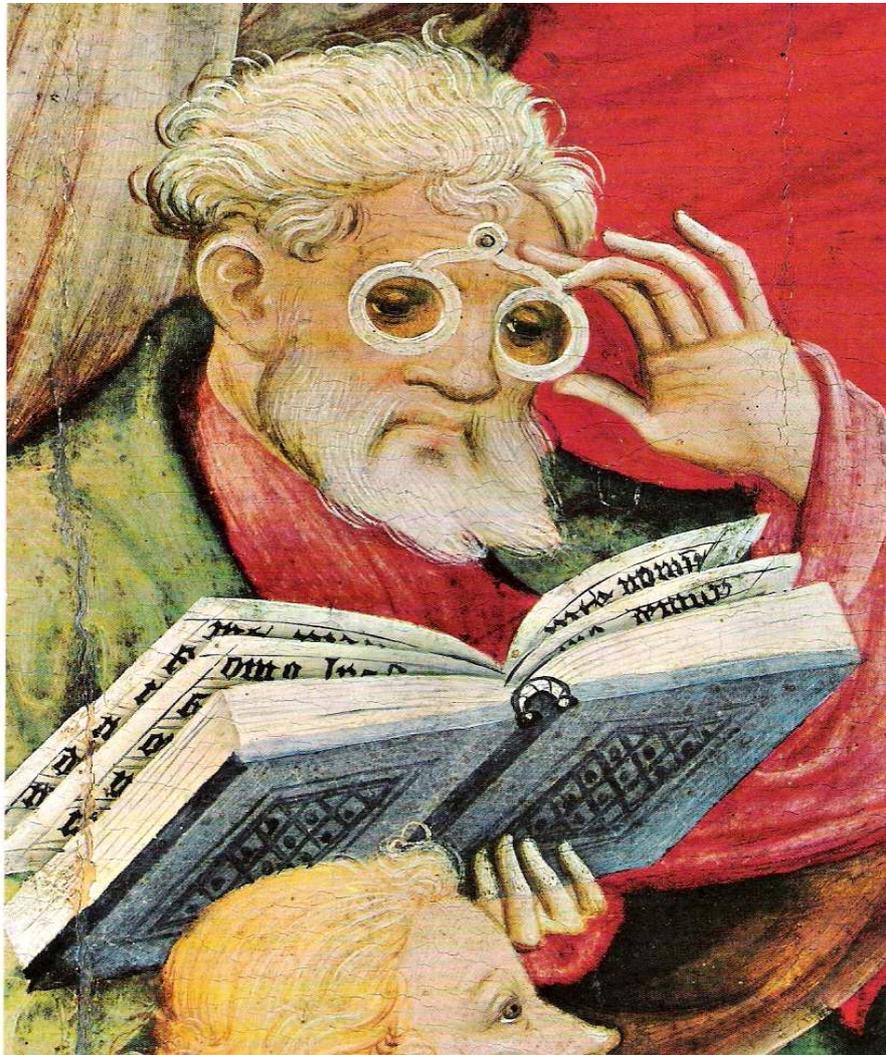


Kombination von diffraktiver und refraktiver multifokaler Intraokularlinse
nach Kataraktoperation zur optimalen Korrektur der Refraktion

Inauguraldissertation

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



vorgelegt von Katarzyna Maria Bahner
aus Kreuzburg/ Polen

Bad Hersfeld 2009

Kombination von diffraktiver und refraktiver multifokaler Intraokularlinse
nach Kataraktoperation zur optimalen Korrektur der Refraktion

Inauguraldissertation

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

vorgelegt von Katarzyna Maria Bahner
aus Kreuzburg/ Polen

Bad Hersfeld 2009

Aus der Augenklinik des Klinikums Bad Hersfeld GmbH

Direktor/ Leiter: **PD Dr. med. W. W. Hütz**

Gutachter: Prof. Dr. M. Gräf

Gutachter: PD. Dr. med. W. W. Hütz

Tag der Disputation: 07.01.2010

	Inhaltsverzeichnis	Seite
1.	Einleitung	5
1.1.	Anatomie und Physiologie der Linse	7
1.2.	Katarakt	7
1.3.	Akkommodation und Presbyopie	8
1.4.	Optische Prinzipien und verschiedene Intraokularlinsen	8
1.4.1.	Diffraktive Intraokularlinsen	8
1.4.2.	Refraktive Intraokularlinsen	9
1.4.3.	Kombination von diffraktivem und refraktivem Prinzip	10
1.5.	Linsenmaterialien	12
1.6.	Sehschärfe	13
1.7.	Lesefähigkeit und Lesegeschwindigkeit	13
2.	Aufgabenstellung	16
3.	Methoden	17
3.1.	Patientenrekrutierung und Auswahlkriterien	17
3.2.	Präoperative Untersuchung	17
3.3.	Kataraktoperation	18
3.3.1.	Implantierte Intraokularlinsen	18
3.3.2.	Perioperative Datenerfassung	19
3.4.	Postoperative Nachuntersuchung	20
3.4.1.	Untersuchung 12 Wochen postoperativ	20
3.4.1.1.	Visusbestimmung	20
3.4.1.2.	Messung der Pupillenweite	21
3.4.1.3.	Bestimmung der Lesegeschwindigkeit (Radner-Tafeln)	21
		Seite

3.4.2.	Nachevaluation 52 Wochen postoperativ	22
3.5.	Statistische Auswertung	24
4.	Ergebnisse	26
4.1.	Präoperative Daten	26
4.2.	Operative Daten	29
4.3.	Postoperative Daten	29
4.3.1.	Visus Ferne binokular	30
4.3.2.	Visus Nähe binokular	32
4.3.3.	Visus Ferne monokular	34
4.3.4.	Visus Nähe monokular	35
4.3.5.	Lesegeschwindigkeit binokular	36
4.3.6.	Lesegeschwindigkeit monokular	40
4.3.7.	Postoperative Pupillenweite	42
4.3.8.	Nachevaluation 52 Wochen postoperativ	43
5.	Diskussion	48
6.	Zusammenfassung	56
7.	Literaturverzeichnis	59
8.	Anhang	65
	Abkürzungsverzeichnis	
	Studienprotokolle	
	Radner-Lesetafel	
	Danksagung	

1. Einleitung

„Sterben ist nichts – doch leben und nicht sehen, das ist ein Unglück“ (Friedrich Schiller, Wilhelm Tell 1,4). So schrieb einer der größten deutschen Dichter des 17. Jahrhunderts. Eine der bedeutendsten, an das Sehen gekoppelten Fähigkeiten des Menschen ist die Lesefähigkeit. In der heutigen Informationsgesellschaft hat diese zunehmend an Bedeutung gewonnen. Der Verlust, lesen zu können, führt zu einer erheblichen Verminderung der Lebensqualität. Der fortschreitende Elastizitätsverlust der Linse zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr führt durch die Abnahme der Akkommodationsbreite zu einer zunehmenden Minderung der Lesefähigkeit. Daneben kommt es im Alter zu einer Abnahme des Kontrastsehvermögens [22]. Aufgrund der zunehmenden Alterung unserer Gesellschaft stellt die Presbyopiebehandlung eine wichtige Aufgabe in Gegenwart und Zukunft dar.

Historisch beschränkte sich die Behandlung der Presbyopie zunächst auf das Tragen einer Lesebrille, später von Kontaktlinsen. Erste Brillenträger wurden von Marco Polo in China im Jahre 1270 gesichtet. Etwa zur gleichen Zeit wurden in Florenz vom Dominikanermönch Alessandro della Spina und seinem Freund, dem Physiker Salvino degli Armati, Brillengläser entwickelt. Das Grab von Armati, der im Jahr 1317 starb, trägt die Inschrift „Der Erfinder der Brille“ [47]. Die erste bekannte bildliche Darstellung einer Brille findet sich in einem Fresko von Tommaso de Modena im Kapitelsaal der Kirche San Nicolo in Treviso, das im Jahre 1352 entstand. Die erste bildliche Darstellung einer Brille nördlich der Alpen zeigt den sogenannten Brillenapostel auf dem Altar der Stadtkirche von Bad Wildungen. Dieses Bild entstand etwa 1403/1404 durch den Maler Conrad von Soest. Nachdem Johann Gutenberg im Jahre 1445 den Buchdruck erfunden hatte, stieg die Nachfrage nach Brillen erheblich und im Jahre 1535 wurde in Nürnberg die erste Brillenmacherzunft gegründet. In dieser Zeit kamen auch die ersten Brillen zur Korrektur von Weitsichtigkeit auf. Das Problem der Lesebrille war und ist nach wie vor jedoch die Tatsache, dass nur in einer bestimmten Distanz eine scharfe Abbildung möglich ist. Erst etwa 1760 wurde die erste bifokale Brille auf Anregung von Benjamin Franklin hergestellt. Etwa in den vierziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts kamen die ersten Brillengläser und Fassungen aus unterschiedlichen Kunststoffen auf.

Die Entwicklung der refraktiven Chirurgie und der Kataraktchirurgie ermöglichte allmählich einen besseren und für den Patienten komfortableren (Brillenunabhängigen) Ausgleich der Presbyopie. Ein erster Ansatz zur operativen Korrektur der Presbyopie war das Monovision-Verfahren mit einem Dioptrienunterschied von 2 bis 3 zwischen dem dominanten und nicht dominanten Auge [29]. Nachteil des Verfahrens ist ein häufig ungenügendes binokulares Sehen.

Vor allem bei jüngeren Patienten ist der Verlust der Akkommodation eine deutliche Einschränkung. Aber auch presbyope Patienten wünschen zunehmend eine Intraokularlinse (IOL), die neben dem Fern- auch den Nahbereich abdeckt. Die operativen Möglichkeiten beinhalten heutzutage akkommodative und multifokale IOL.

Durch eine Vorwärts-Rückwärts-Bewegung sollen akkommodative IOL die natürliche Linsenbewegung während der Akkommodation simulieren und damit zu einer Fokusveränderung führen [15]. Um dies zu erreichen wurden akkommodative IOL mit besonderen Haptiken ausgestattet, wodurch die benötigte Bewegung im Zusammenspiel mit dem Kapselsack ermöglicht werden soll [19]. Die Ergebnisse erster Untersuchungen waren nicht zufriedenstellend, insbesondere, da sich die Akkommodationsbreite aufgrund optischer Gegebenheiten als begrenzt erwies [33, 52].

Multifokale IOL werden seit Ende der 80er Jahre im Rahmen der Katarakt- und refraktiven Chirurgie implantiert. Eine weitgehende Brillenunabhängigkeit ist hierdurch prinzipiell möglich geworden. Jedoch müssen die Nachteile störender photischer Phänomene wie Blendung, Lichtringe, Strahlenkränze und reduziertes Kontrastsehen gegenüber dem Vorteil der weitgehenden Brillenunabhängigkeit abgewogen werden. So trafen frühere Modelle noch auf eine mäßige Akzeptanz. In den letzten Jahren sind multifokale IOL jedoch so weiterentwickelt worden, dass photische Phänomene in ihrer Ausprägung reduziert werden konnten [25, 34]. Die ersten multifokalen IOL hatten entweder ein refraktives Zwei- bis Dreizonen Design oder waren vom diffraktiven Typ [7]. Es mussten relativ große Zugangswege gewählt werden (Schnittgröße bis 7 mm bei starren PMMA-MIOL), um die starren Linsen zu platzieren, was Komplikationen wie einen sehr hohen Hornhautastigmatismus zur Folge hatte. Einen geringen Astigmatismus und eine bessere Kapselsackfixation konnte durch die neue Generation von faltbaren, multizonalen, progressiven, refraktiven multifokalen IOL erreicht werden. Den heutigen Goldstandard stellen faltbare, asphärische, diffraktive und refraktive multifokale IOL dar. Durch verbesserte Operationstechniken (astigmatismusneutrale Kleinschnitttechniken) und insbesondere eine verbesserte Biometrie werden diese modernen faltbaren

multifokalen IOL neben der reinen Aphakiekorrektur auch zur refraktiven Linsen Chirurgie eingesetzt [50, 51].

1.1. Anatomie und Physiologie der Linse

Bei Neugeborenen hat die Linse einen Durchmesser von 7, beim Erwachsenen von 10 mm. Als Bikonvexlinse ist sie in der Mitte am dicksten (4 mm). Die ausgebildete Linse ist transparent und ihre Vorderfläche ist weniger stark gewölbt als die Hinterfläche. Ihre Brechkraft beträgt ca. +18 Dioptrien. Die frische Linse hat eine weiche Konsistenz, die durch den hohen Wassergehalt bedingt ist (65-75%). Im Alter enthalten die Linsen einen härteren Linsenkern, um den herum - als Zeichen postnatalen Linsenwachstums - konzentrische Linsenschalen angelegt sind. Am vorderen und hinteren Rand der Linse befestigen sich die Zonulafasern. Sie kommen vom Processus ciliaris. Die Aufgabe der Linse ist die Fokussierung der einfallenden Lichtstrahlen auf die Netzhaut.

1.2. Katarakt

Unter einer Katarakt (grauer Star) versteht man eine angeborene oder erworbene Trübung der Augenlinse. Das Wort Katarakt bedeutet „Wasserfall“ (griechisch katarrhaktes = herabstürzend). Die häufigste Form des grauen Stars ist mit 90% der Fälle die idiopathische senile Katarakt. Daneben können Traumata, Medikamente, Entzündungen, Systemerkrankungen oder intrauterine Infektionen eine Katarakt verursachen. Katarakte werden nach verschiedenen Kriterien eingeteilt. So unterscheidet man nach dem zeitlichen Auftreten kongenitale, juvenile, präsenile und senile Katarakte. Die Symptome der Katarakt treten bei den verschiedenen Kataraktformen unterschiedlich ausgeprägt auf. Typisch ist eine Sehverschlechterung mit Blendung und Nebelsehen, auch Doppelbilder werden gelegentlich wahrgenommen. Zudem erscheint das Farb- und Kontrastsehen vermindert. Weltweit sind laut WHO etwa 50 Millionen Menschen durch eine Katarakt erblindet. Die operative Entfernung der getrübbten Augenlinse mit Implantation einer Kunstlinse stellt aktuell die einzige Therapieform dar. Die Indikation zur Kataraktextraktion hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Medizinische Indikationen sind z.B. die Phakolyse, die reife Katarakt mit Gefahr der Bildung eines

Winkelblockglaukoms, Linsendislokationen oder Traumata [5]. In Industrienationen ergibt sich die Indikation zur Kataraktoperation auch bei noch gutem Visus im Rahmen der refraktiven Chirurgie oder Presbyopiekorrektur.

1.3. Akkommodation und Presbyopie

Unter Akkommodation versteht man die Möglichkeit der Anpassung des Auges an verschiedene Objektentfernungen durch Änderung der Linsenbrechkraft. Die Akkommodationsbreite bezeichnet die Brechkraftsteigerung zwischen Fern- und Nahpunkteinstellung. Die Akkommodationsfähigkeit nimmt mit zunehmendem Lebensalter ständig ab. Veränderungen der Linsenkapselstruktur, eine abnehmende Löslichkeit der Linsenproteine und veränderte Kontaktstrukturen zwischen den kortikalen Linsenfasern bedingen den Elastizitätsverlust der Linse. Die Akkommodationsbreite nimmt ab bis hin zum Verlust der Akkommodationsfähigkeit, was als Presbyopie (Alterssichtigkeit) bezeichnet wird.

