere mehrfokale IOL berichtet wurden. Auch im Vergleich zu Daten einer anderen mehrfokalen 3-Zonen IOL werden die Ergebnisse übertroffen. In der Studie von Sheppard et al. (2013) mit bilateraler Implantation einer trifokalen Finevision IOL beträgt der Fernvisus monokular unkorrigiert 0,19 logMAR\*, korrigiert 0,08 logMAR und der Fernvisus binokular korrigiert beträgt 0,06 logMAR\*.

Der monokulare unkorrigierte Visus unserer Studienteilnehmer für die Ferne betrug bei 27 Augen (82%)  $\geq 0,8$  ( $\geq 20/25$ ) und bei allen 33 Augen (100 %)  $\geq 0,5$  ( $\geq 20/40$ ) Augen. Der intermediäre Visus unkorrigiert binokular betrug 0,75 (Mittelwert), von 0,50 bis 1,00. Der Nahvisus unkorrigiert monokular betrug 0,94 (Mittelwert) von 0,50 bis 1,20. Der Nahvisus unkorrigiert binokular betrug 1,08 (Mittelwert) von 0,80 bis

1,20. Auch für den Nahvisus werden gleichwertige bzw. bessere Visusergebnisse als in den bisherigen Veröffentlichungen erzielt.

In der Studie von Vryghem und Heireman (2013) mit der Implantation der trifokalen Finevision IOL beträgt der unkorrigierte Fernvisus monokular 0,06 logMar\* und binokular 0,04 logMar\*, der unkorrigierte binokulare Nahvisus beträgt 0,02 logMar\*, der intermediäre unkorrigierte Visus 0.10 logMar\*.

Die Ergebnisse unserer Studie werden auch durch die Aussagen der Patienten bestätigt: 17 Patienten (100 %) brauchen keine Brille beim Autofahren und beim Fernsehen, 1 Patient benötigt eine Brille am PC, 11 Patienten brauchen beim Lesen „nie“, 2 „selten“, 1 „häufig“, und 1 „immer“ eine Brille.

Auffällig ist aber dabei, dass der Visus für die Ferne genauso gut wie für die Nähe ist. Es scheint, dass die Kontrastverhältnisse und die Beleuchtung im Alltag zu Hause etwas schlechter als unter Testbedingungen sind.

Allerdings werden die guten Messwerte durch Aussagen bestätigt, jeder würde die Operation erneut vornehmen lassen, alle empfehlen aktiv diese OP anderen Menschen weiter. Die Patientenzufriedenheit ist sehr hoch 9,4 auf der Zufriedenheitsskala von 1 – 10 stimmten 10 für 10, 2 für 9, 2 für 8 und 1 für 7.

Hiermit wird erstmals für mehrfokale IOL ein Ergebnis erzielt, das den Ansprüchen an diese Versprechungen gerecht wird und deutlich weniger Nebenwirkungen zeigt als bisherige mehrfokale IOL.

\* *Visusäquivalente im Anhang B*

## **6.5 Monovision versus mehrfokale IOL**

Die moderne Ophthalmochirurgie sucht immer wieder nach neuen Lösungen für den Refraktionsausgleich und die Presbyopiekorrektur nach Katarakt OP oder refraktivem Linsenaustausch. Die bilaterale multifokale IOL sowie die konventionelle monofokale pseudophake Monovision ermöglichen eine hohe Brillenunabhängigkeit und eine Verbesserung der Lebensqualität der Patienten. Das belegen Zhang et al. (2011) in einer Studie mit 22 Katarakt Patienten mit einer bilateralen MIOL Implantation (Acrysof Restor SN60D3) und 21 Patienten mit einer Monovision mit einer

monofokalen (Acrysof SN60WF) IOL. Es wird der unkorrigierte Fern-, Intermediär- und Nahvisus nach 3 Monaten postoperativ ausgewertet, das Stereosehen, die Brillenunabhängigkeit, das subjektive visuelle Empfinden und die Patientenzufriedenheit, die prä- und postoperative Lebensqualität wird mittels Fragebogen (NEI VFQ-25) beurteilt. Der unkorrigierte Fernvisus und der unkorrigierte Nahvisus nach 3 Monaten sind signifikant besser in beiden Gruppen. In beiden Gruppen gibt es eine deutliche Verbesserung postoperativ.

In einer weiteren Studie (Zhang and al. 2011) werden 145 Patienten mit bilateraler Katarakt und MIOL Implantation (AcrySof ReSTOR SN60D3) und mit monofokaler IOL (AcrySof SN60WF) für Monovision verglichen. Monovision Patienten erreichen einen Fern- und Nahvisus, der vergleichbar ist mit dem Visus bei bilateraler multifokal IOL Implantation ohne störende visuelle Symptome zu bemerken, die mit der M-IOL verbunden sind. Monovision Patienten hatten einen deutlich besseren intermediären Visus und weniger Schwierigkeiten am PC ohne Brille.

In einer Vergleichsstudie haben Patienten mit pseudophaker Monovision mit monofokaler IOL (n=38) eine bessere Sehschärfe und Lesegeschwindigkeit im Nahbereich wie Patienten (n=22) mit M-IOL (Ito und Shimizu 2009).

In der Studie von Chen und Chen (2011) wird Monovision mit monofokaler Acry Sof IOL in der mini Monovision Formel mit MIOL ReSTOR verglichen. Trotz eines höheren Grades der postoperativen Brillenunabhängigkeit bei M-IOL - Visus 20/30\*, Nahvisus J3\* ohne Brille - ist die Monovision eine sehr gute Option für Patienten, die brillenunabhängig sein wollen und sich die MIOL ReSTOR nicht leisten können.

In unserer Studie ist der unkorrigierte binokulare Visus für die Ferne und in der Nähe, die Patientenzufriedenheit und Akzeptanz sowie die Brillenunabhängigkeit sehr gut in beiden Gruppen (Monovision und in der trifokalen IOL Gruppe).

Mit unseren Ergebnissen wird belegt, dass die Monovision für den ausgewählten Patienten-Bereich auch mit einer etwas höheren Addition von +1,75 eine sehr gute Akzeptanz sowohl für den erzielten Visus als auch mit der Zufriedenheit der Patienten erreichen kann. Die wichtigste Voraussetzung für die Monovision Selektion ist die genaue Aufklärung und die Erstellung der Patientenprofile (Maloney 2004) auch wenn die Kontaktlinsensimulation und das Aufklärungsgespräch viel Zeit in Anspruch nehmen.

\* *Visusäquivalente im Anhang B*

Die Monovision hat bestimmte systembedingte Nachteile: sie kommt nur infrage bei Patienten mit 2 „gesunden“ Augen, das Stereosehen könnte reduziert sein, zum Lesen wird oft viel Licht gebraucht und für das Autofahren zumindest bei Nacht ist ebenfalls eine Brille vorgeschrieben auch wenn viele Patienten mit Monovision beim nächtlichen Autofahren über keine Blendung berichten.

Nicht geeignet sind Patienten mit Amblyopie, zu berücksichtigen sind Persönlichkeitsmerkmale wie Ungeduld, Misstrauen, Unzufriedenheit, schlechte Adaptation oder neurotische Fehlhaltung. Vorteil ist aber auch, dass bei einem postoperativen Misserfolg oder wenn ein Auge später durch Erkrankung ausfällt die Monovision jeder Zeit durch Brille oder Kontaktlinse ergänzbar oder durch eine „add on“- IOL korrigierbar ist.

Einige Nachteile der Monovision treten bei den mehrfokalen-IOL nicht auf. Daher wären sie eigentlich vorteilhaft gewesen. Bedingt durch die dem multifokalen optischen Prinzip inhärenten Nachteile wie Kontrastminderung, Dysphotopsien und kein scharfes Sehen im intermediären Bereich für den Computer-Bildschirm, wurden diese M-IOL in den letzten 20 Jahren nur mit geringer Anzahl implantiert.

Hinzu kommt ein anderer Aspekt, die Ökonomie. Im Gegensatz zur Monovision Methode ist hier mit höheren Kosten für die Patienten zu rechnen. Bei der Implantation von mehrfokalen IOL bedarf es zusätzlicher Diagnostiken wie Topographie, Wellenfrontanalyse, OCT der Makula und eine umfangreichere Information und Aufklärung.

Abschließend kann man sagen: Ob M-IOL Implantation oder Monovision – die intensive Besprechung und die Beherrschung der Patientenaufklärung vor der Operation entscheidend für den Erfolg der IOL Implantation sind. Eine Individualisierung ist anzustreben, eine Stabilität der Ergebnisse der trifokalen IOL ist abzuwarten. Beide Methoden ermöglichen eine unkomplizierte visuelle Rehabilitation und lassen eine deutliche Verbesserung der Lebensqualität und Patientenzufriedenheit erkennen.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Auch die älter werdende Bevölkerung strebt nach mehr Brillenunabhängigkeit und damit nach mehr Lebensqualität. Dies zu erfüllen suchen die Ophthalmochirurgen ständig nach neuen Lösungen.

Ziel der vorliegenden Studie war es herauszufinden, ob eine visuelle Rehabilitation, Zufriedenheit und Brillenunabhängigkeit der Patienten mit Kataraktchirurgie oder RLA mittels Monovisions-Strategie oder trifokalen IOL erfüllt werden kann.

In der Monovision Gruppe mit 52 Teilnehmern (41 Katarakt, 11 RLA) erfolgte eine bilaterale Implantation einer monofokalen IOL mit einer Zielrefraktion von  $\pm 0$  bis  $-0,5$  dpt am Fernauge und  $-1,0$  bis  $-2,50$  dpt am Nahauge. Im Anschluss an diese Studie wurden auch die ersten 17 Teilnehmer (13 Katarakt, 4 RLA) mit einer trifokalen IOL versorgt. Die Ergebnisse wurden in Bezug auf die Refraktion, auf den Visus und die subjektive Einschätzung ausgewertet. Die Monovision Patienten erreichen einen hohen unkorrigierten binokularen Visus: 86,53 % der Patienten haben einen unkorrigierten binokularen Fernvisus von  $0,94 \pm 0,15$  und 92,3% der Patienten einen unkorrigierten binokularen Nahvisus von  $0,94 \pm 0,17$ . Die Patientenzufriedenheit ist mit  $9,27 \pm 0,13$  bei einer Skalierung von 1-10 sehr hoch. Einige Patienten kommen nicht völlig ohne Brille aus. Die Tiefenschärfe ist nicht signifikant beeinträchtigt ( $p=0,137$ ). Der Nahvisus binokular unkorrigiert ist signifikant besser bei einer kleineren Pupillenweite von 2,5-3,00 mm.

Die ersten Ergebnisse mit der neuen trifokalen IOL sind vielversprechend. Die sonst bekannten Begleiterscheinungen der M-IOL sind auf ein erträgliches Mindestmaß reduziert. Dysphotopsien wurden von 47,05% der Patienten beschrieben, aber die Störung als gering bewertet. Patienten erreichen einen unkorrigierten binokularen Fernvisus von 0,63 bis 1,20, einen unkorrigierten binokularen Nahvisus von 0,80 bis 1,20 und einen intermediären unkorrigierten binokularen Visus von 0,50 bis 1,00. Eine hohe Patientenzufriedenheit von 9,4 bei einer Skalierung von 1-10. In Bezug auf das Tragen einer Brille zu den verschiedenen Tätigkeiten kamen mehr als die Hälfte (58,8%) der Patienten sehr gut ohne Brille zurecht. 86,5% der Monovision Patienten und 100% der trifokalen IOL Patienten würden diese Art der OP weiter empfehlen und sich wieder für diese Art OP entscheiden.

Zum Ausgleich der Presbyopie, also für ein Sehen in die Ferne und Nähe ohne Brille, ist die Monovision mit monofokalen IOL eine effiziente und kostengünstige Lösung. Allerdings nur bei einer engen Selektion der dafür geeigneten Patienten. Die trifokalen IOL zeigen mindestens gleich gute Ergebnisse, sind teurer für den Patienten, es kann aber eine größere Patientengruppe damit versorgt werden.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

1. Alais D, O'Shea RP, Mesana-Alais C, Wilson IG. On binocular alternation. *Perception* 2000; 29: 1437-1445.
2. Alió JL, Plaza-Puche AB, Piñero DP, Amparo F, Jiménez R, Rodríguez-Prats JL, Javaloy J, Pongo V. Optical analysis, reading performance, and quality-of-life evaluation after implantation of a diffractive multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(1): 27-37.
3. Amelung VE, Bucholtz N, Brümmer A, Krauth C. Sehen im Alter. Versorgungsstrukturen und -herausforderungen in der Augenheilkunde. MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2012.
4. Auffarth GU, Dick HB. Multifokale Intraokularlinsen – Eine Übersicht. *Ophthalmologie* 2001; 98(2): 127–137.
5. Auffarth GU, Apple DJ. Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen. *Ophthalmologie* 2001; 98: 1017–1028.
6. Auffarth GU, Rabsilber TM, Kohnen T, Holzer MP. Design und optische Prinzipien von Multifokallinsen. *Ophthalmologie* 2008; 105(6): 522–526.
7. Barrett GD. Monovision with monofocal IOLs; In: *Mastering Refractive IOLs, The Art and Science*, Chang DF, New Jersey, Slack 2008: 450-453.
8. Barrett GD. Presbyopic Overture. *Ophthalmology Times Europe* 2012; 8(3): 26-27.
9. Baumeister M, Kohnen T. Akkommodation und Presbyopie: Teil 1: Physiologie der Akkommodation und Entwicklung der Presbyopie. *Ophthalmologie* 2008; 105(6): 597-610.
10. Behndig A, Montan P, Stenevi U, Kugelberg M, Lidström M. One million cataract surgeries. The Swedish National Cataract Register 1992-2009. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37: 1539-1545.
11. Bergmann E, Ellert U. Sehhilfen, Hörhilfen und Schwerbehinderung. *Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz Springer Verlag* 2000; 43(6): 432–437.
12. Boerner CF, Thrasher BH. Results of monovision correction in bilateral pseudophakes. *J Am Intraocul Implant Soc* 1984; 10(1): 49-50.