1.4. Optische Prinzipien und verschiedene Intraokularlinsen

Die gängigen Multifokallinsen beruhen auf den optischen Prinzipien der Diffraktion und/oder der Refraktion. Folgende Gruppen sind zu unterscheiden:

Diffraktive bifokale IOL, refraktive bi- oder multifokale IOL und Kombinationen von diffraktiven und refraktiven Prinzipien.

1.4.1. Diffraktive Intraokularlinsen

Geht das Licht durch zwei eng nebeneinander liegende Spalten, so wird es gebeugt. Die beiden Spalten stellen zwei kohärente Lichtquellen dar, die eine Überlagerung von Lichtquellen erzeugen können (Interferenz). Je nach Phasenbeziehung und Amplitudenstärke der Lichtwellen können sich diese hinter den Spalten verstärken oder gegenseitig auslöschen. Es entstehen so verschiedene Interferenzbilder als Abbildungen auf einer Ebene [7].

Diffraktive multifokale IOL bestehen in der Regel aus einer sphärischen refraktiven Vorderfläche und einer diffraktiv wirksamen Rückfläche. An der Rückfläche wirken ca. 30 konzentrische Ringe mit einer Stufenhöhe von 2 μm als Phasengitter zur Beugung der einfallenden Lichtstrahlen, die auf einen Fern- und Nahpunkt gebündelt werden. Aus physikalischen Gründen entfallen bei diffraktiven multifokalen IOL 41% des Lichts auf jeweils den Fern- und Nahpunkt, 18% gehen allerdings als Streulicht verloren. Der Vorteil des diffraktiven Prinzips ist, dass an jeder Stelle der Optik die gleiche Abbildung bei konstanter Beleuchtung erfolgt, der bifokale Effekt somit unabhängig vom Pupillendurchmesser und der Zentrierung ist. In Abbildung 1 ist als Beispiel eines diffraktiven Linsentyps schematisch die in dieser Studie verwandte TecnisZM900 (AMO, Santa Ana, CA) dargestellt.

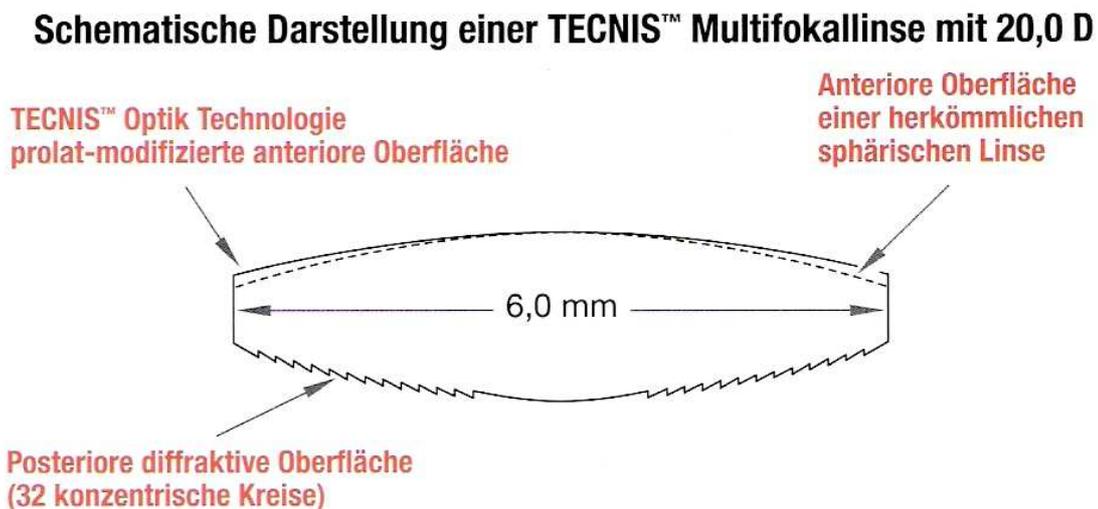


Abbildung 1: Schematische Darstellung der TecnisZM900 als Beispiel eines diffraktiven Linsentyps.

1.4.2. Refraktive Intraokularlinsen

Das optische Prinzip der refraktiven multifokalen IOL unterscheidet sich grundsätzlich von dem der diffraktiven Linsen. In der Regel werden mindestens 2 oder mehrere sphärische Zonen bei refraktiven bifokalen oder multifokalen IOL auf der Vorderfläche der Linse angelegt. Vorteil der refraktiven multifokalen IOL ist die bessere Lichtausnutzung und Verteilung, Nachteil hingegen die Abhängigkeit von Pupillengröße

und Zentrierung [7, 42]. Zunächst kamen Zweizonenlinsen zur Anwendung, wobei hier ein zentraler Nahteil (Addition +4,0 dpt.) mit einem peripheren Fernteil kombiniert wurde. Hierdurch wurde eine gute Pseudoakkommodation erzielt, indem beim Blick in die Nähe eine Nahmiosis der Pupille entstand und somit vorwiegend der Nahteil der Linse wirksam wurde und bei Fernblick und entsprechend weiterer Pupille der periphere Fernteil zum Tragen kommt. Dieses Prinzip ist jedoch abhängig vom Pupillendurchmesser und einer optimalen Zentrierung. Weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der refraktiven IOL waren Linsen, die zusätzlich einen guten intermediären Visus ermöglichen sollten. Zu diesen zählen multifokale IOL mit 5 refraktiven Zonen auf der Linsenvorderfläche (z.B. Array, AMO). Insbesondere eine asphärisch-progressive Optik sollte die Verbesserung im Intermediärbereich gewährleisten. Die von der Firma Rayner eingeführte M-flex, eine vier- bzw. fünfzonale refraktive multifokale IOL, zeichnet sich hingegen durch hervorragende Rotationsstabilität und geringgradige Dezentrierung aus.

1.4.3. Kombination von diffraktivem und refraktivem Prinzip

Es gibt auch Linsenmodelle, bei denen die diffraktiven und refraktiven Eigenschaften kombiniert werden. Ein Beispiel ist die Alcon-ReSTOR (Alcon Laboratories) mit einem 3mm umfassenden zentralen diffraktiven Anteil, der als apodisierende Zone angelegt ist, was eine graduelle Abnahme der diffraktiven Stufenhöhe zum Rand der Linse bedeutet. Dies schafft einen besseren Übergang zwischen Nah- und Fernbrennpunkt und verringert so unerwünschte Lichtsensationen, so genannte photische Phänomene. Der refraktive Anteil ist in der Peripherie der Linse angelegt und soll beim Blick in die Ferne den Fernanteil verstärken. Ein weiterer Ansatz ist die Acri.Twin-Serie von Acri.Tec/Carl Zeiss Meditec, bei der in beide Augen jeweils IOL mit unterschiedlicher Fern- und Nahgewichtung der Lichtverteilung implantiert werden. In das ferndominante Auge wird eine Linse mit einem Lichtanteil von 70% für die Ferne implantiert, in das nahdominante hingegen eine Linse mit einem Lichtanteil von 70% für die Nähe. Dadurch wird die Sehschärfe in der Nähe verbessert [39]. Nach diesem System kann für jeden Patienten individuell auf das Führungsaugen eingegangen werden. Studien zu den verschiedenen oben beschriebenen Linsentypen und Kombinationen belegen gute funktionelle Ergebnisse [3, 4, 30].

Abbildung 2 zeigt schematisch im Vergleich die Unterschiede der Strahlengänge einer diffraktiven und refraktiven multifokalen IOL. Während von einer diffraktiven multifokalen IOL die Strahlen konusförmig in Richtung Nah- bzw. Fernpunkt laufen, sind es bei refraktiven Linsen mehr oder weniger Einzelstrahlen, die sich im Nah- bzw. Fernpunkt treffen.

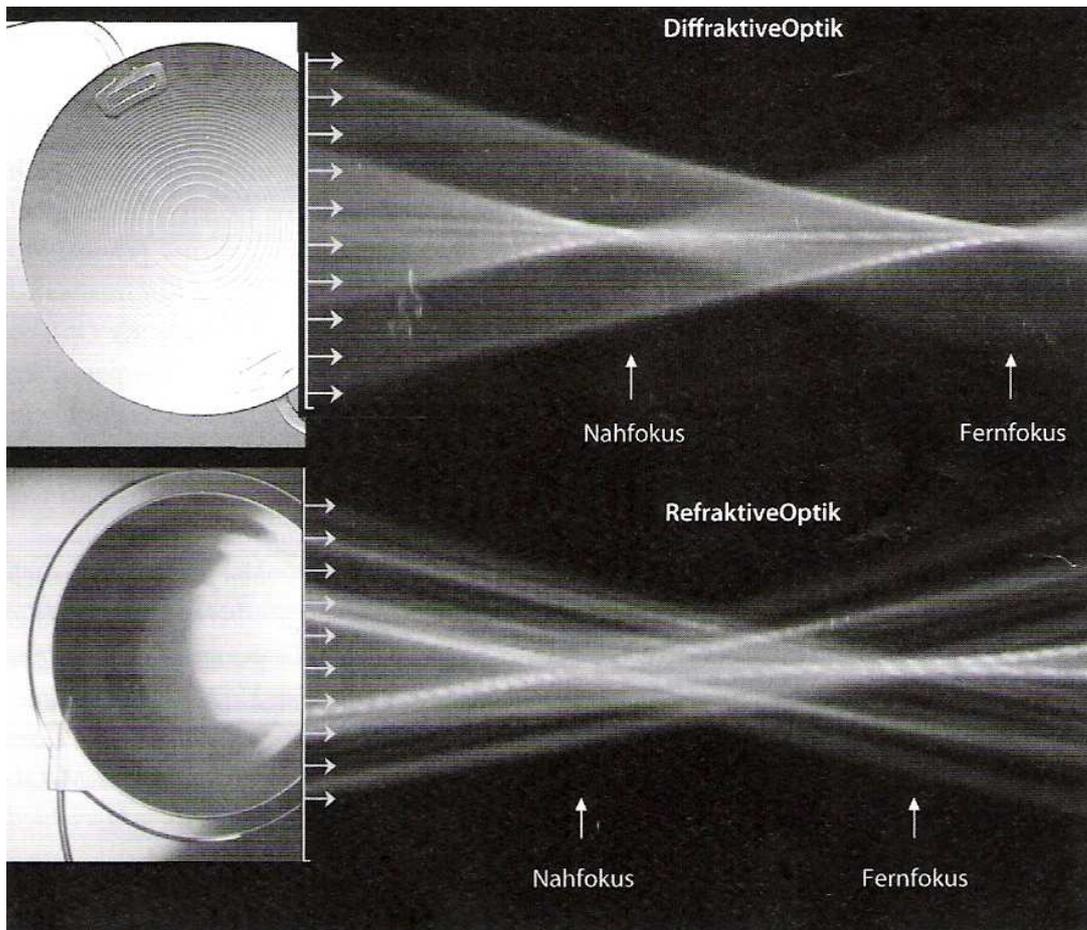


Abbildung 2: Unterschiede der Strahlengänge einer diffraktiven und refraktiven multifokalen Intraokularlinse (freundlicherweise überlassen von Dr. rer. nat. Thom Terwee, Groningen, Niederlande).

Die optische Bank zur Untersuchung von multifokalen Intraokularlinsen ist in Abbildung 3 dargestellt. Die natürlichen Verhältnisse werden hier simuliert, d.h. die zu untersuchende IOL befindet sich umgeben von Wasser in einem künstlichen Auge. Dadurch werden die in Abbildung 2 gezeigten Bilder generiert, indem Argonlaserstrahlen durch die IOL geschickt werden und dann der Strahlengang photographisch festgehalten wird.

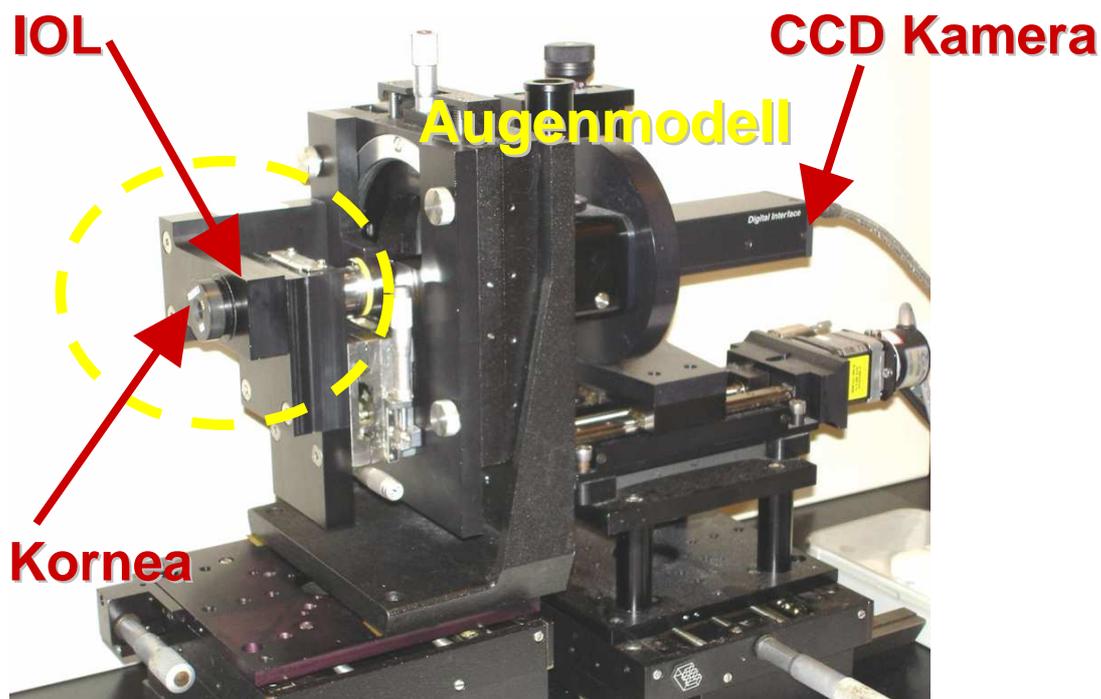


Abbildung 3: Optische Bank zur Untersuchung von multifokalen Intraokularlinsen (freundlicherweise überlassen von Dr. rer. nat. Thom Terwee, Groningen, Niederlande).

1.5. Linsenmaterialien

Intraokularlinsen werden aus verschiedenen Materialien hergestellt. Die in dieser Studie verwendete TecnisZM900 (AMO) gehört zur Gruppe der hydrophoben Silikonelastomere. Es handelt sich um eine faltbare, asphärische, diffraktive, dreistückige Silikonhinterkammerlinse mit scharfer Optikkante. Die für das Partnerauge verwandte ReZoom (AMO) gehört wiederum zur Gruppe der Acrylate und Methacrylatpolymere.

Die ReZoom zeichnet sich durch eine scharfe Optikkante (sog. OptiEdge Design) aus. Es handelt sich um eine faltbare, dreistückige, refraktive multifokale Acrylat-IOL [6].