13. Boyd B. Modern Ophthalmology: The highlights, Jaypee 2011; In: Cataract Surgery – Its Evolution and Progress: 6.
14. Bradbury JA, Hillman JS, Cassells-Brown A. Optimal postoperative refraction for good unaided near and distance vision with monofocal intraocular lenses. Br J Ophthalmol 1992; 76: 300-302.
15. Braun EH, Lee J, Steinert RF. Monovision in LASIK. Ophthalmology 2008; 115(7): 1196-202.
16. Brauweiler P. Bimanual irrigation/ aspiration. J Cataract Refract Surg 1996; 22: 1013-1016.
17. Brillenstudie Allensbach 2011. URL: <http://www.sehen.de/newsroom/allensbach-brillenstudie/> (Stand 26.01.2012).
18. Bullinger M, Kirchberger I, Ware J. Der deutsche SF-36 Health Survey. Übersetzung und psychometrische Testung eines krankheitsübergreifenden Instruments zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften 1995; 3: 21-36.
19. Burgansky Z, Isakov I, Avizemer H, Bartov E. Minimal astigmatism after sutureless planned extracapsular cataract extraction. J Cataract Refract Surg 2002; 28: 499-503.
20. Chen M, Chen Z M. A study of monofocal intraocular lens (Acrysof) in mini-monovision (MMV) and premium multifocal implantation of ResTOR. Clin Optom 2010; 2: 1-3.
21. Collins MJ, Goode A. Interocular blur suppression and monovision. Acta Ophthalmol Scand 1994; 72: 376-380.
22. Cummings AB, Stodulka P. Mastering the patient conversation, create realistic expectations to achieve the most satisfying outcomes. Catact Refract Surg Today 2010; 5: 51-56.
23. Dexl AK, Seyeddain O, Riha W, Hohensinn M, Hitzl W, Grabner G. Reading performance after implantation of a small-aperture corneal inlay for the surgical correction of presbyopia: two-year follow-up. J Cataract Refract Surg 2011; 37: 525-531.
24. Dick HB, Eisenmann D, Fabian E, Schwenn O. Refraktive Kataraktchirurgie mit multifokalen Intraokularlinsen, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1999: 1-16.

25. Duane A. Studies in monocular and binocular accommodation, with their clinical application. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1922; 20: 132–157.
26. du Toit R, Ferreira JT, Nel ZJ. Visual and nonvisual variables implicated in monovision wear. *Optom Vis Sci* 1998; 75(2): 119–125.
27. Empfehlungen der DOG zur Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten. URL: <http://www.dog.org/wp-content/uploads/> (Stand 15.04.2014).
28. Evans BJ. Monovision: A review. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007; 27(5): 417-439.
29. Fabian E, Maier M. Technologien, Techniken und Taktiken für mikroinvasive Kataraktchirurgie. *Ophthalmologe* 2010; 107: 116-126.
30. Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr 2011. Empfehlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) und des Berufsverbandes der Augenärzte (BVA) Deutschlands zur Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr. URL: <http://www.dog.org/wp-content/uploads/> (Stand 09.12.2011).
31. Finkelman YM, Ng JQ, Barrett GD. Patient satisfaction and visual function after pseudophakic monovision. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35: 998-1002.
32. Forster A. Cataract and “Vision 2020 - the right to sight” initiative; *Br J Ophthalmol* 2001; 85: 635–639.
33. Gall C, Franke GH. Lebensqualität - Methodologische und klinisch-praktische Aspekte mit einem Fokus auf die Augenheilkunde. *Ophthalmologe* 2008; 105: 727-734.
34. GEDA - Gesundheit in Deutschland aktuell 2009. URL: <https://www.gbe-bund.de/> (Stand 08.07.2011)
35. Gimbel HV. Divide and conquer nucleofractis phacoemulsification: development and variations. *J Cataract Refract Surg* 1991; 17(3): 281-91.
36. Glasser A, Campbell MC. Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia. *Vision Research* 1999; 39: 1991–2015.
37. Glasser A, Kaufman PI. The Mechanism the accommodation in primates. *Ophthalmology* 1999; 106: 863-872.

38. Gothwal VK, Wright TA, Lamoureux EL, Pesudovs K. Measuring outcomes of cataract surgery using the Visual Function Index-14. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36(7): 1181-1188.
39. Grabner G. Presbyopiechirurgie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2010; 227: 1-24.
40. Greenbaum S. Monovision pseudophakia. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28(8): 1439-1443.
41. Grehn F. *Augenheilkunde*. Springer-Verlag Heidelberg 2006; In: Linse: 158-180.
42. Großkopf U, Eisenmann D. Eingeschränkte Nachtfahrtauglichkeit bei mono- und multifokaler Pseudophakie; In: 10 Kongress der DGII (Hrsg. Vörösmarthy D, Dunker G, Hartmann C), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997: 20-24.
43. Haigis W. Biometrie, In: *Jahrbuch der Augenheilkunde 1995, Optik und Refraktion*, (Hrsg. Kampik A), Biermann-Verlag, Zülpich: 123-140.
44. Handa T, Mukuno K, Uozato H, Niida T, Shoji N, Minei R, Shimizu K. Ocular dominance and patient satisfaction after monovision induced intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 769-774.
45. Harding JJ, Egerton M, Heydingen R van, Harding S. Diabetes, glaucoma, sex and cataract: analysis of combined data from two case control studies. *Br Journal of Ophthalmol* 1993; 77: 2-6.
46. Hayashi K, Yoshida M, Manabe SI, Hayashi H. Optimal amount of anisometropia for pseudophakic monovision. *J Refract Surg* 2011; 27: 1-7.
47. Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Influence of astigmatism on multifocal and monofocal intraocular lenses. *Am J of Ophthalmol* 2000; 130(4): 477-82.
48. Herzau V. Interokulare Hemmungsvorgänge bei Strabismus. *Ophthalmologe* 1998; 95(10): 710-716.
49. Hirneiß C, Neubauer AS, Welge-Lüssen U, Eibl K, Kampik A. Bestimmung der Lebensqualität des Patienten in der Augenheilkunde. *Ophthalmologe* 2003; 100(12): 1091-1097.
50. Hoffmann P. Biometrieergebnisse von 23239 Augen. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2008; 225: 1-24.
51. Holladay, J. Proper method for calculating average visual acuity. *J Refract Surg* 1997; 13(4): 388-391.