1.6. Sehschärfe

Sehschärfe wird synonym für Visus gebraucht. Die Sehschärfe ist die zentrale Funktion des Sehorgans. Die Bestimmung der Sehschärfe ist mit den Festlegungen der Europäischen Norm EN ISO 8596 definiert. Ein Landoltring, dessen Öffnung unter einem Sehwinkel von einer Bogenminute erscheint, repräsentiert den Visus 1,0. Die Sehzeichen für andere Visuswerte werden durch Vergrößerung bzw. Verkleinerung um den Faktor 1,26 bzw. 0,79 gewonnen. Die Abstufung zwischen den einzelnen Sehschärfewerten entspricht nur dann der Empfindungsstärke, wenn logarithmisch skaliert wird [17]. Für einen Patienten, der nur über eine Sehschärfe von 0,1 verfügt, ist ein Anstieg um 0,1 auf 0,2 ein großer Gewinn, denn die Sehschärfe hat sich verdoppelt, und der Patient kann nun ein Schild aus einer doppelt so großen Entfernung lesen. Für einen Patienten mit der Sehschärfe 0,8 hingegen ist eine Erhöhung um 0,1 auf 0,9 praktisch unbedeutend, da sich die Sehschärfe nur um den Faktor 1,125 verbessert hat. Aus diesen Beispielen geht hervor, dass die Sehschärfe nicht in arithmetisch gleichen Abständen, sondern geometrisch mit einem konstanten Faktor, also logarithmisch, skaliert sein sollte. In der wissenschaftlichen Literatur wird anstelle der Sehschärfe oft der dekadische Logarithmus des Minimum separabile (minimum angle of resolution = MAR) angegeben (logMAR), wengleich als Sehschärfemaß der negative logMAR korrekt wäre, denn die Sehschärfe verhält sich reziprok zum Minimum separabile [21]. Unter dem minimalen Auflösungswinkel ist der kleinste Gesichtswinkel zu verstehen, unter dem zwei Punkte oder zwei Linien noch getrennt wahrgenommen werden können [8]. Es handelt sich um den Kehrwert der Sehschärfe. Damit sind logMAR und logSehschärfe bis auf das Vorzeichen identisch.

1.7. Lesefähigkeit und Lesegeschwindigkeit

Die Lesegeschwindigkeit spiegelt eine Sehleistung wider, die nicht in der augenärztlichen Routineuntersuchung erfasst wird und sich nicht unerheblich von der optotypischen Bestimmung der Sehleistung nach Snellen unterscheiden kann [35, 36]. So stimmt die anguläre Sehschärfe auch nicht immer mit der Zufriedenheit des Patienten mit dem

Sehvermögen im Alltag überein. Die nach Snellen bestimmte Sehleistung stellt nur einen Aspekt des Sehvermögens dar. Die Patientenzufriedenheit mit der erreichten Sehleistung wird hingegen durch die Lesefähigkeit im Alltag nicht unwesentlich beeinflusst. Die Lesefähigkeit ist somit ein wesentlicher Bestandteil des Sehvermögens. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die Verbesserung des Sehvermögens nicht allein durch die Bestimmung der angulären Sehschärfe beurteilt werden kann [38, 46]. Ebenso gibt es keine lineare Beziehung zwischen der maximalen Lesegeschwindigkeit und der angulären Sehschärfe. Eine Bestimmung der Lesegeschwindigkeit ist nicht mit den üblichen Lesetafeln (Snellen, Birkenhäuser, Jäger etc.) möglich, sondern nur mit speziell dafür entworfenen Tafeln, wie den sog. Radner Lesetafeln [44]. Da die im englischsprachigen Raum entwickelten Testverfahren, die vor allem für Sehbehinderte entwickelt wurden [16, 35], im deutschen Sprachraum nicht verwendet werden können, wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Ophthalmologen, Linguisten und Psychologen von Radner et al. [44] eine Lesetafel zur definierten und reproduzierbaren Prüfung von Lesefähigkeit und Lesegeschwindigkeit entwickelt. Diese besteht aus kurzen Testsätzen, die sich bezüglich syntaktischer Struktur sowie Satz- und Wortlänge gleichen und deren lexikalisches Niveau mittels statistischer Auswahlverfahren an einer Personengruppe (n=160) definiert und geeicht worden ist. Die Testsätze sind Relativsätze. Das Niveau der Testsätze wurde dem der 3. Schulstufe angepasst. Es wurde darauf geachtet, dass die Verteilung ein-, zwei-, drei- bzw. mehrsilbiger Wörter jener von Texten dieses Schwierigkeitsgrades entspricht. Jeder Satz besteht aus 3 Zeilen, 14 Wörtern, 22-24 Silben und 82-84 Anschlägen. Die Zeichengrößen der Lesetafeln sind logarithmisch abgestuft (Faktor 1,25) und als logRAD (Reading Acuity Determination) definiert. Ein logRAD von 0 entspricht einer Sehschärfe von 1,0, ein höherer logRAD-Wert entspricht einem geringeren Sehschärfewert. Eine Gegenüberstellung der gebräuchlichen Skalen findet sich in Tabelle 1. Durch die logarithmische Abstufung ist eine einfache Anpassung der Ergebnisse an jede beliebige Prüfdistanz möglich. Aus dem logRAD-Wert des zuletzt gelesenen Satzes und der Summe der Silben aller falsch gelesenen Wörter kann ein definierter logRAD-Score errechnet werden, der auch die Lesefehler berücksichtigt. Jede Silbe hat die log-Wertigkeit 0,005. Die Silben aller falsch gelesenen Wörter werden zusammengezählt, mit 0,005 multipliziert (ergibt die Fehlerzahl) und dem erhobenen logRad-Wert hinzugerechnet. Die Berechnung des logRAD-Scores gewährleistet, dass sich Fehler beim Lesen langer (mehrsilbiger) Wörter stärker auf den Score auswirken als Lesefehler bei kurzen Wörtern. Mit der Radner-Lesetafel ist es erstmals möglich, den

Lesevisus (logRAD-Score) mit dem Fernvisus (logMAR) statistisch zu vergleichen und dabei strengen wissenschaftlichen Anforderungen gerecht zu werden. Daneben ermöglichen die Radner-Lesetafeln die exakte Dokumentation von therapiebedingten Veränderungen der Lesefähigkeit einzelner Patienten als auch den statistischen Vergleich von Krankheitsverläufen unterschiedlicher Patientengruppen. Als Parameter können durch die Radner-Lesetafeln die Leseschärfe in der Nähe, die maximale Lesegeschwindigkeit, die Lesegeschwindigkeit bei einer vorgegebenen Schriftgröße, die kritische Schriftgröße und die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit bestimmt werden.

Sehschärfe	logSehschärfe	logMAR	logRAD (40 cm Abstand)
1,25	0,1	-0,1	-0,1
1,0	0	0	0
0,8	-0,1	0,1	0,1
0,63	-0,2	0,2	0,2
0,5	-0,3	0,3	0,3
0,4	-0,4	0,4	0,4
0,32	-0,5	0,5	0,5
0,25	-0,6	0,6	0,6
0,2	-0,7	0,7	0,7

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Sehschärfe, logSehschärfe, logMAR und logRAD.

2. Aufgabenstellung

Ziel der Studie war es, an einem Kollektiv von 20 Patienten durch die Implantation verschiedener multifokaler IOL, die Sehschärfe so zu optimieren, dass eine größtmögliche Brillenunabhängigkeit erreicht werden kann. Dabei war die Hypothese, dass die Kombination einer multifokalen IOL mit guten Eigenschaften in der Ferne und einer multifokalen IOL mit guten Eigenschaften in der Nähe zu einem Optimum an Sehleistung führt, indem die jeweiligen physikalischen und optischen Prinzipien in der Kombination zum Tragen kommen. Bei den in der Studie implantierten Linsen handelt es sich um die refraktive multifokale IOL ReZoom und die diffraktive multifokale IOL TecnisZM900 (AMO).

Da die anguläre Sehschärfe nicht immer mit der Zufriedenheit des Patienten mit dem funktionellen Sehvermögen übereinstimmt, wurde zur Beurteilung des Therapieerfolges und des postoperativen funktionellen Ergebnisses die Bestimmung der Lesegeschwindigkeit als auch der Sehschärfe in der Nähe und im Intermedärbereich mit den Lesetafeln nach Radner [43] herangezogen. Dabei kamen unterschiedliche Korrektionsbedingungen zur Anwendung. Die Erhebung der präoperativen Daten wie Sehschärfe in der Ferne und Nähe, Refraktion, Augendruck und anatomischer Befund sowie die Erhebung der Daten der ersten postoperativen Untersuchung dienten dazu, die Ein- und Ausschlusskriterien zu kontrollieren und eine optimale Patientenselektion zu erreichen. Die Nachuntersuchung erfolgte 3 Monate postoperativ, eine erneute Evaluation mit Erhebung der subjektiven Patientenzufriedenheit wurde nach 1 Jahr durchgeführt.

3. Methoden

3.1. Patientenrekrutierung und Auswahlkriterien

Für den Einschluss der Patienten galten folgende Kriterien:

- Alter > 50 Jahre
- Bilaterale Katarakt
- Operation des 2. Auges innerhalb von 2 Wochen
- Verfügbarkeit der Probanden für Nachuntersuchungen
- Schriftliches Einverständnis zur Operation

Als Ausschlusskriterien galten:

- Hornhautastigmatismus > 1 Dioptrie
- Pupillenweite < 2,5 mm
- Folgende Augenerkrankungen: Amblyopie, Hornhautdystrophie, diabetische Retinopathie, Makuladegeneration, Aniridie oder Irisatrophie, Glaukom, Mikrophthalmus, Optikusatrophie, Z.n. Uveitis oder Iritis, Z.n. okulärer Chirurgie (z.B. Z.n. Netzhautablösung, Z.n. Keratoplastik)

Es wurden insgesamt 20 Patienten in die Studie eingeschlossen. Komplikationen während der Operation wie eine Kapselruptur, primäre Fibrose oder Zonulolyse mit IOL-Dezentrierung führten zum Ausschluss aus der Studie.

3.2. Präoperative Untersuchung

Nach Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien und Erhalt des schriftlichen Einverständnisses erfolgte die Eingangsuntersuchung, die folgende Untersuchungsschritte beinhaltete:

- Bestimmung des Fernvisus ohne und mit Korrektur
- Bestimmung der objektiven Refraktion mit dem automatischen Refraktometer Topcon RM-KR-8800®, Topcon Deutschland GmbH, Willich, Deutschland

- Bestimmung der Pupillenweite unter photoptischen Bedingungen mit Goldmann-Perimeter
- Bestimmung der Keratometerwerte und der Stärke der zu implantierenden Intraokularlinse mit dem IOL-Master® und der Formel SRK/T [18, 49]
- Bestimmung des Führungsauges mittels eines monokularen Trichtersystems mit eingesetztem Amsler-Netz

3.3. Kataraktoperation

Alle Operationen wurden vom gleichen Operateur durchgeführt. Der Eingriff erfolgte in Parabulbäranästhesie. Der Zugang zur Vorderkammer wurde über eine temporale Clear Cornea Incision (CCI) von 3,2 mm Breite durchgeführt. Es erfolgte eine vordere zirkuläre Kapsulorrhexis mit einem Durchmesser von etwa 6 mm. Anschließend wurden eine Hydrodissektion und Phakoemulsifikation mit ausgiebiger Politur des verbleibenden Kapselsacks mit dem I/A System durchgeführt. Am Ende erfolgten die Implantation der Hinterkammerlinse mittels eines Shooters in den Kapselsack und das Ausspülen des Viskoelastikums sowie die Hydrierung der Zugänge mit BSS-Lösung. In das ferndominante Auge wurde jeweils die multifokale IOL ReZoom implantiert, in das nahdominante Auge die multifokale IOL TecnisZM900 (AMO). Postoperativ erhielten die Patienten über eine Woche Steroid-Augentropfen viermal täglich und Antibiotika-Augentropfen viermal täglich. Die Operationen beider Augen erfolgte innerhalb von 2 Wochen.

3.3.1. Implantierte Intraokularlinsen

ReZoom

Bei der refraktiven ReZoom handelt es sich um eine asphärische multifokale IOL aus hydrophobem Akrylat, die sich durch 5 refraktive optische Zonen auszeichnet. Die Zonen 1 (Zentrum), 3 und 5 sind auf die Ferne ausgerichtet, die Zonen 2 und 4 auf die Nähe. Es besteht eine 100%ige Lichtdurchlässigkeit. Hierdurch soll auch ein guter Visus im Intermediärbereich erreicht werden. Die Nahaddition beträgt +3,2 dpt. Durch den Aufbau der Linse und ein sogenanntes OptiEdge-Design sollen die photischen Phänomene

vermindert werden. In Studien konnte gezeigt werden, dass die ReZoom einen guten Fernvisus ermöglicht, aufgrund der geringen Nahaddition aber schlechter beim Lesen in der Nähe ist [12, 14].

TecnisZM900

Die andere hier verwendete multifokale IOL TecnisZM900 weist eine diffraktive Rückfläche mit konzentrischen Ringen auf. Es handelt sich um eine faltbare Silikonlinse, die sich ebenfalls durch eine scharfe Optikkante und einen Ultraviolettfilter auszeichnet. Der Aufbau bedingt unabhängig von der Pupillenweite eine Verteilung des einfallenden Lichtes zu 41% auf den Nahpunkt und zu 41% auf den Fernpunkt. 18% des Lichts gehen als Streulicht verloren. Als Nahzusatz wurden +4,0 dpt gewählt. Um sphärische Aberrationen zu reduzieren, wurde eine prolat-modifizierte anteriore Oberfläche entwickelt. Die TecnisZM900 ermöglicht einen guten Nahvisus und die beste Lesegeschwindigkeit bei etwas schlechterem Visus für die Ferne, wie u.a. in der Studie von Hütz et. al. gezeigt werden konnte [26].

3.3.2. Perioperative Datenerfassung

Folgende Daten wurden bei jedem Patienten erfasst: Inzisionstyp, implantierter Linsentyp (ReZoom bzw. TecnisZM900), Komplikationen wie Kapselruptur, primäre Fibrose, IOL-Dezentrierung nach Zonulolyse. Das Protokoll der intraoperativen Datenerfassung ist im Anhang wiedergegeben.

3.4. Postoperative Nachuntersuchung

Die postoperative Kontrolle erfolgte nach 12 und 52 Wochen.

3.4.1. Untersuchung 12 Wochen postoperativ

Die Ergebnisse dieser Nachuntersuchung dienten als Grundlage für die statistischen Berechnungen, da ab diesem Zeitpunkt der Heilungsvorgang mit endgültiger Positionierung der Intraokularlinse abgeschlossen ist. Die Nachkontrolle nach 3 Monaten umfasste folgende Untersuchungen in unten angegebener Reihenfolge:

- Bestimmung der objektiven Refraktion mit dem automatischen Refraktometer Topcon RM-KR-8800®
- Bestimmung der Sehschärfe in der Ferne mit und ohne Korrektur, monokular
- Bestimmung der Sehschärfe in der Ferne mit und ohne Korrektur, binokular
- Bestimmung der Sehschärfe in der Nähe mit bester Fern- und ohne Korrektur, monokular
- Bestimmung der Sehschärfe in der Nähe mit bester Fern- und ohne Korrektur, binokular
- Bestimmung der Pupillenweite mit Goldmannperimeter bei photopischen Lichtbedingungen (100 cd/m^2)
- Bestimmung der Keratometerwerte mittels Zeiss-IOL-Master®
- Bestimmung der Lesegeschwindigkeit mittels Radner-Tafeln bei definierten Abständen und Beleuchtungen

3.4.1.1. Visusbestimmung

Die Visusbestimmung erfolgte in Anlehnung an die von der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und dem Berufsverband der Augenärzte Deutschlands empfohlenen Kriterien zur Sehschärfenbestimmung bei der Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr (ISO 8596/97 bzw. DIN 58220, Teil 3). Es wurden an Normsehzeichen angeschlossene Zahlen (ISO 8597) verwendet [11], die in 5 Metern

Entfernung projiziert wurden (Möller-Wedel-Selectron). Eine Visusstufe wurde als richtig gewertet, wenn mindestens 60% der Zahlen in dieser Visusstufe richtig angegeben worden sind. Wie bei einer gutachterlichen Prüfung wurde eine Lesezeit von ca. 1 Sekunde pro Sehzeichen zugelassen.