52. Holladay JT. Refraktiv power calculation for intraocular lenses in the phakic eye. *Am J Ophthalmol* 1993; 116: 63-66.
53. Holz FG, Pauleikhoff D, Spaide RF, Bird AC. Altersabhängige Makuladegeneration. Springer- Verlag Berlin Heidelberg New York 2004.
54. Holzer MP, Rabsilber TM , Auffahrt GU. Presbyopiekorrektur mittels Intraokularlinsen. *Ophthalmologe* 2006; 103: 661-666.
55. Holzer MP, Mannsfeld A, Ehmer A, Auffarth GU. Early outcomes of INTRACOR femtosecond laser treatment for presbyopia 2009. *J Refract Surg*; 25: 855-861.
56. Hubel DH, Wiesel TN. Receptive fields of single neurons in the cat's striate Cortex. *J. Physiol* 1959; 148: 574-591.
57. Huber C. Einfacher myopischer Astigmatismus, ein Akkommodationsersatz nach Linsenimplantation. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1981; 178(4): 284-288.
58. Hunold W, Auffahrt GU, Wesendahl T, Mehdorn E, Kuck G. Pseudoakkommodation diffraktiver Multifokallinsen und Monofokallinsen. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1993; 202(1): 19–23.
59. Ito M, Shimizu K. Reading ability with pseudophakic monovision and with refractive multifocal intraocular lenses: comparative study. *J Cataract Refract Surg*. 2009 Sep; 35(9): 1501-1504
60. Ito M, Shimizu K, Amano R, Handa T. Assessment of visual performance in pseudophakic monovision. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35: 710-714.
61. Ito M, Shimizu K. Pseudophakic monovision. Careful patient selection is crucial. *CRST Europe* 2009; 10: 64-66.
62. Ito M, Shimizu K, Iida Y, Amano R. Five-year clinical study of patients with pseudophakic monovision, *J Cataract Refract Surg* 2012; 38(8): 1440-1445.
63. Jain S, Arora I, Azar DT. Success of monovision in presbyopes: Review of the literature and potential applications to refractive surgery. *Surv Ophthalmol* 1996; 40(6): 491-499.
64. Jain S, Ou R, Azar DT. Monovision outcomes in presbyopic individuals after refraktiv Surgery. *Ophthalmology* 2001; 108: 1430-1433.
65. Johannsdottir KR, Stelmach LB. Monovision a review of the scientific literatur. *Optom Vision Sci* 2001; 78: 646-651.
66. Kampik A, Grehn F. Augenärztliche Rehabilitation. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2005; In: Rehabilitation durch Intraokularlinsen: 66-67.

67. Kawamorita T, Uozato H, Handa T, Ito M, Shimizu K. Effect of pupil size on visual acuity in a laboratory model of pseudophakic monovision. *J Refract Surg* 2010; 26 (5): 378-380.
68. Kelman CD. Phacoemulsification and aspiration. A new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 1967; 64: 23–35.
69. Kirschen DG, Hung CC, Nakano T. Comparison of suppression, stereoacuity and interocular differences in visual acuity in monovision and Acuvue bifocal contact lenses. *Optom Vis Sci* 1999; 76: 832-837.
70. Klein BE, Klein R, Lee KE, Gangnon RE. Incidence of age-related cataract over a 15-year interval—the Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology* 2008; 115: 477–482.
71. Kohnen T. Refraktive Chirurgie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011; In: *Chirurgische Presbyopiekorrektur*, In: *Monovision*: 299.
72. Kohnen T, Baumeister M, Kook D, Klaproth O, Ohrloff C. Kataraktchirurgie mit Implantation einer Kunstlinse. *Dtsch Ärztebl* 2009; 106(43): 695-702.
73. Kohnen T, Neuhann T, Knorz M C. Bewertung und Qualitätssicherung refraktiv-chirurgischer Eingriffe durch die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft und den Berufsverband der Augenärzte Deutschlands Stand Januar. *Ophthalmologe* 2014; 111: 320–329.
74. Kohnen T, Strenger A, Klaproth O. Basiswissen refraktive Chirurgie. *Dtsch Ärztebl* 2008; 105(9): 163–172.
75. Lachenmayer B, Friedburg D, Hartmann E, Buser A. Auge – Brille – Refraktion: Schober Kurs: verstehen – lernen – anwenden. Georg Thieme Verlag Stuttgart 2006, In: *Binokularsehen: Simultansehen, Fusion, Stereopsis*.
76. Lang J. Strabismus. Verlag Hans Huber, Bern Stuttgart, Wien 1976; In: *Motorik, Suppression*: 26-27; In: *Diagnostik, Untersuchung der Stereopsis*: 102.
77. Leaming DV. Practice styles and preferences of ASCRS members-2003 survey. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 892-900.
78. Lida Y, Shimizu K, Ito M. Pseudophakic monovision using monofocal and multifocal intraocular lenses: hybrid monovision. *J Cataract Refract Surg* 2011 November; 37 (11): 2001-2005.
79. Luo BP, Brown GC, Luo SC, Brown MM. The quality of life associated with presbyopia. *Am J Ophthalmol* 2008; 145(4): 618-622.