Es wurde nach folgendem Ablauf untersucht: Bestimmung der Sehschärfe in der Ferne mit und ohne Korrektur, monokular und Bestimmung der Sehschärfe in der Ferne mit und ohne Korrektur, binokular. In der Nähe wurde analog in 40 cm Abstand zunächst monokular, dann binokular jeweils ohne und mit Korrektur mittels Radner-Tafeln die Sehschärfe bestimmt. Die Bestimmung erfolgte unter photopischen Bedingungen.

3.4.1.2. Messung der Pupillenweite

Die Pupillenweite wurde am Goldmannperimeter unter photopischen Bedingungen (100 cd/m^2) bestimmt. Mit einer geräteinternen Glühlampe wurde die Perimeterhalbkugelfläche ausgeleuchtet, so dass mittels eines Beleuchtungsstärkenmessers (Mavolux digital, Firma Gossen) inklusive eines Leuchtdichtevorsatzes die Lichtdichte gemessen werden konnte. Für eine Leuchtdichte von 100 cd/m^2 erfolgte die Ausleuchtung des Perimeters durch eine zusätzliche Lampe. Zur Bestimmung der Pupillenweite wurde der Kopf auf eine Kinnstütze fixiert. Die Patienten wurden aufgefordert, auf den zentralen Fixierpunkt zu fokussieren. Die Pupillenweite wurde an der Millimeterskala des Okulars (Beobachtertubus) bestimmt.

3.4.1.3. Bestimmung der Lesegeschwindigkeit (Radner-Tafeln)

Die Lesegeschwindigkeit wurde unter standardisierten Bedingungen in 40, 60 und 80 cm Leseabstand und unter der Beleuchtungsdichte von 100 cd/m^2 (photopisch) bestimmt (Abbildung 4). Dabei wurde die Reihenfolge der Untersuchungsabläufe zufällig gewählt, so dass abwechselnd und nicht fest vorgegeben monokular und binokular getestet wurde. Daneben erfolgte die Bestimmung der Lesegeschwindigkeit jeweils ohne Korrektur und mit der besten Fernkorrektur.

Der Testvorgang lief nach folgendem Schema ab: Der Patient wurde aufgefordert, jeweils einen Satz zu lesen, beginnend bei LogRad 0,4 (siehe Anhang S. 72). Die Sätze, die

jeweils 14 Wörter umfassten, sollten in normalem Lesetempo und möglichst fehlerfrei gelesen werden. Bei einem Lesefehler sollte der Satz zu Ende gelesen werden, ohne erneut von vorne zu beginnen. Mit einer Stoppuhr wurde die Lesedauer gemessen. Als Abbruchkriterium galt eine Lesezeit von über 30 Sekunden oder eine völlige Sinnentstellung des Satzes [44]. Das Auswertblatt beinhaltete folgende Daten: Leseabstand, Leuchtdichte, Lesegeschwindigkeit monokular für jedes Auge und binokular. Die Lesegeschwindigkeit wurde in Wörter/ Minute (W/Min.) angegeben und ergab sich aus folgender Formel:

$$\text{Lesegeschwindigkeit [Wörter/Minute]} = 60 \times 14 \text{ Wörter} / \text{Lesezeit [Sekunden]}$$

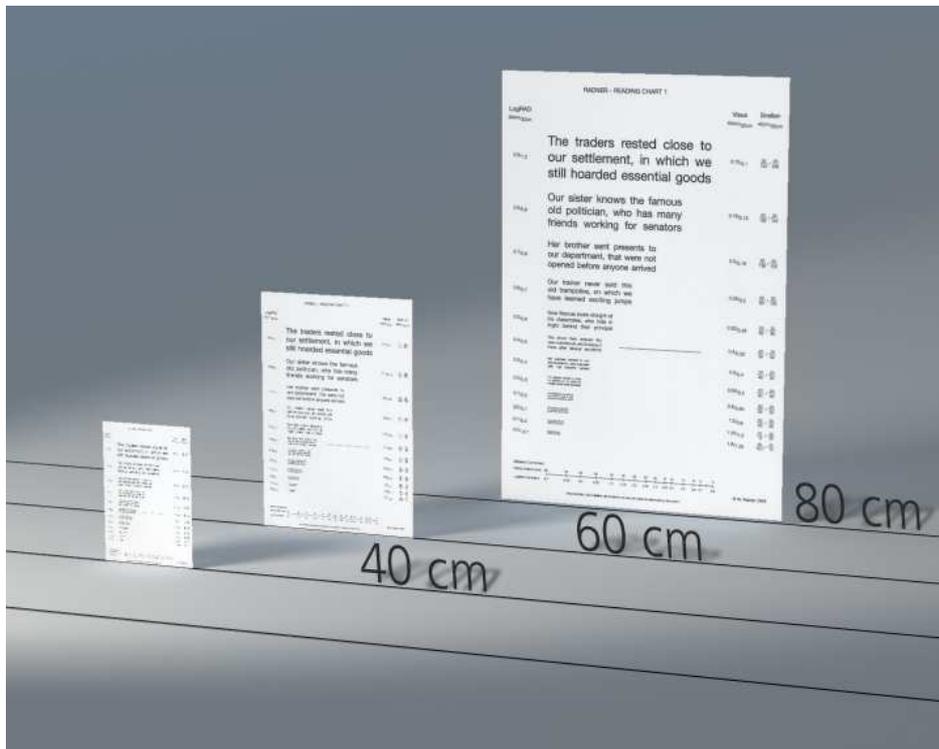


Abbildung 4: Radner-Lesetafeln zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit. Exemplarisch sind Tafeln für Leseabstände in 40, 60 und 80 cm dargestellt.

3.4.2. Nachevaluation 52 Wochen postoperativ

1 Jahr postoperativ wurden bei allen verfügbaren Patienten die subjektive Patientenzufriedenheit und die binokulare Sehschärfe erhoben. Der Erfassungsbogen umfasste Fragen nach photischen Phänomenen wie Lichtringen oder Blendphänomenen, z.B. als Fahrer oder Beifahrer beim Blick in entgegenkommende Fahrzeuge, sowie nach Alltagssituationen wie Tragen einer Brille beim Einkaufen und Zeitung lesen oder beim Fernsehen.

Zur Beurteilung photischer Effekte diente eine Abbildung mit entgegenkommenden Autos, deren Scheinwerfer unterschiedliche Verzerrungen zeigen (Abbildung 5). Die Patienten wurden aufgefordert, die Abbildung anzugeben, die ihrem Seheindruck am nächsten kam. Die Graduierung der Phänomene erfolgte in 4 Stufen: 1 bedeutete keine photischen Phänomene, 2 und 4 milde Lichtringe bzw. Blendphänomene, 3 und 5 moderate Lichtringe bzw. Blendphänomene und 6 entsprach einer schweren Blendung.

Daneben wurden erneut der binokulare Nah- und Fernvisus jeweils ohne und mit bester Fernkorrektur bestimmt.



Abbildung 5: Tafel zur Beurteilung photischer Phänomene bei Dämmerung. Graduierung: #1 keine photischen Phänomene, #2 und #4 milde Lichtringe bzw. Blendphänomene, #3 und #5 moderate Lichtringe bzw. Blendphänomene, #6 schwere Blendung.

3.5. Statistische Auswertung

Die Daten wurden einheitlich dokumentiert (siehe Anhang Seiten 67-71), in Excel 2000 erfasst und in das Statistikprogramm SPSS® Version 13 übertragen. Die statistische Auswertung erfolgte ebenfalls mit dem Statistikprogramm SPSS® Version 13. Die Qualität der erfassten Daten wurde mittels umfangreicher Prüfung auf Plausibilität sichergestellt. Alle Datensätze wurden auf Vollständigkeit, Richtigkeit und Konsistenz geprüft.

Für die Darstellung der Sehschärfe wurde der LogMAW (engl. LogMAR) gewählt [8]. Die biometrische Analyse der Daten erfolgte explorativ. Die deskriptive Auswertung umfasste bei metrischen Merkmalen die Angabe von Mittelwert, Median und Standardabweichung sowie Minimal- und Maximalwert. Für kategoriale Merkmale wurden absolute und relative Häufigkeiten angegeben.

Zur Prüfung der statistischen Signifikanz für die drei Entfernungen (40 cm vs. 60 cm vs. 80 cm) wurde der nichtparametrische Friedman-Test für abhängige Gruppen durchgeführt. Bei einem p-Wert $< 0,05$ wurden anschließend für die Paarvergleiche der nichtparametrische Wilcoxon-Rangsummentest angewendet. Für den Vergleich zwischen den zwei Linsen (ReZoom und TecnisZM900) bei unterschiedlicher Entfernung zur Tafel wurde der Wilcoxon-Rangsummentest durchgeführt. Bei allen durchgeführten statistischen Tests wurde ein p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant bezeichnet.

Für die graphische Darstellung wurden Box-Whisker-Plots verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Diagramm, das zur graphischen Darstellung metrischer Daten verwendet wird. Er zeigt fünf statistische Maßzahlen: den Median, das erste und dritte Quartil und die beiden Extremwerte (Minimum und Maximum). Als „Box“, die 50% der Daten enthält, wird das durch das 1. und 3. Quartil bestimmte Rechteck bezeichnet. Durch die Länge der Box ist der Interquartilabstand abzulesen, der durch die Differenz des oberen und unteren Quartils bestimmt wird und somit ein Maß für die Streuung darstellt. Als weiteres Quartil ist der Median eingezeichnet. Durch seine Lage in der Box vermittelt dieser einen Eindruck von der Schiefe der Verteilung. Die vertikalen Linien werden als Whisker (englisch: Barthaare) bezeichnet. Werte, die über dem 1,5 fachen des Interquartilabstandes über oder unter der Box liegen, werden als Ausreißer bezeichnet und getrennt in das

Diagramm eingetragen. Gibt es keine Werte außerhalb der Whisker, so werden diese durch den maximalen und den minimalen Wert festgelegt.

4. Ergebnisse

4.1. Präoperative Daten

In die Studie wurden insgesamt 20 Patienten eingeschlossen, die alle die abschließende Untersuchung absolvierten und somit für die Auswertung zur Verfügung standen. Die Gruppe bestand aus 6 Männern und 14 Frauen, das mittlere Alter betrug 72,1 Jahre (SD=6,1). Der jüngste Patient war 59 Jahre und der älteste 83 Jahre alt. Die Einzeldaten der präoperativen sphärischen und zylindrischen Refraktion für jeden der 20 Patienten ist in Tabelle 2 dargestellt. Abbildungen 6 und 7 illustrieren graphisch die Verteilung der präoperativen Sphäre bzw. des präoperativen Zylinders der 20 Patienten. Für eine bessere graphische Darstellung wurden bei der Sphäre jeweils die Werte innerhalb einer ganzen Dioptrie zusammengefasst. Von den 40 Augen waren insgesamt 28 hyperop (Mittelwert +2,29 dpt, SD=1,18 dpt, min=1,00 dpt, max=5,00 dpt), 11 myop (Mittelwert -1,70 dpt, SD=0,87 dpt, min=-3,25 dpt, max=-0,50 dpt) und ein Auge war emmetrop.

Patient Nr.	Alter (Jahre)	Geschlecht	Sphäre [dpt] RA	Zylinder [dpt] RA	Sphäre [dpt] LA	Zylinder [dpt] LA
1	81	M	1,5	-0,5	2,25	-0,75
2	79	M	2,75	-0,25	2,5	0
3	73	W	1,0	-0,5	1,0	-0,25
4	74	W	-1,5	-0,5	-3,25	-0,5
5	70	W	1,5	0	1,75	0
6	83	W	4,0	0	3,5	0
7	74	W	1,75	-1,0	1,0	-1,0
8	59	W	1,5	-0,75	2,0	-0,5
9	75	W	-1,25	-1,0	2,0	-0,5
10	73	M	-0,75	-0,25	-2,25	-0,5
11	67	W	-3,0	-0,5	1,0	-0,5
12	68	W	1,0	-1,0	1,0	-0,5
13	71	W	-1,75	-0,5	-0,5	-1,0
14	67	W	5,0	-0,75	5,0	-1,0
15	77	W	2,0	-1,0	2,5	-0,75
16	67	W	3,5	0	3,5	0
17	73	M	2,75	-0,25	3,25	-0,5
18	65	W	-1,5	-0,5	-2,0	-1,0
19	74	M	-1,0	-1,0	0	-1,0
20	62	M	2,5	-0,5	1,0	-0,5

Tabelle 2

Darstellung der Studiengruppe mit Verteilung der präoperativen sphärischen und zylindrischen Refraktion.

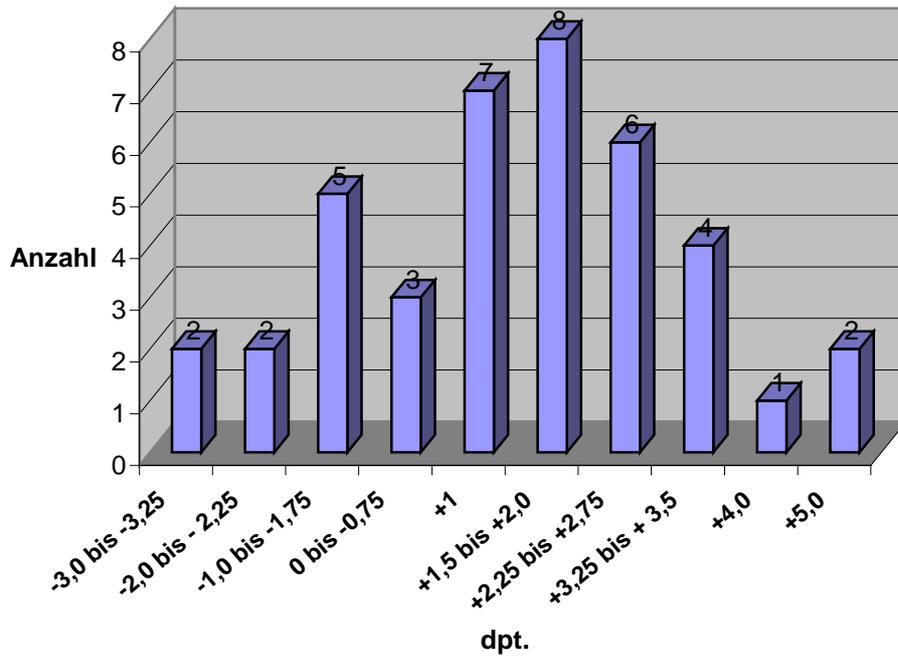


Abbildung 6: Verteilung der präoperativen Sphäre der 40 Augen der Studiengruppe.