80. Maloney WF. Let the patient, not the technology, guide approach in presbyopia correction. *Ocular Surg News* 2004; 22(16): 10-12.
81. Mangione CM, Phillips RS, Lawrence MG, Seddon JM, Orav EJ, Goldman L. Improved visual function and attenuation of declines in health-related quality of life after cataract extraction, *Arch Ophthalmol* 1994; 112(11): 1419-1425.
82. Marques FF, Sato RM, Chiacchio BB, Marques DM, Barreiro J, Caetano RL. Evaluation of visual performance and patient satisfaction with pseudophakic monovision technique. *Arq Bras Oftalmol* 2009; 72(2): 164-168.
83. McDonnell PJ, Lee P, Spritzer K, Lindblad AS, Hays RD. Associations of presbyopia with vision-targeted health-related quality of life. *Arch Ophthalmol* 2003; 121(11): 1577-1581.
84. Methling D. Bestimmen von Sehhilfen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York 2013; In: *Subjektive binokulare Prüfung für die Ferne*: 121-122
85. Morris D, Fraser SG, Gray C. Cataract surgery and quality of life implications. *Clin Interv Aging* 2007; 2(1): 105-108.
86. Pearce JI. Multifocal intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 1996; 7(1): 2-10.
87. Pick ZS, Leaming DV, Elder MJ. The fourth New Zealand cataract and refractive surgery survey: 2007. *Clin Experiment Ophthalmol* 2008; 36: 604-619.
88. Powe NR, Schein OD, Gieser SC, Tielsch JM, Luthra R, Javitt J, Steinberg EP. Synthesis of the literature on visual acuity and complications following cataract extraction with intraocular lens implantation. *Arch Ophthalmol* 1994; 112: 239–252.
89. Preußner P-R, Wahl J, Gerl R, Kreiner C, Serester A. Akkommodatives Linsenimplantat. *Ophthalmologie* 2001(1); 98: 97-102.
90. Preußner P-R. Genauigkeitsgrenzen bei der IOL-Berechnung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2007; 224(12): 893-899.
91. Pritzel M, Brand M, Markowitsch J. Gehirn und Verhalten. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2009; In: *Visuelles System*: 169-170.
92. Quigley HA. Number of people with glaucoma worldwide. *Br J Ophthalmol* 1996; 80(5): 389-393.
93. Reim M. Augenheilkunde. Enke Verlag 1996; In: *Zur Physiologie des Auges, Okuläre Dominanz*: 44; In: *Stereoskopisches(räumliches) Sehen*: 61-62.

94. Ridley H. Intra-Ocular acrylic lenses. A Recent Development in the Surgery of Cataract Br J Ophthalmol 1952; 36(3): 113–122
95. Roggenkämper P. Stereosehen bei vermindertem Visus. Klin Monatsbl Augenheilkd 1983; 183(8): 105-109.
96. Rosenbach O. Über monokulare Vorherrschaft beim binokularen Sehen. Med.Wochenschr 1903; 50(29): 1290.
97. Sachsenweger M. Augenheilkunde. MLP Duale Reihe, Hippokrates-Verlag Stuttgart 1994; In: Sehbahn: 376- 378; In: Linse und Katarakt: 183-184
98. Sawusch MR, Guyton DL. Optimal astigmatism to enhance depth of focus after cataract surgery. Ophthalmology 1991; 98: 1025–1029.
99. Schachar RA. The mechanism of accommodation and presbyopia. Int Ophthalmol Clin 2006; 46(3): 39-61.
100. Schor C, Landsman L, Erickson P. Ocular dominance and the interocular suppression of blur in monovision. Am J Optom Physiol Opt 1987; 64(10): 723-30
101. Shaw JE, Sicree RA, Zimmet PZ. Global estimates of the prevalence of diabetes for 2010 and 2030. Diab Res Clin Prac 2010;7: 4-14.
102. Sheppard AL, Shah S, Bhatt U, Bhogal G, Wolffsohn JS. Visual outcomes and subjective experience after bilateral implantation of a new diffractive trifocal lens. J Cataract Refract Surg 2013; 39(3): 343-349
103. Shimizu K. Monovision Strategies. CRST Europe 2011; 3: 50-51
104. Statistisches Bundesamt. Im Blickpunkt: Ältere Menschen in Deutschland und der EU 2011. URL: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/> (Stand 20.09.2011).
105. Steinberg EP, Tielsch JM, Schein OD, Javitt JC, Sharkey P, Cassard SD, Legro MW, Diener-West M, Bass EB, Damiano AM, Steinwachs DM, Sommer A. The VF-14. An index of functional impairment in patients with cataract. Arch Ophthalmol 1994; 112(5): 630-638.
106. Strobel J, Müller M, Soa B. Intakte Akkommodationsabläufe am pseudophaken Auge. Klin Monatsbl Augenheilkd 2007; 224(9): 716-721.
107. Trindade F, Oliveira A, Frasson M. Benefit of against-the-rule astigmatism to uncorrected near acuity. J Cataract Refract Surg 1997; 23(1): 82-85.

108. Uusitalo RJ, Brans T, Pessi T, Tarkkanen A. Evaluating cataract surgery gains by assessing patients quality of life using VF-7. *J Cataract Refract Surg* 1999; 25(7): 989-994.
109. von Helmholtz H. Ueber die Akkommodation des Auges. *Albrecht von Graefes Klin Exp Ophthalmol* 1855; 1: 1-74.
110. Vryghem JC, Heireman S. Visual performance after the implantation of a new trifocal intraocular lens. *Clin Ophthalmol* 2013; 7: 1957-1965.
111. Weale RA. On potential causes of presbyopia. *Vision Res* 1999; 39(7): 1263-1272.
112. Weale RA. The epidemiology of ageing and the eye. *Community Eye Health* 1999; 12(29): 4–5.
113. Wehner W. AT LISA tri: the Closest thing to natural accommodation. *Suppl to Cataract & refract Surg today Europe* 2012; 3: 8-10.
114. Welpel I. Gesundheitsbezogene Lebensqualität: Ein Leben in autonomer Verantwortung. *Dtsch Arztebl* 2008; 105(10): 514–517.
115. Wenzel M, Kohnen T, Scharrer A, Schayan K, Klasen J, Reinhard T. Ambulante Intraokularchirurgie 2011. Ergebnisse der Umfrage von BDOC, BVA, DGII und DOG. *Ophthalmochirurgie* 2012; 24: 205-214
116. Wenzel M, Pham D, Scharrer A, Schayan K, Klasen J. Ambulante Intraokularchirurgie: Ergebnisse der Umfrage 2008 von BDOC, BVA und der DGII – Rückblick über die letzten 20 Jahre. *Ophthalmochirurgie* 2009; 21: 199-211.
117. Westsmith RA. Uses of a monocular contact lens. *Am J Ophthalmol* 1958; 46(1): 78-81.
118. Wille E, Popp M. Die Bewertung von Kataraktoperationen aus gesundheitsökonomischer Sicht, (Hrsg. BDOC), Mannheim 2012: 18
119. WHO: causes of blindness. URL: <http://www.who.int/blindness/causes/en/> (Stand 20.01.2011).
120. Wolfram C, Pfeiffer N. Blindness and low vision in Germany 1993–2009. *Ophthalmic epidemiology* 2012; 19: 3–7
121. Xiao JH, Jiang CH, Zhang MN. Pseudophakic monovision is an important surgical approach to being spectacle-free. *Ind J Ophthalmol* 2011; 59(6): 481–485.

122. Zhang F, Sugar A, Jacobsen G, Collins M. Visual function and patient satisfaction: Comparison between bilateral diffractive multifocal intraocular lenses and monovision pseudophakia. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(3): 446-453.
123. Zhang F, Sugar A, Jacobsen G, Collins M. Visual function and spectacle independence after cataract surgery: bilateral diffractive multifocal intraocular lenses versus monovision pseudophakia. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(5): 853-858.