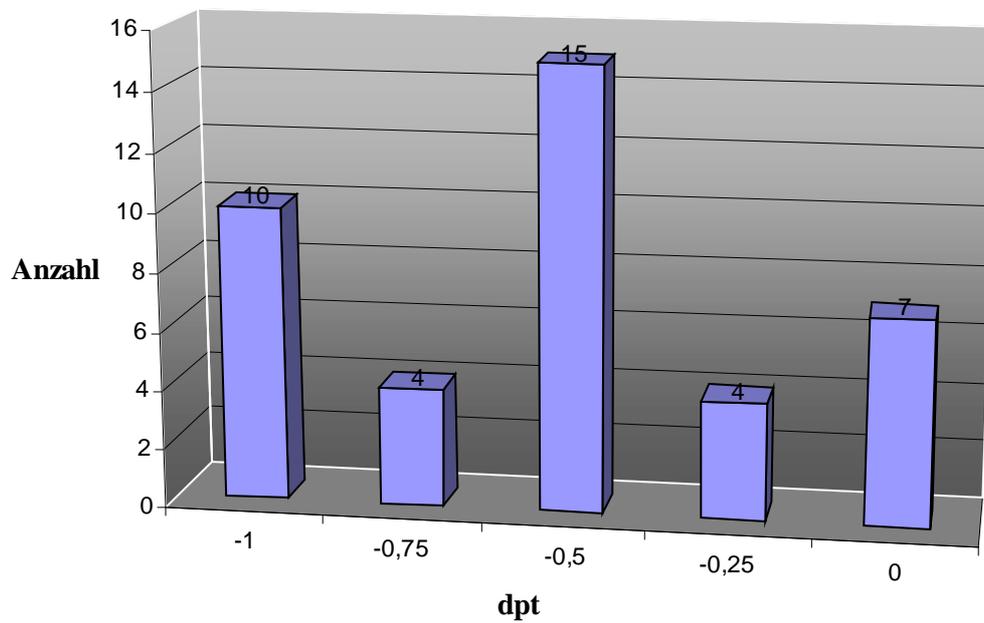


Abbildung 7: Verteilung des präoperativen Zylinders der 40 Augen der Studiengruppe.

4.2. Operative Daten

Die Operation wurde immer vom gleichen Operateur nach dem unter 3.3. beschriebenen Verfahren durchgeführt. Das Protokoll der intraoperativen Datenerfassung ist im Anhang wiedergegeben. In das ferndominante Auge wurde die multifokale IOL ReZoom implantiert, im nahdominanten Auge erfolgte die Implantation der multifokalen IOL TecnisZM900. Insgesamt wurde in die 40 Augen 20 multifokale IOL vom Typ TecnisZM900 und 20 multifokale IOL vom Typ ReZoom implantiert. Komplikationen wie Kapselruptur, primäre Fibrose oder Zonulolyse traten nicht auf.

4.3. Postoperative Daten

In der postoperativen Untersuchung nach 3 Monaten lagen beim sphärischen Anteil 8 Augen (20%) zwischen 0,0 and $-1,0$ dpt, 20 Augen (50%) bei genau 0,0 dpt, 11 Augen (27,5%) zwischen 0,0 und $+1,0$ dpt und 1 Auge (2,5%) bei 1,0 dpt. Beim postoperativen Astigmatismus lagen 2 Augen (5%) bei kleiner $-1,0$ dpt, 17 Augen (42,5%) zwischen 0,0 und $-1,0$ dpt und 21 Augen (52,5%) bei 0,0 dpt. Die Werte der postoperativen Refraktion sind zusammengefasst in Tabelle 3 wiedergegeben.

	Sphäre	Zylinder	Sphärisches Äquivalent
ReZoom	$0,03 \pm 0,29$	$-0,31 \pm 0,38$	$-0,13 \pm 0,28$
TecnisZM900	$0,08 \pm 0,34$	$-0,31 \pm 0,36$	$-0,08 \pm 0,32$
Gesamt (N=40)	$0,05 \pm 0,31$	$-0,31 \pm 0,37$	$-0,11 \pm 0,29$

Tabelle 3: Sphäre, Zylinder and sphärisches Äquivalent der 40 Augen bei der postoperativen Visite (Mittelwert, SD, Angaben in Dioptrien)

4.3.1. Visus Ferne binokular

In Tabelle 4 ist der binokulare Fernvisus ohne und mit bester Fernkorrektur dargestellt. Der unkorrigierte Fernvisus lag im Median bei 0,80 (logMAR 0,10). Der korrigierte Fernvisus lag im Median bei 1,00 (logMAR 0,00). Der Mittelwert für den unkorrigierten Fernvisus lag bei 0,84, für den korrigierten Fernvisus ergab sich ein Mittelwert von 0,95. Ohne Korrektur sahen 85% der Patienten (n=17) 0,80 (logMAR 0,10) oder besser. Mit bester Fernkorrektur erreichten 100% der Patienten (n=20) einen Visus von 0,80 (logMAR 0,10) oder besser. Der schlechteste unkorrigierte Fernvisus lag bei 0,63 (logMAR 0,20), der beste bei 1,0 (logMAR 0,0). Die Daten sind in Abbildung 8 dargestellt. Abbildung 9 illustriert die Ergebnisse für den Fernvisus binokular und im Vergleich der beiden Linsen jeweils ohne und mit bester Fernkorrektur.

	Mittelwert	SD	Median	Min.	Max.
Fernvisus, binokular, sc	0,84		0,80	0,63	1,00
logMAR, sc	0,08	0,07	0,10	0,00	0,20
Fernvisus, binokular, cc	0,95		1,00	0,80	1,25
logMAR, cc	0,03	0,07	0,00	-0,10	0,10

Tabelle 4: Binokularer Fernvisus und logMAR ohne (sc) und mit bester Fernkorrektur (cc).

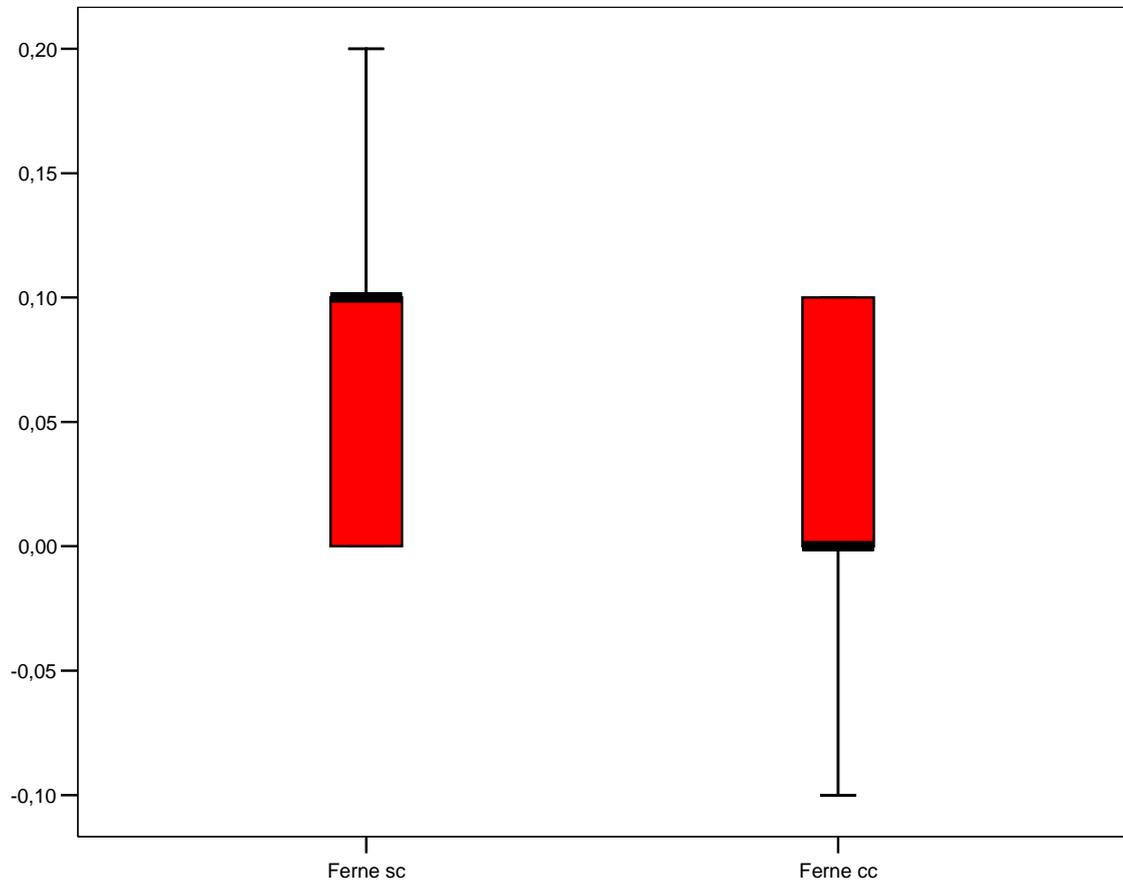


Abbildung 8 : Binokularer postoperativer logMAR für die Ferne ohne Korrektion (sc) und mit bester Fernkorrektion (cc).

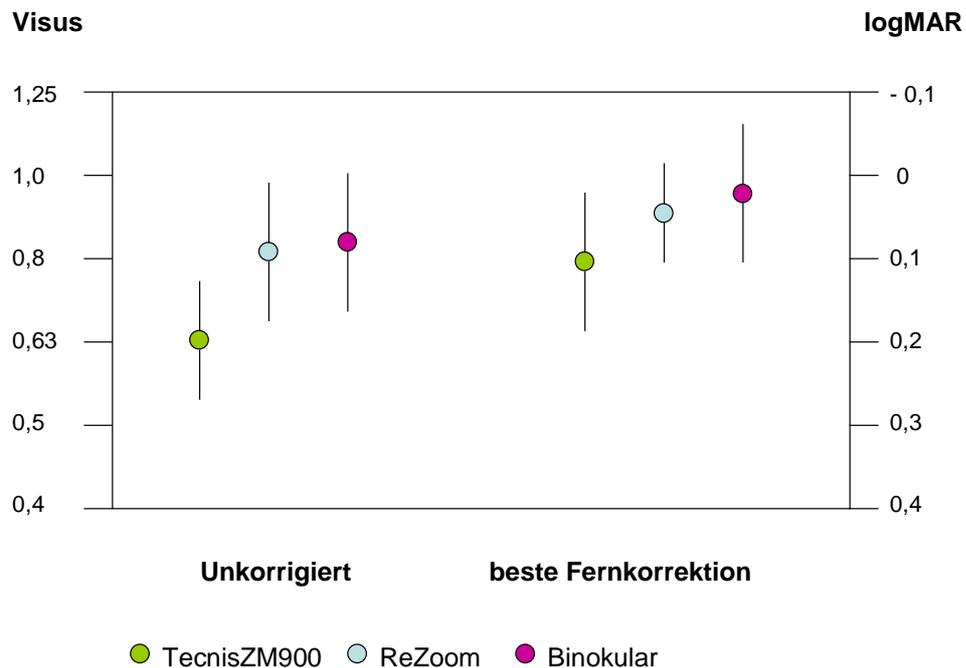


Abbildung 9: Mittelwerte mit Standardabweichung des Fernvisus mit und ohne Korrektur der 20 Patienten im Vergleich der verschiedenen Linsen (monokular und binokular).

4.3.2. Visus Nähe binokular

In Tabelle 5 ist der binokulare Nahvisus ohne und mit der besten Fernkorrektion dargestellt. Der binokulare Nahvisus ohne Korrektur lag im Median bei 0,80 (logMAR 0,10). Der Mittelwert für den unkorrigierten Nahvisus lag bei 0,74, für den korrigierten Nahvisus ergab sich ein Mittelwert von 0,88. Bei 12 Patienten (60%) lag der unkorrigierte Visus bei 0,8 oder besser, nach der besten Fernkorrektion erreichten alle Patienten einen Visus von mindestens 0,8. Der schlechteste unkorrigierte Nahvisus lag bei 0,50, der beste bei 1,0. Abbildung 10 illustriert die Ergebnisse. In Abbildung 11 sind die Ergebnisse für den Nahvisus binokular und im Vergleich der beiden Linsen jeweils ohne und mit bester Fernkorrektion graphisch dargestellt.

	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum
Nahvisus, binokular, sc	0,74		0,80	0,50	1,00
logMAR, sc	0,14	0,07	0,10	0,00	0,30
Nahvisus, binokular, cc	0,88		0,80	0,80	1,25
logMAR, cc	0,06	0,06	0,10	-0,10	0,10

Tabelle 5: Binokularer Nahvisus und logMAR ohne Korrektion (sc) und mit bester Fernkorrektion (cc).

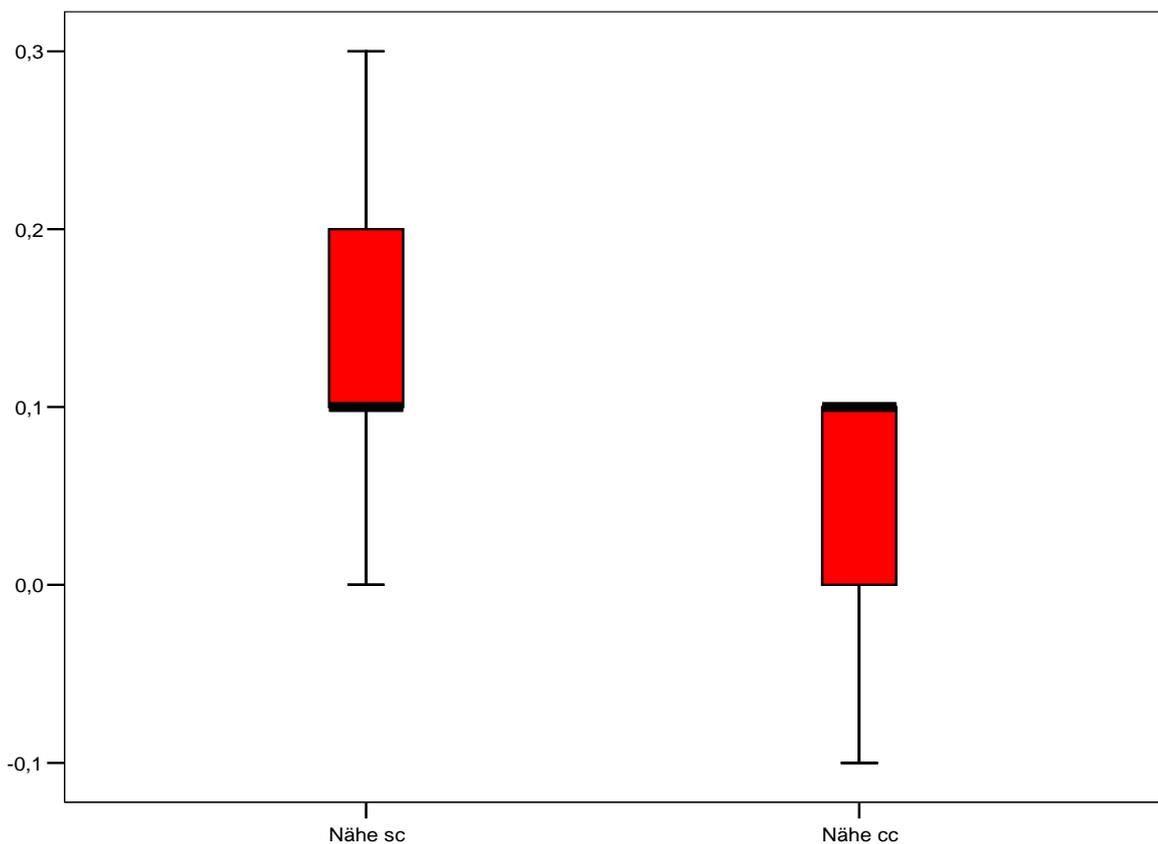


Abbildung 10: Binokularer postoperativer logMAR für die Nähe ohne Korrektion (sc) und mit bester Fernkorrektion (cc).