## 9 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

dpt	Dioptrien
IOL	Intraokularlinse
MIOL	Multifokale Intraokularlinse
Vis	Visus
Vis sc	Visus sine correctione
Vis sc bin	Visus sine correctione binokular
Vis cc	Visus cum correctione
Vis cc bin	Visus cum correctione binokular
Vis R mon	Visus R monokular
Vis L mon	Visus L monokular
gdR	gegen die Regel
mdR	mit der Regel
VF	Visual Function
SF	Short Form
NEI-VFQ	National Eye Institute Visual Functioning Questionnaire
VF-14	Visual Function 14 (VF-14)
WHO	World Health Organization
GEDA	Gesundheit in Deutschland aktuell
TNO	Titmus Test
LRI	limbale Relaxions-Inzision
Jg	Jäger Lesetafeln Nahvisus
Nd	Nieden Lesetafeln Nahvisus
LASIK	Laser in situ Keratomileusis
CK	Conductive Keratoplastik
CRS	Cataract Surgical Rate
KRC	Kommission Refraktive Chirurgie
RLA	refraktiver Linsenaustausch
RLE	refractive lens exchange
SA	Standardabweichung

## 10 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. Entwicklung der älteren Bevölkerung, Quelle: Ältere Menschen in Deutschland und der EU, Statistisches Bundesamt 2011 .....	5
Abbildung 2. Prävalenz der Katarakt und Inzidenz der Kataraktoperationen, Quelle: Wille E, Popp M 2012 .....	7
Abbildung 3. Beispiel für Monovision, Quelle: <a href="http://www.eyecairo.net/monofocal_iols/">http://www.eyecairo.net/monofocal_iols/</a> 2013/04 .....	12
Abbildung 4. Optische Prinzipien von IOL, Strahlengänge mit Fokuspunkten und Fokusbereichen dargestellt, Quelle: Produktinformation zur monofokalen IOL Z9000 und zur multifokalen IOL ZM900, ABBOT/2013/09 .....	16
Abbildung 5. MIOL, Quelle: <a href="http://www.amo-inc.com/products/cataract/refractive-iols/tecnis-multifocal-iol/2013/09">http://www.amo-inc.com/products/cataract/refractive-iols/tecnis-multifocal-iol/2013/09</a> .....	17
Abbildung 6. Trifokale IOL AT LISA <sup>®</sup> tri, Quelle: <a href="http://www.zeiss.de/meditec/de_de/produkte-loesungen/ophthalmologie/2013/09">http://www.zeiss.de/meditec/de_de/produkte-loesungen/ophthalmologie/2013/09</a> .....	18
Abbildung 7. Three Dimensionality of the lens, Quelle: Modern Ophthalmology: The Highlights, B. Boyd 2011 .....	20
Abbildung 8. Akkommodationskurve nach Duane A. Studies in monocular and binocular accommodation with their clinical applications 1922 .....	23
Abbildung 9. Sturmsches Konoid, Quelle: McGraw-Hill Concise Dictionary of Modern Medicine 2002 .....	26
Abbildung 10. Beispiel für binokulare Rivalität, Quelle: On binocular alternation, Alais et al. 2000 .....	28
Abbildung 11. 7-stufige Skala zur Bewertung der okularen Dominanz, Quelle: Hubel & Wiesel 1959 .....	29
Abbildung 12. Handfixations Test, Quelle: <a href="http://www.pharmama.ch/2011/07">http://www.pharmama.ch/2011/07</a> ...	33
Abbildung 13. Patientenkollektiv Monovision Verteilung .....	38
Abbildung 14. Histogramm Fernvisus korrigiert präoperativ (VF cc präop) .....	39
Abbildung 15. Histogramm Visus korrigiert präoperativ Fernauge (VF cc präop FA) und Histogramm Fernvisus korrigiert präoperativ Nahauge (VF cc präop NA) .....	40

Abbildung 16. Histogramm sphärisches Äquivalent in dpt präoperativ .....	40
Abbildung 17. Histogramm sphärisches Äquivalent in dpt präoperativ Fernaugen und Histogramm sphärisches Äquivalent präoperativ in dpt Nahaugen .....	41
Abbildung 18. Histogramm Fernvisus binokular unkorrigiert postoperativ (VF bin sc postop) .....	42
Abbildung 19. Histogramm Nahvisus binokular unkorrigiert postoperativ (VN bin sc postop) .....	42
Abbildung 20. Histogramm Visus unkorrigiert postoperativ (VF sc postop) .....	43
Abbildung 21. Histogramm Fernvisus korrigiert postoperativ (VF cc postop) ....	44
Abbildung 22. Histogramm Fernvisus korrigiert postoperativ (VF cc postop FA) Fernaugen und Histogramm Fernvisus korrigiert postoperativ (VF cc postop NA) Nahaugen .....	44
Abbildung 23. Histogramm sphärisches Äquivalent postoperativ in dpt .....	45
Abbildung 24. Histogramm sphärisches Äquivalent postoperativ in dpt Fernaugen und Histogramm sphärisches Äquivalent postoperativ in dpt Nahaugen .....	45
Abbildung 25. Fernvisus korrigiert binokular präoperativ (VF cc bin präop) vs. Fernvisus unkorrigiert binokular postoperativ (VF sc bin postop) (Wirksamkeit) .....	46
Abbildung 26. Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) vs. Nahvisus korrigiert binokular (VNbin cc) .....	47
Abbildung 27. Fernvisus unkorrigiert binokular (VF sc bin) vs. Fernvisus korrigiert binokular (VF bin cc) .....	47
Abbildung 28. Streudiagramm Zielrefraktion (ZRef postop) in dpt vs. Refraktion (sph. Äquivalent) .....	49
Abbildung 29. Streudiagramm Zielrefraktion (ZRef postop) in dpt vs. Refraktion postop (sph. Äquivalent) in der Refraktiven Gruppe .....	50
Abbildung 30. Streudiagramm Zielrefraktion (ZRef postop) in dpt vs. Refraktion postop (sph. Äquivalent) in der Katarakt Gruppe .....	51
Abbildung 31. Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) – Pupillenweite .....	53
Abbildung 32. Histogramm Mittelwert der Pupillenweite in mm .....	54

Abbildung 33. Histogramm Mittelwert der Pupillenweite (Fernaugen) .....	54
Abbildung 34. Histogramm Mittelwert der Pupille (Nahaugen) .....	54
Abbildung 35. Stereosehen – K (sph. Äquivalent RA – sph. Äquivalent LA) ...	55
Abbildung 36. Verteilung Patientenkollektiv trifokale IOL .....	58
Abbildung 37. Fernvisus monokular unkorrigiert (VF Rsc und VF Lsc) vs. Fernvisus binokular unkorrigiert (VF bin sc) .....	92
Abbildung 38. Nahvisus monokular unkorrigiert (VN FR sc und VN FL sc) vs. Nahvisus binokular unkorrigiert (VN bin sc) .....	93
Abbildung 39. Visuswerte bzw. – Äquivalente verschiedener Lesetafeln Quelle: Empfehlungen der DOG zur Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten 2014 .....	94
Abbildung 40. Korrespondierende Sehschärfe, Quelle: Holladay, J. Proper Method for average visual acuity 1997 .....	94

## 11 ANHANG

### A. Spätkontrollen (Qualität der Monovision)

Diese Spätkontrollen sind nicht in der Statistik aufgelistet, da die Fallzahl gegenüber der Gesamtgruppe zu gering ist.