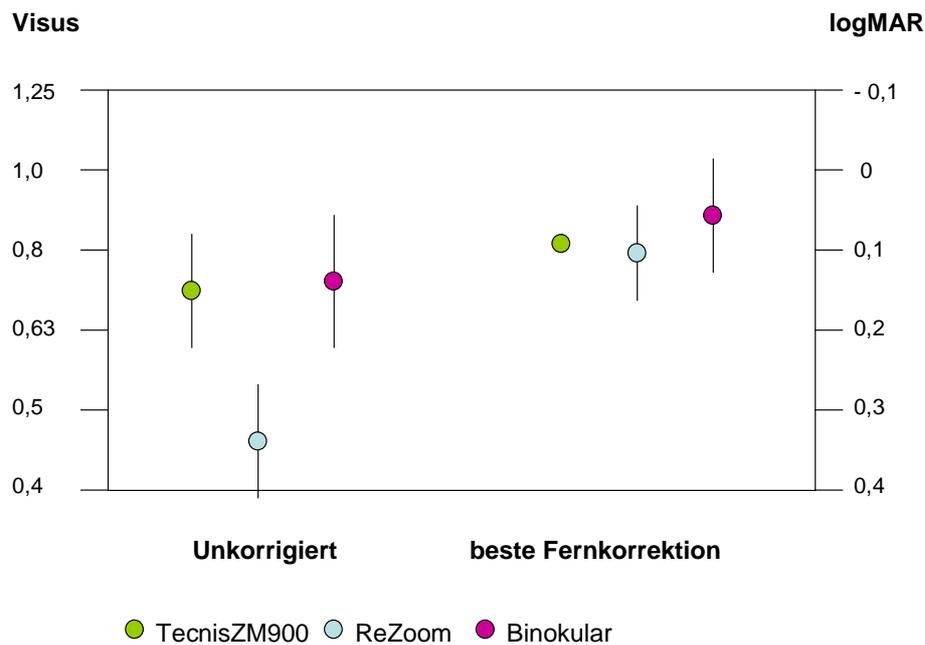


Abbildung 11: Mittelwerte mit Standardabweichung des unkorrigierten und korrigierten Nahvisus der 20 Patienten im Vergleich der verschiedenen Linsen (monokular und binokular).

4.3.3. Visus Ferne monokular

In Tabelle 6 ist die monokulare Sehschärfe in der Ferne für Augen mit einer ReZoom- und mit einer Tecnis-Linse jeweils ohne und mit bester Fernkorrektion nach Umrechnung in logMAR dargestellt. In der Ferne ergaben sich unkorrigiert im Median für die Augen mit der ReZoom ein logMAR von 0,10, für die Augen mit der TecnisZM900 ein logMAR von 0,20, nach bester Fernkorrektion lagen die logMAR-Werte für die ReZoom bei 0,0 und für die TecnisZM900 bei 0,10. Im Vergleich der beiden multifokalen IOL zeigte sich bei 80% (N=18) ein logMAR sc von 0,10 oder besser für die ReZoom. Bei der TecnisZM900 wurde dagegen nur bei 20% (N=4) ein logMAR von mindestens 0,10 erreicht. Nach bester Fernkorrektion ergaben sich für die ReZoom bei allen Augen (N=20) ein logMAR von 0,1 oder besser. Für die Tecnis wurde ein logMAR von mindestens 0,1 dagegen bei 70% (N=14) erreicht. Der Unterschied zwischen der ReZoom und der TecnisZM900 war sowohl ohne als auch mit bester Fernkorrektion statistisch signifikant ($p < 0,001$ bzw. $p = 0,012$).

	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum
ReZoom: logMAR, sc	0,10	0,07	0,10	0,00	0,20
Tecnis: logMAR, sc	0,20	0,06	0,20	0,10	0,30
ReZoom: logMAR, cc	0,04	0,05	0,00	0,00	0,10
Tecnis: logMAR, cc	0,12	0,08	0,10	0,00	0,30

Tabelle 6. LogMAR für die ReZoom- bzw. Tecnis-Linsen ohne Korrektur (sc) und mit bester Fernkorrektur (cc) für die Ferne.

4.3.4. Visus Nähe monokular

In Tabelle 7 ist die monokulare Sehschärfe in der Nähe für die ReZoom- und Tecnislinsen jeweils ohne und mit bester Fernkorrektur nach Umrechnung in logMAR dargestellt. Der unkorrigierte logMAR für die ReZoom lag im Median bei 0,30, für die TecnisZM900 etwas besser bei 0,10, der korrigierte logMAR betrug im Median sowohl für die ReZoom als auch für die TecnisZM900 0,10. Im Vergleich der beiden multifokalen IOL zeigte sich für die ReZoom bei keinem Patienten (N=0) ein unkorrigierter logMAR von 0,1 oder besser, für die TecnisZM900 wurde dagegen bei 60% der Patienten (N=12) ein logMAR von mindestens 0,1 erreicht. Nach bester Fernkorrektur ergaben sich für die ReZoom bei 85% (N=17) ein logMAR von 0,1 oder besser. Für die TecnisZM900 wurde ein logMAR von 0,1 dagegen bei 100% (N=20) erreicht. Der Unterschied zwischen der ReZoom und der TecnisZM900 ohne Korrektur war statistisch signifikant ($p < 0,001$). Nach der besten Fernkorrektur wurde kein statistisch signifikanter Unterschied der beiden Linsen erreicht ($p = 0,824$).

	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum
ReZoom: logMAR, sc	0,34	0,07	0,30	0,20	0,50
Tecnis: logMAR, sc	0,15	0,06	0,10	0,10	0,30
ReZoom: logMAR, cc	0,11	0,06	0,10	0,10	0,30
Tecnis: logMAR, cc	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10

Tabelle 7. LogMAR für die ReZoom- bzw. Tecnis-Linsen ohne Korrektur (sc) und mit bester Fernkorrektur (cc) für die Nähe.

4.3.5. Lesegeschwindigkeit binokular

Die Lesegeschwindigkeit wurde in Abständen von 40, 60 und 80 cm mit den Radner-Lesetafeln untersucht [44]. Die Ergebnisse werden in Anzahl Wörtern/ Minute (W/min) angegeben. Die Untersuchung erfolgte jeweils monokular und binokular sowie ohne und mit bester Fernkorrektur. Um die Linsen miteinander vergleichen zu können, wurden die Werte bei LogRad 0,4 ausgewählt. Diese Schriftgröße entspricht den Anforderungen der meisten Alltagssituationen, z.B. beim Zeitung lesen.

Die Daten für die binokulare Lesegeschwindigkeit sind in Tabelle 8 angegeben. Der Mittelwert der Lesegeschwindigkeit ohne Korrektur bei 40, 60 und 80 cm betrug 133,7, 146,0 und 166,7 W/min, wobei der Unterschied zwischen 40 und 80 cm sowie zwischen 60 und 80 cm statistisch signifikant war ($p=0,001$ bzw. $p=0,001$). Die Patienten konnten also bei einem Leseabstand von 80 cm am schnellsten lesen. Mit bester Fernkorrektur betrug der Mittelwert der Lesegeschwindigkeit 132,4, 143,2 und 163,0 W/min. Auch hier ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied im Vergleich der Leseabstände 40 und 80 cm sowie zwischen 60 und 80 cm ($p=0,002$ bzw. $p=0,002$). Die Lesegeschwindigkeit in allen simulierten Leseabständen veränderte sich allerdings nicht durch eine Fernkorrektur (p -Werte 0,911, 0,411 und 0,575 im Vergleich der Leseabstände 40, 60 und 80 cm jeweils ohne und mit bester Fernkorrektur). Die Abbildungen 12 und 13 illustrieren die Ergebnisse der Lesegeschwindigkeit ohne Korrektur (Abbildung 12) und mit bester Fernkorrektur (Abbildung 13).

	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum
sc					
40 cm	133,7	37,7	125,8	91,0	227,0
60 cm	146,0	30,2	143,3	100,7	223,4
80 cm	166,7	20,6	170,0	122,4	212,1
p-Wert	40 vs 60 vs 80: p<0,001; 40 vs 60: p=0,204 ; 40 vs 80: p=0,001 ; 60 vs, 80: p=0,001				
cc					
40 cm	132,4	32,5	131,6	59,2	202,4
60 cm	143,2	30,9	140,7	88,1	225,2
80 cm	163,0	27,0	155,4	115,9	235,3
p-Wert	40 vs 60 vs 80: p=0,004; 40 vs 60: p=0,145 ; 40 vs 80: p=0,002 ; 60 vs, 80: p=0,002				
p-Wert	40 sc vs 40 cc : p=0,911 60 sc vs 60 cc : p=0,411 80 sc vs 80 cc : p=0,575				

Tabelle 8: Binokulare Lesegeschwindigkeit (in Wörter/Minute) der Patienten ohne Korrektur (sc) und mit bester Fernkorrektur (cc), photopische Lichtbedingungen.

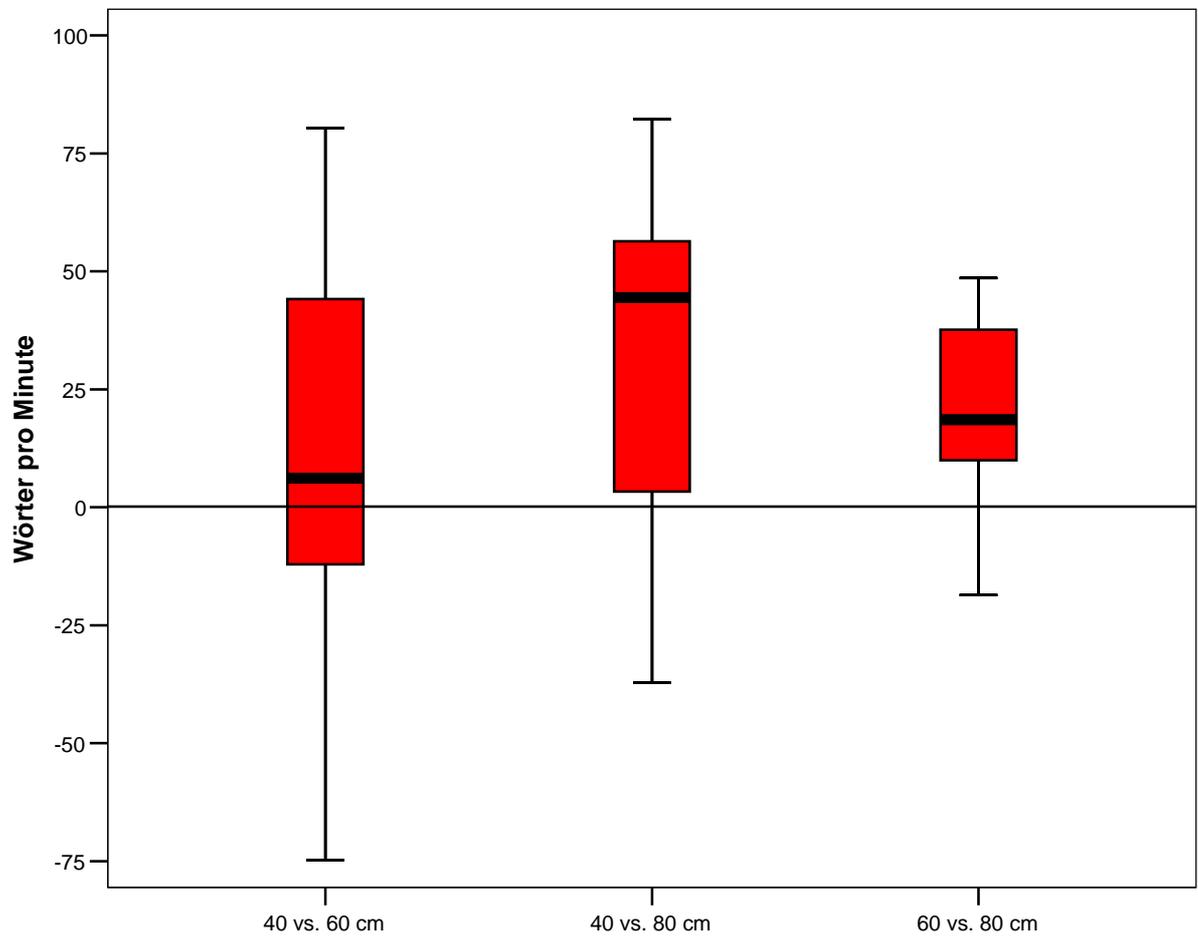


Abbildung 12: Differenz der binokularen Lesegeschwindigkeiten (in Wörter/Minute) bei unterschiedlichen Abständen ohne Korrektur (sc).

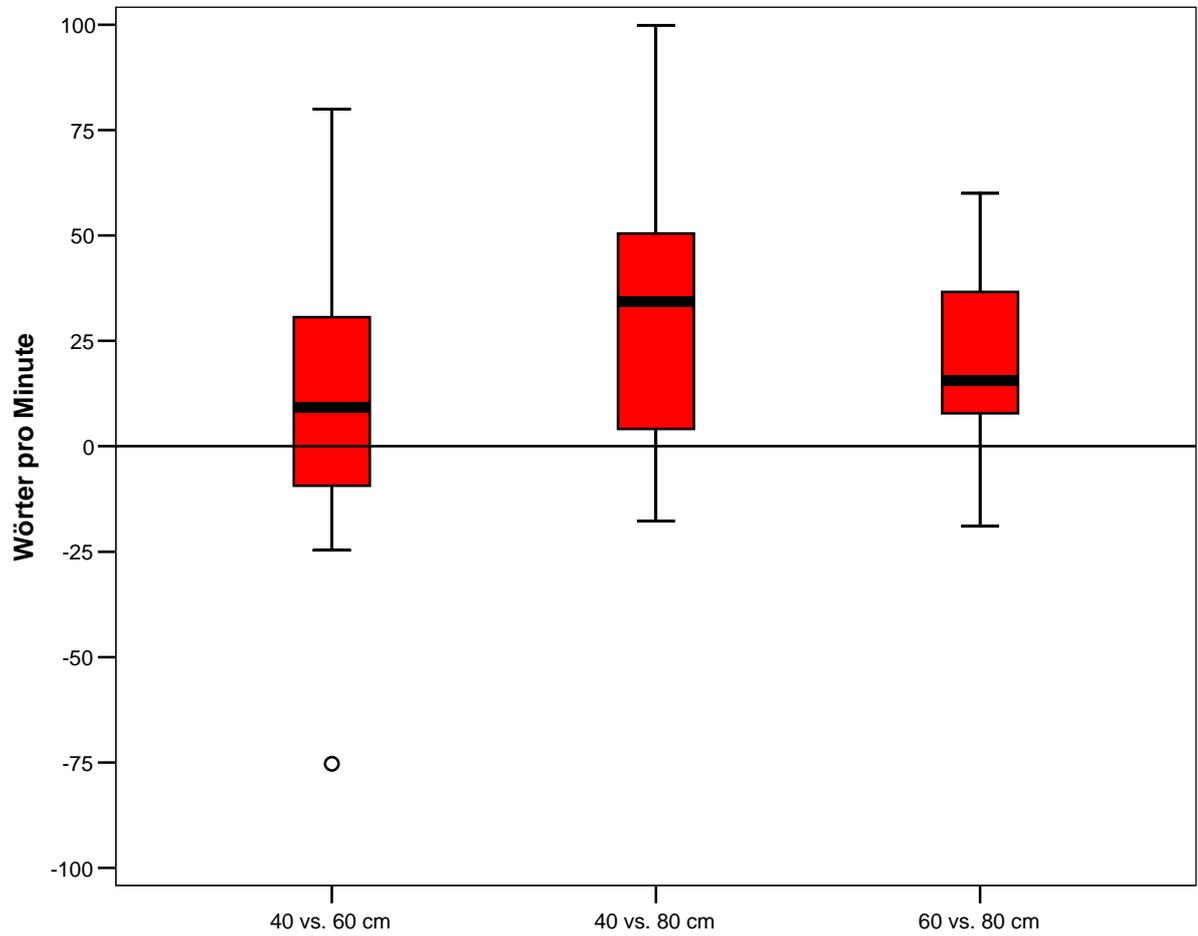


Abbildung 13: Differenz der binokularen Lesegeschwindigkeiten (in Wörter/Minute) bei unterschiedlichen Abständen mit bester Fernkorrektion (cc).