#### Fernvisus monokular unkorrigiert (VF Rsc und VF Lsc) vs. Fernvisus binokular unkorrigiert (VF bin sc)

Der Fernvisus unkorrigiert monokular (VF sc mon) beträgt  $0,92 \pm 0,16$  (Mittelwert $\pm$ SA), (n= 31) Fernaugen.

Der Fernvisus unkorrigiert binokular (VF sc bin) beträgt  $0,94 \pm 0,15$ ; (Mittelwert $\pm$ SA), (n=41) Patienten. Der Unterschied ist hochsignifikant:  $p < 0,05$  (T-Test)  $p < 0,05$  (Wilcoxon Test)(Abb. 37).

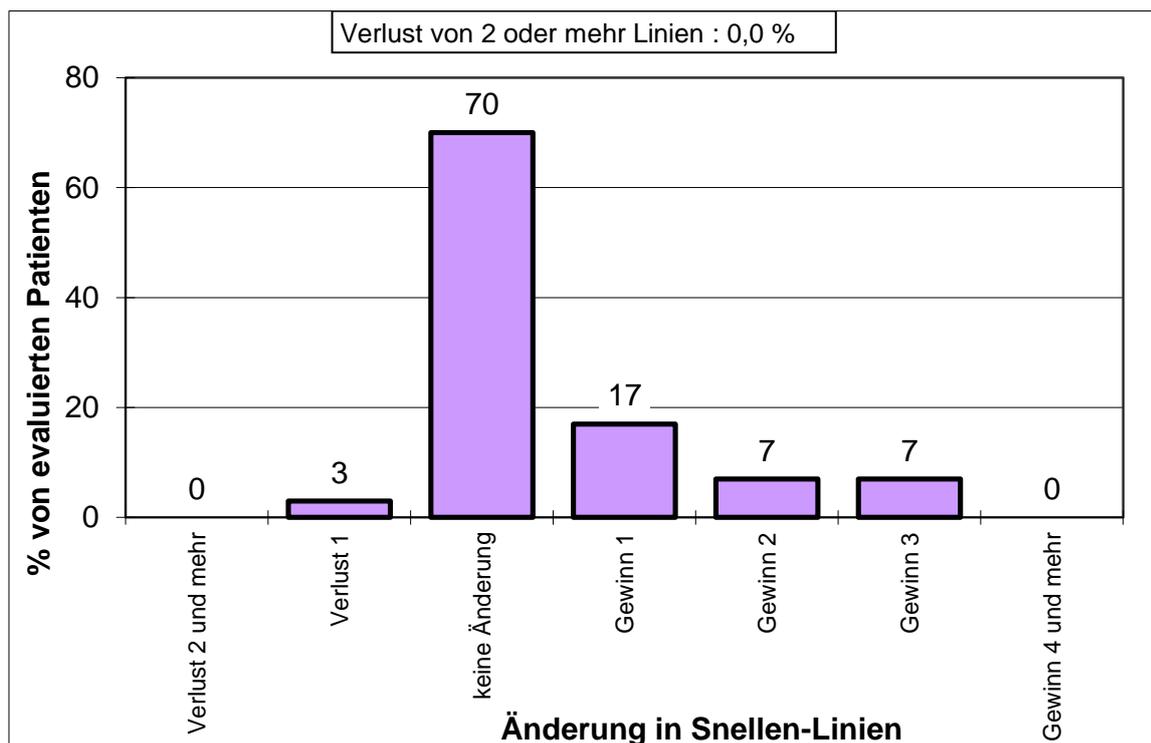


Abbildung 37. Abbildung 30. Fernvisus unkorrigiert monokular (VF sc mon) vs. Fernvisus unkorrigiert binokular (VF sc bin) postoperativ (Fernaugen)

## Nahvisus monokular unkorrigiert (VN FR sc und VN FL sc) vs. Nahvisus binokular unkorrigiert (VN bin sc)

Der Nahvisus unkorrigiert monokular (VN sc mon) beträgt  $1,07 \pm 0,14$  (Mittelwert $\pm$ SA), (n= 20) Nahaugen. Der Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) beträgt  $0,95 \pm 0,17$  (Mittelwert $\pm$ SA), (n=44) Patienten. Der Unterschied ist hochsignifikant:  $p < 0,01$  (T-Test);  $p < 0,001$  (Wilcoxon Test) (Abb. 38).

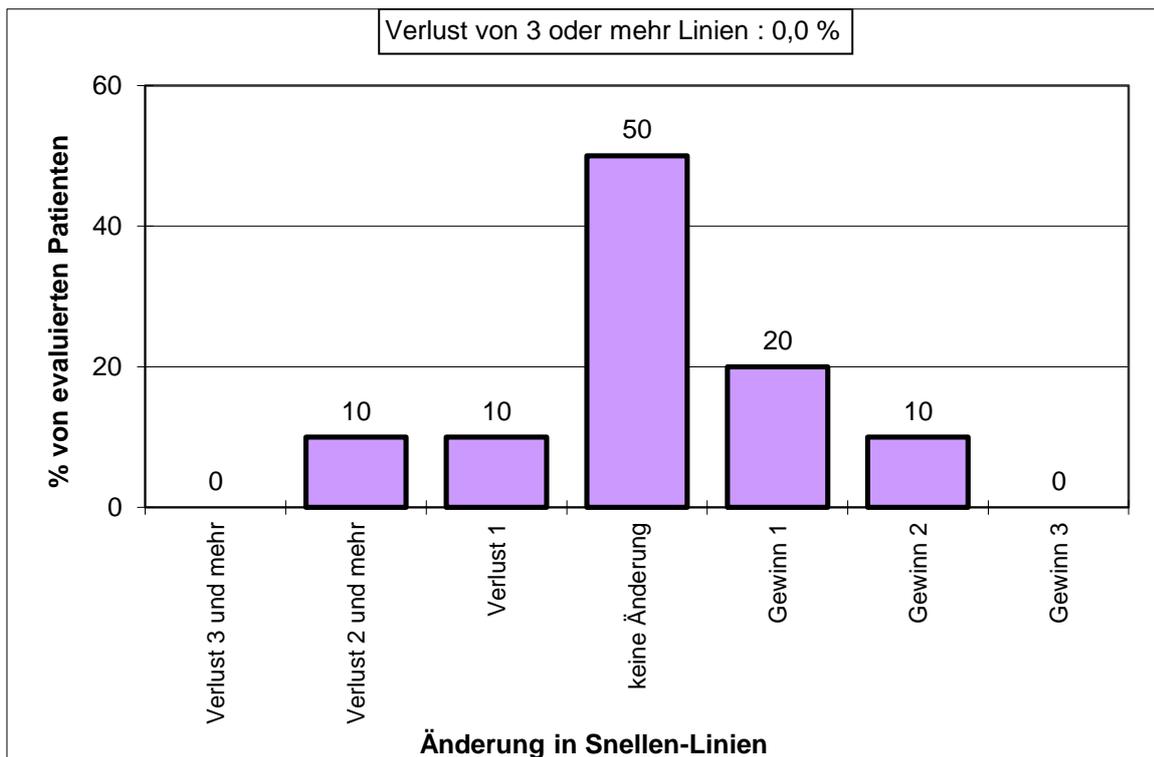


Abbildung 38. Nahvisus unkorrigiert monokular (VN sc mon.) vs. Nahvisus unkorrigiert binokular (VN sc bin) postoperativ (Nahaugen)

# ANHANG

## B. Visuswerte bzw. Visusäquivalente in der Literatur

Visuswerte bzw. -äquivalente verschiedener Lesetafeln												
Sehschärfewerte					Aktuelle Lesetafeln		Historische Lesetafeln			Low Vision		
logMAR <sup>1</sup>	logVisus	Visuswerte für Prüfdistanzen von			OCULUS <sup>3</sup>	RADNER <sup>4</sup>	Birkhäuser <sup>5</sup>	Nieden	Jaeger <sup>6</sup>	<sup>8</sup> Visus-äquivalente	Vergrößerungsbedarfe	
40 cm	40 cm	40 cm	32 cm	25 cm							ZEISS <sup>9</sup>	Eschenbach <sup>10</sup>
-0,2	0,2	1,6	1,25	1,0	-	1,6	1,5	-	-	0,23	1x	1x
-0,1	0,1	1,25	1,0	0,8	1,25	1,25	1,25	-	-	0,2	1,25x	1,25x
0,0	0,0	1,0	0,8	0,63	1,0	1,0	1,0	-	-	0,14	1,6x	1,6x
0,1	-0,1	0,8	0,63	0,5	0,8	0,8	0,8	N1 = 0,75	-	0,11	2x	2x
							0,7			0,09	2,5x	2,5x
0,2	-0,2	0,63	0,5	0,4	0,6	0,63	0,6 ↔ 0,63	N2 = 0,60	J1 = 0,59	0,07	3x	3x
0,3	-0,3	0,5	0,4	0,32	0,5	0,5	0,5	N2 = 0,50	-	0,06	4x	4x
0,4	-0,4	0,4	0,32	0,25	0,4	0,4	0,4	N4 = 0,40	J2 = 0,41	0,05	5x	5x
0,5	-0,5	0,32	0,25	0,2	0,32	0,32	0,3	N6 = 0,33	J3 = 0,36	0,04	-	6,25x
0,6	-0,6	0,25	0,2	0,16	0,25	0,25	-	N9 = 0,25	J4 = 0,26	0,036	6,25x	-
									J5 = 0,24 <sup>7</sup>	0,03	8x	8x
									J6 = 0,24 <sup>7</sup>	0,024	10x	10x
0,7	-0,7	0,2	0,16	0,125	0,18	0,2	0,2	-	J8 = 0,21	0,02	12,5x	12,5x
0,8	-0,8	0,16	0,125	0,1	0,16	0,16	-	N10 = 0,15	J9 = 0,17	0,015	16x	16x
0,9	-0,9	0,125	0,1	0,08	0,125	0,125	-	-	-	0,012	20x	-
1,0	-1,0	0,1	0,08	0,063	0,1	0,1	Zahlen	N11 = 0,08	-	0,001	25x	-
1,1	-1,1	0,08	0,063	0,05	0,08	0,08	-	-	-			
1,2	-1,2	0,063	0,05	0,04	-	0,063	-	-	-			

Abbildung 39. Visuswerte bzw. – Äquivalente verschiedener Lesetafeln, Quelle: Empfehlungen der DOG zur Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten 2014

Table 1 Corresponding Visual Acuities					
Line No.	Snellen Equivalent (feet)	Snellen Equivalent (meters)	Decimal Equivalent (minutes)	Visual Angle	LogMAR* Equivalent
-3	20/10	6/3	2.00	0.50	-0.30
-2	20/12.5	6/3.75	1.60	0.63	-0.20
-1	20/16	6/4.8	1.25	0.80	-0.10
0	20/20	6/6	1.00	1.00	0.00
1	20/25	6/7.5	0.80	1.25	+0.10
2	20/32	6/6.4	0.63	1.60	+0.20
3	20/40	6/12	0.50	2.00	+0.30
4	20/50	6/15	0.40	2.50	+0.40
5	20/63	6/18.9	0.32	3.15	+0.50
6	20/80	6/24	0.25	4.00	+0.60
7	20/100	6/30	0.20	5.00	+0.70
8	20/125	6/37.5	0.16	6.25	+0.80
9	20/160	6/48	0.13	8.00	+0.90
10	20/200	6/60	0.10	10.00	+1.00
11	20/250	6/75	0.08	12.50	+1.10
12	20/320	6/96	0.06	16.00	+1.20
13	20/400	6/120	0.05	20.00	+1.30
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
20	20/2000†	6/600	0.01	100.00	+2.00
30	20/20000§	6/6000	0.001	1000.00	+3.00

\* Log of Minimum Angle of Resolution  
† 20/2000 = count fingers at 2 feet!  
§ 20/20000 = hand motion at 2 feet

Abbildung 40. Korrespondierende Sehschärfe, Quelle: Holladay, J. Proper Method for average visual acuity 1997

## 12 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die meine Promotion ermöglichten.

Bei Herrn Prof. Dr. Ekkehard Fabian bedanke ich mich ganz besonders für das interessante Promotionsthema, für die engagierte Unterstützung bei der Umsetzung dieser Arbeit und für die Motivation.

Herrn Priv. Doz. Dr. med. Mathias Maier danke ich für die kompetente Unterstützung und die hilfreichen Anregungen bei der Fertigstellung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. K. Kotliar danke ich für die Begleitung und für seine wertvolle Hilfe bei den statistischen Auswertungen.

Fr. Kent danke ich für Ihre hilfreiche Hinweise bei den statistischen Auswertungen.

Meiner Familie danke ich sehr für den uneingeschränkten Rückhalt.