4.3.6. Lesegeschwindigkeit monokular

Die monokulare Lesegeschwindigkeit ist in Tabelle 9 dargestellt. Bei einem Leseabstand von 40 cm war unter bester Fernkorrektion die TecnisZM900 statistisch signifikant besser als die ReZoom ($p=0,002$). Bei einem Leseabstand von 80 cm war dagegen unter bester Fernkorrektion die ReZoom statistisch signifikant besser als die TecnisZM900 ($p=0,048$). Unkorrigiert ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Linsen, wenngleich bei 80 cm die ReZoom-Linse um 10 Wörter/Min besser war als die TecnisZM900. In dem üblichen Leseabstand von 40 cm lasen die Patienten mit dem Auge, das mit der TecnisZM900 versehen ist, deutlich schneller als mit dem Partnerauge, das mit einer ReZoom versorgt ist. Der Unterschied war bei bester Fernkorrektion statistisch signifikant. Bei 60 cm Abstand hob sich der Unterschied auf. Bei einem Abstand von 80 cm lasen die Augen mit der ReZoom schneller als die Augen mit einer TecnisZM900, wobei der Unterschied nur mit bester Fernkorrektion signifikant war.

	Mittelwert	SD	Median	Min.	Max.	p-Wert
sc:						
Rezoom: 40 cm	103,4	45,4	103,5	32,0	200,0	0,093
Tecnis: 40 cm	123,4	39,4	120,0	65,0	196,0	
Rezoom: 60cm	128,7	31,8	122,3	73,3	198,6	0,263
Tecnis: 60 cm	128,5	35,7	126,9	67,7	194,9	
Rezoom: 80 cm	155,0	32,7	151,9	92,8	212,7	0,086
Tecnis: 80 cm	145,9	41,7	139,0	70,1	224,6	
cc:						
Rezoom: 40 cm	106,7	36,3	112,0	46,5	171,4	0,002
Tecnis: 40 cm	140,5	41,0	132,7	61,9	229,5	
Rezoom: 60 cm	131,1	32,2	131,1	80,0	201,4	0,351
Tecnis: 60 cm	125,0	40,3	129,6	44,8	213,2	
Rezoom: 80 cm	158,5	18,5	157,1	131,0	197,2	0,048
Tecnis: 80 cm	145,0	36,6	147,2	74,5	208,0	

Tabelle 9: Monokulare Lesegeschwindigkeit (in Wörter/Minute), ohne Korrektion (sc) und mit bester Fernkorrektion (cc).

4.3.7. Postoperative Pupillenweite

Abbildung 14 zeigt die Verteilung der postoperativen Pupillenweite der 40 Augen des Studienkollektivs bei photopischen Lichtbedingungen (100 cd/m^2). Bei einem Patienten betrug die Pupillenweite 2,4 mm, bei allen anderen mindestens 2,5 mm.

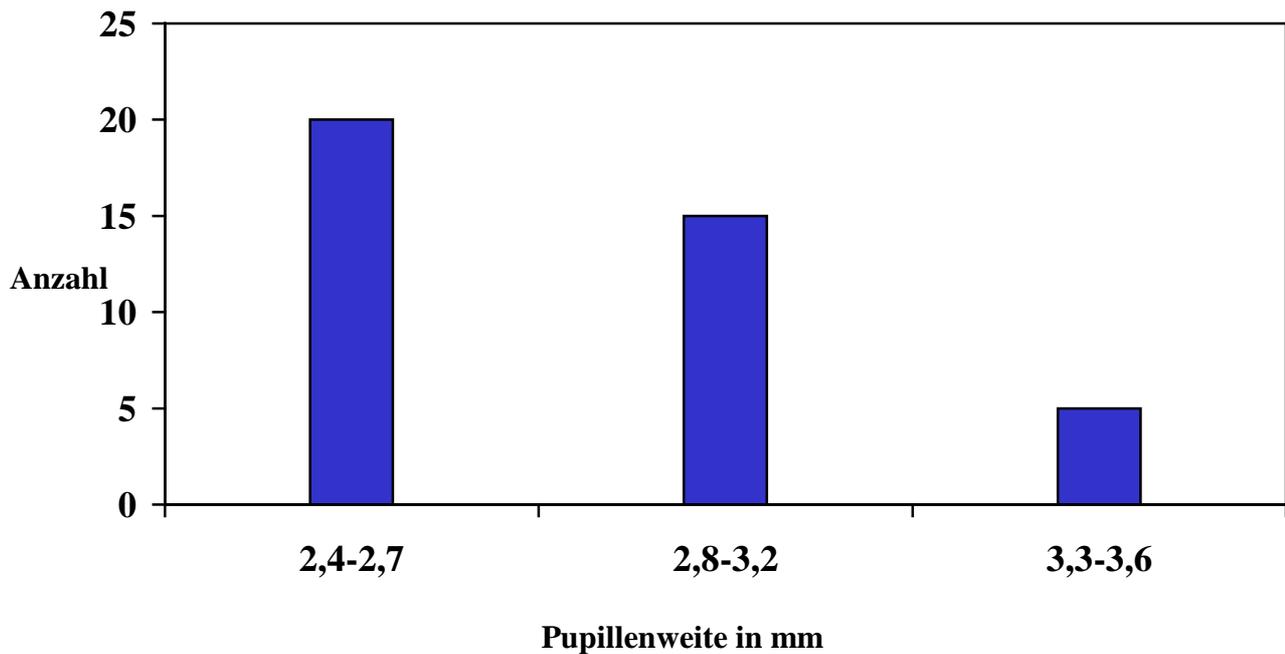


Abbildung 14: Postoperative Pupillenweite [mm] der 40 Augen des Studienkollektivs bei photopischen Lichtverhältnissen.

4.3.8. Nachevaluation 52 Wochen postoperativ

In Tabelle 10 sind die Daten des binokularen Nah- und Fernvisus für alle Patienten 1 Jahr postoperativ dargestellt. Der unkorrigierte Fernvisus betrug im Mittel 0,86 (Median 0,8), der Fernvisus nach bester Fernkorrektion lag im Mittel bei 0,91 (Median 1,0). Der Nahvisus betrug im Mittel der 15 Patienten 0,73 (Median 0,8), nach bester Fernkorrektion betrug der Nahvisus im Mittel 0,81 (Median 0,8). Abbildungen 15 und 16 illustrieren graphisch die Ergebnisse für Nah- und Fernvisus jeweils ohne Korrektur und mit bester Fernkorrektion.

Patient Nr.	Fernvisus sc	Fernvisus cc	Nahvisus sc	Nahvisus cc
1	0,8	0,8	0,5	0,63
2	1,0	1,0	0,63	0,63
4	1,0	1,0	0,63	0,63
7	0,8	0,8	0,8	0,8
8	1,0	1,0	0,5	0,5
9	0,63	0,8	0,63	0,8
10	1,0	1,0	0,8	1,0
12	1,0	1,0	1,0	1,0
13	0,63	0,8	0,8	1,0
14	0,8	1,0	0,8	1,0
15	1,0	1,0	0,63	0,63
16	0,63	0,8	0,63	0,8
17	0,8	0,8	0,8	1,0
18	0,8	0,8	0,8	0,8
20	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabelle 10: Postoperativer Visus der 15 Patienten bei der Nachevaluation nach 52 Wochen: Fern- und Nahvisus ohne und mit bester Fernkorrektion.

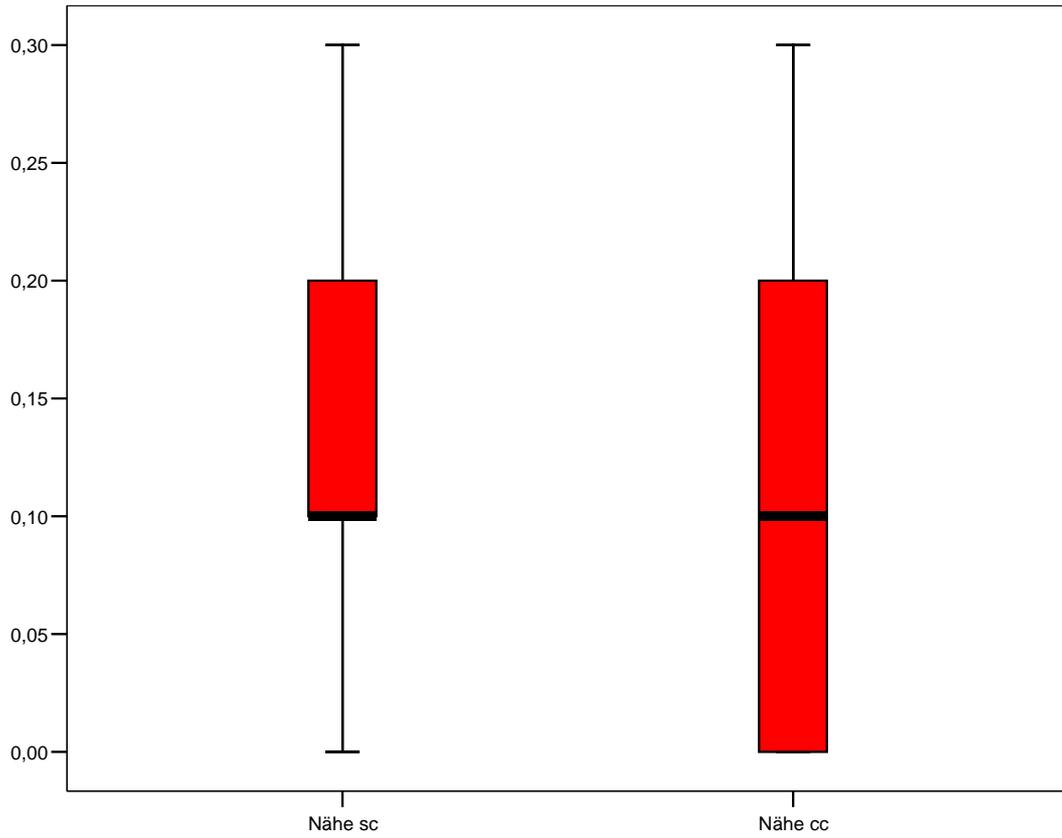


Abbildung 15: Binokularer logMAR unkorrigiert (sc) und mit bester Fernkorrektion (cc) 1 Jahr postoperativ für die Nähe.

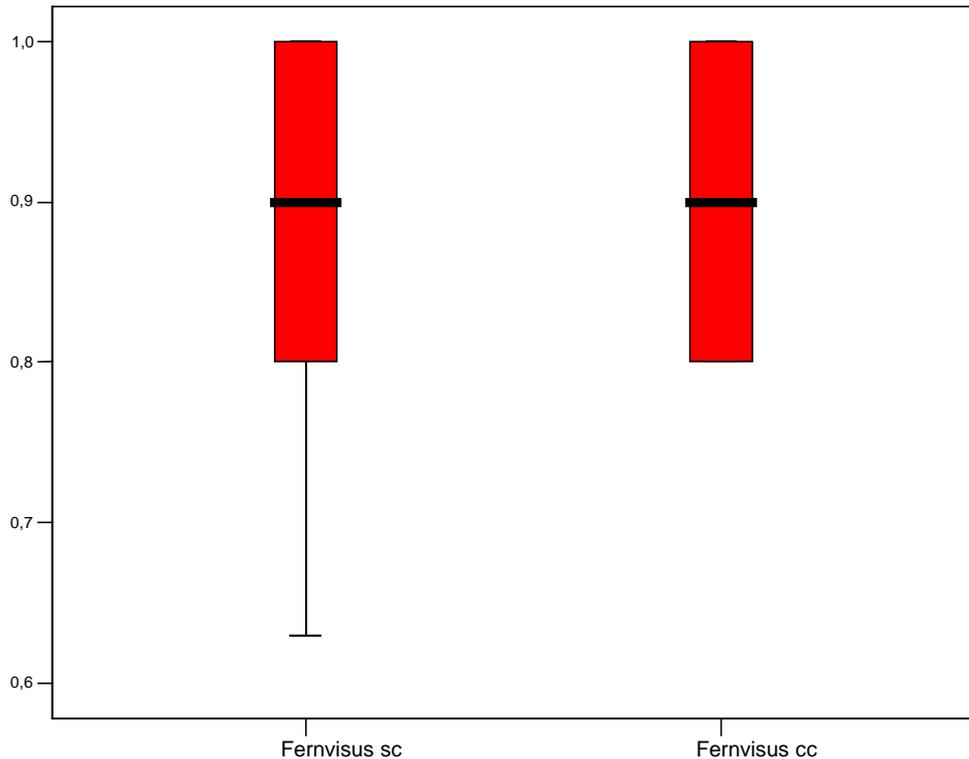


Abbildung 16: Fernvisus unkorrigiert (sc) und mit bester Fernkorrektion (cc) 1 Jahr postoperativ.

Die Tabellen 11 und 12 zeigen die Daten der 1 Jahr postoperativ erfolgten Nachuntersuchung mit Erhebung der subjektiven Patientenzufriedenheit. Von den zuvor 20 verfügbaren Patienten konnten bei 15 die 52-Wochen Daten erhoben werden. Eine absolute Brillenunabhängigkeit konnte im Mittel der verschiedenen Modalitäten (Einkaufen, Zeitunglesen, Fernsehen) bei 84% der Patienten erreicht werden, wobei bei Ausschluss der Patienten, die angaben, nur gelegentlich eine Brille zu verwenden, sich eine Brillenunabhängigkeit von im Mittel 92% ergibt.

Photische Phänomene in milder Form wurden von 47% der Patienten wahrgenommen. 53% der Patienten hatten keine störenden Lichtringe. Blendphänomene gaben 40% der Patienten in moderater Form an. 60% haben keine Blendung wahrgenommen.

Patient Nr.	Einkaufen			Tageszeitung			Fernsehen		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1	X					X	X		
2	X				X		X		
4	X			X			X		
7	X			X				X	
8	X			X			X		
9	X			X					X
10	X			X			X		
12	X			X			X		
13	X			X			X		
14	X			X			X		
15	X					X	X		
16	X			X			X		
17	X				X			X	
18	X			X			X		
20	X			X			X		
Summe	15	0	0	11	2	2	12	2	1
Prozent	100%	0%	0%	73%	13%	13%	80%	13%	6%

0=immer ohne Brille, 1=gelegentlich mit Brille, 2=immer mit Brille

Tabelle 11: Daten der subjektiven Patientenzufriedenheit mit Erfassung der Brillenunabhängigkeit bei verschiedenen Modalitäten 1 Jahr postoperativ.

Patient Nr.	Lichtringe (halos)			Blend- Phänomene (starburst)		
	0	1	2	0	1	2
1		X		X		
2		X		X		
4		X		X		
7		X		X		
8	X					X
9	X					X
10	X					X
12		X		X		
13	X			X		
14	X			X		
15		X		X		
16	X					X
17	X					X
18		X		X		
20	X					X
Summe	8	7	0	9	0	6
Prozent	53 %	47 %	0 %	60 %	0 %	40 %

Photische Phänomene: 0=keine, 1=mild, 2=moderat

Tabelle 12: Daten der subjektiven Patientenzufriedenheit mit Erfassung photischer Phänomene 1 Jahr postoperativ.

5. Diskussion

Die moderne Kataraktchirurgie hat in den letzten Dekaden eine enorme Weiterentwicklung erfahren. Dazu beigetragen haben zum einen verbesserte operative Techniken wie die Phakoemulsifikation, Kleinschnitttechniken und die Implantation von faltbaren Intraokularlinsen. Hierdurch haben sich Patientenprofile verändert und Indikationen zur IOL-Implantation erweitert, so dass neben der klassischen Indikation der Implantation von Linsen zur Aphakiekorrektur heute auch Eingriffe aus refraktiven Gründen als Refractive Lens Exchange (RLE) bzw. Clear Lens Extraction (CLE) durchgeführt werden [7, 31]. Zum anderen sind die seit Ende der 80er Jahre verwendeten Multifokallinsen in Design und technischem Standard so weiterentwickelt worden, dass störende photische Effekte wie Lichtringe vermindert und die optische Leistung verbessert werden konnten. Dadurch konnte eine größere Brillenunabhängigkeit im Vergleich zu den Vorgängerlinsen erreicht werden.

Zu den diffraktiven und refraktiven multifokalen IOL der ersten Generation, zu denen zahlreiche Erfahrungsberichte vorliegen, zählen die CeeOn811E (Pharmacia) und die Array (AMO). Nachteile dieser Linsentypen waren noch ein vermindertes Kontrastsehen und stark störende photische Phänomene [34]. Die neue, sogenannte zweite Generation der Multifokallinsen zeichnet sich durch asphärische, binokulare Optiken aus. Durch das Vorliegen zweier oder mehrerer Brennpunkte wird ein Sehen sowohl in der Nähe als auch in der Ferne ermöglicht. Der Patient nimmt nur das fokussierte Bild wahr, während die durch den anderen Fokus erzeugte Abbildung undeutlich erscheint [32]. Dadurch ist es möglich geworden, eine weitgehende Brillenunabhängigkeit in Ferne und Nähe zu erreichen. Zu diesen Linsentypen zählen u.a. die diffraktive multifokale IOL TecnisZM001 und das Nachfolgemodell TecnisZM900 (AMO), die diffraktiv/refraktiv multifokale IOL ReSTOR (Alcon), die refraktive multifokale IOL ReZoom (AMO) und die bifokale IOL Acri.LISA (Acri.Tec). Obwohl zu diesen Linsen zahlreiche Studien vorliegen [9, 13, 26, 30], die von guten Ergebnissen berichten, muss man bei kritischer Betrachtung anmerken, dass es die optimale multifokale IOL mit gleich guten Eigenschaften in Ferne und Nähe noch nicht gibt. Einen vielversprechenden Ansatz bot das Linsenpaar Acri.Twin (Acri.Tec) mit einer Lichtverteilung von 70:30 für das ferndominante Auge (70 % des einfallenden Lichts für den Fernfokus, 30 % für den Nahfokus) und 30:70 für das nahdominante Auge (30 % des einfallenden Lichts für den

Fernfokus, 70 % für den Nahfokus). Dieses Linsenpaar ist nicht mehr auf dem Markt, da sich die theoretischen physikalischen Annahmen in der praktischen Umsetzung nicht bewährt haben [28].

In der hier vorliegenden Studie wurden in das ferndominante Auge die refraktive multifokale IOL ReZoom, in das kontralaterale Auge die diffraktive multifokale IOL TecnisZM900 implantiert. Die Hypothese war, dass die Kombination einer multifokalen IOL mit guten Eigenschaften in der Ferne mit einer multifokalen IOL mit guten Eigenschaften in der Nähe, den Patienten unabhängiger von der Brille als die Verwendung ein und desselben IOL-Typs in beiden Augen macht.

Bei der Betrachtung der monokular erhobenen Daten offenbarten sich die Qualitäten der jeweils untersuchten multifokalen IOL. So zeigt sich hier, dass die TecnisZM900, wie erwartet, die besseren Leseigenschaften hat. Während sich mit der multifokalen IOL ReZoom bei keinem Patienten monokular ein unkorrigierter Nahvisus von 0,8 oder besser zeigte, wurde mit der TecnisZM900 in 60% der Fälle (N=12) ein Nahvisus von mindestens 0,8 erreicht. Mit bester Fernkorrektur zum Ausgleich eines refraktiven Restfehlers erreichten 85% (N=17) in der ReZoom-Gruppe einen Nahvisus von 0,8 oder besser und 100% (N=20) in der Tecnis-Gruppe, wobei allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Linsen bestand. Das schlechtere Abschneiden der ReZoom lässt sich nicht durch Unterschiede in der postoperativen Refraktion erklären. Das postoperative sphärische Äquivalent lag in beiden Gruppen im Mittel bei -0,13 dpt. Es ist bekannt, dass bei multifokalen IOL die Emmetropie extrem genau getroffen werden muss. Auch in dieser Studie zeigte sich, dass ein sehr geringer refraktiver Restfehler von -0,13 dpt in beiden Gruppen eine große Auswirkung hat. Gleicht man den postoperativen refraktiven Restfehler durch die beste Fernkorrektur aus, verbessert sich besonders bei der multifokalen IOL ReZoom der Nahvisus in 85% der Fälle. Vergleichbare Ergebnisse lassen sich auch aus anderen Arbeiten ableiten.

Chang et al. [12] berichten in ihrer Arbeit über jeweils 15 Patienten, denen sie entweder bilateral eine ReZoom oder bilateral eine ReSTOR implantierten. Während in der Gruppe mit der ReZoom ein guter unkorrigierter Visus in der Ferne und im Intermediärbereich erreicht wurde, war der unkorrigierte Visus im Nahbereich deutlich schlechter als in der Gruppe mit der ReSTOR-Linse. Auch wenn die Patienten bei subjektiver Befragung in der ReZoom-Gruppe sehr zufrieden waren, wurde eine Brillenunabhängigkeit doch nur in 50% der Fälle erreicht im Vergleich zu 73% in der ReSTOR-Gruppe.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Chiam et al. [14], die bei jeweils 25 Patienten ebenfalls den funktionellen Visus nach bilateraler Implantation einer ReZoom und bilateraler Implantation einer ReSTOR miteinander verglichen. Eine Brillenunabhängigkeit wurde mit der ReZoom bei 70%, mit der ReSTOR hingegen bei 86% der Patienten erreicht. Der Unterschied war allerdings statistisch nicht signifikant. Auch in dieser Untersuchung war die ReSTOR-Linse im Nahbereich deutlich besser, während die ReZoom-Linse im Intermediärbereich und in der Ferne besser abschnitt.

In unserer Untersuchung schnitten bei monokularer Untersuchung des Fernvisus die Augen mit der TecnisZM900 im Vergleich zu denen mit der ReZoom wiederum schlechter ab. Im Vergleich der beiden Linsen zeigte sich bei der ReZoom bei 80% (N=18) ein unkorrigierter Fernvisus von 0,8 oder besser. Bei der TecnisZM900 wurde dagegen nur bei 20% (N=4) ein Visus von mindestens 0,8 erreicht. Nach bester Fernkorrektur ergaben sich für die ReZoom bei allen Augen (N=20) ein Visus von 0,8 oder besser. Für die TecnisZM900 wurde ein Visus von mindestens 0,8 dagegen bei 70% (N=14) erreicht. Der Unterschied zwischen der ReZoom und TecnisZM900 war sowohl ohne als auch mit bester Fernkorrektur statistisch signifikant ($p < 0,001$ bzw. $p = 0,012$). Ähnliche Ergebnisse wurden in anderen Studien erzielt. In einer Arbeit von Hütz et al. [26] lag der unkorrigierte Fernvisus bei Patienten, bei denen bilateral eine TecnisZM900 implantiert wurde, im Median bei 0,56 (Mittelwert 0,59). Patienten mit einer ArraySA40N, einem refraktiven Linsentyp, erreichten unkorrigiert einen medianen Visus von 0,63 (Mittelwert 0,67). Dieser Unterschied war statistisch signifikant. Mester et. al. [40] fanden dagegen in einer Vergleichsstudie, in der bei 25 Patienten bilateral eine TecnisZM900 und bei 25 Patienten eine ArraySA40 implantiert wurde, keinen Unterschied im unkorrigierten und korrigierten Fernvisus zwischen beiden Linsen. Dies ist insofern schwer nachzuvollziehen, als sich in verschiedenen unabhängigen Untersuchungen die TecnisZM001, TecnisZM900 oder ZMA00 immer als relativ schwach in der Ferne zeigte. In der Nähe waren die Tecnis-Linsen in allen Untersuchungen immer signifikant besser als alle anderen multifokalen IOL [26-28], wie dies auch in der Studie von Mester [40] bestätigt wird.

Somit steht mit dem nahdominanten Linsentyp eine Linse zur Verfügung, die sowohl in der Nähe als auch in der Ferne ein scharfes Sehen ermöglicht, ihre großen Stärken aber in der Nähe hat. Mit dem ferndominanten Typ hingegen wird ein guter Visus vor allem im Intermediärbereich und in der Ferne erreicht. Es liegt nahe, die beiden Linsentypen zu kombinieren, um in allen Sehbereichen ohne Brillenkorrektur eine optimale Sehschärfe

zu erreichen. Eine erste annähernde technische Umsetzung dieser Kombination war die bereits oben erwähnte Entwicklung der Acri.Twin-IOL (Acri.Tec), einer diffraktiven multifokalen IOL, die für jedes Auge eine unterschiedliche Lichtverteilung vorsieht. In das ferndominante Auge wird eine Linse mit einem Lichtanteil von 70% für die Ferne implantiert, in das nahdominante hingegen eine Linse mit einem Lichtanteil von 70% für die Nähe. Dadurch wird bei bilateraler Implantation die Sehschärfe in der Nähe verbessert [39]. Auch bei dieser Linse sind jedoch ein reduziertes Kontrastsehen und Dysphotopsien von Nachteil, so dass weiterhin nach alternativen Konzepten gesucht wurde, scharfes Sehen in der Ferne, Nähe und im Intermediärbereich zu ermöglichen und eine weitgehende Brillenunabhängigkeit zu erreichen.

Im Jahr 2003 wurde von Gunenc und Kollegen [23] erstmals das Konzept, refraktive und diffraktive multifokale IOL miteinander zu kombinieren, präsentiert. Die Ergebnisse der Arbeit von Gunenc, die über in den Jahren 2000 und 2001 nach diesem Prinzip implantierte Linsen berichten, ermutigten andere Arbeitsgruppen, dieses Konzept zu verfolgen mit zum Teil guten funktionellen Ergebnissen [1, 2, 10, 37, 41]. Goes [20] berichtet über eine prospektive Studie, in der bei 20 Patienten im Alter zwischen 44 und 78 Jahren eine refraktive multifokale IOL (ReZoom) in das dominante Auge und eine diffraktive multifokale IOL (TecnisZM900) in das nichtdominante Auge implantiert wurde. Ziel der Studie war es, eine möglichst hohe Brillenunabhängigkeit zu erreichen. Die Ergebnisse der Daten 30 und 60 Tage postoperativ, die berichtet werden, zeigten gute Seheigenschaften in allen Entfernungen mit einem mittleren binokularen Visus von 1,0 für die Ferne, 0,5 im Intermediärbereich und 1,1 in der Nähe. Das Tragen einer Brille war bei keinem der behandelten Patienten nötig. Der schlechteste unkorrigierte Fernvisus betrug 0,8, der schlechteste unkorrigierte Nahvisus 0,9.

Ebenfalls gute Ergebnisse im Vergleich von Patienten, bei denen eine refraktive multifokale IOL in das dominante Auge und eine diffraktive multifokale IOL in das nichtdominante Auge implantiert wurde, mit Patienten, bei denen bilateral gleiche multifokale IOL implantiert wurden, werden von Akaishi berichtet [2]. Die vorgestellten Daten zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass nicht nur der postoperative Visus, sondern auch die Lesegeschwindigkeit bestimmt wurden. Hierdurch werden die Bedingungen im Alltag besser simuliert, weshalb auch in der vorliegenden Arbeit die Lesegeschwindigkeit intensiv untersucht wurde. In der Arbeit von Akaishi [2] ergaben sich zum einen ein besserer Intermediärvisus in der Gruppe, in der refraktive und diffraktive Linsen kombiniert wurden, zum anderen waren signifikant bessere Ergebnisse

bezüglich der Lesegeschwindigkeit nachweisbar. Dieses ist im wesentlichen durch die multifokale IOL TecnisZM900 bedingt, durch die deutlich schneller gelesen werden kann als mit allen anderen bisher untersuchten Linsen. Eine weitere Studie, in der die Sehschärfe nach dem beschriebenen Prinzip mit der Sehschärfe nach bilateraler Implantation einer diffraktiven oder refraktiven multifokale IOL verglichen wurde, ist die oben erwähnte Arbeit von Gunenc [24]. Es wurden drei Gruppen zu je 10 Patienten gebildet. Neben der Gruppe, in der refraktive und diffraktive multifokale IOL kombiniert wurden, erfolgte die bilaterale Implantation der CeeOn 811 E (diffraktive Linse) oder der Array SA40N (refraktive Linse). Die Daten sind auch deswegen interessant, weil ein Nachbeobachtungszeitraum von mindestens 3 und bis zu 4 ½ Jahren erfasst wird. Die wesentlichen Ergebnisse der Studie sind in der Kombinationsgruppe eine größere Brillenunabhängigkeit im Paarvergleich, da sich vor allem im Intermediärbereich ein signifikant besserer Visus und eine höhere Kontrastempfindlichkeit ergaben. Daneben zeigte sich erwartungsgemäß in dieser Gruppe ein signifikant besserer Nahvisus im Vergleich zur refraktiven Gruppe.

Die guten Ergebnisse der beschriebenen Arbeiten, in denen nach dem Prinzip der Kombination einer ferndominanten und einer nahdominanten Linse die Implantation erfolgte, werden durch die Untersuchungsbefunde unserer Arbeit unterstützt. Bei 12 unserer Patienten (60%) lag der unkorrigierte Nahvisus bei 0,8 oder besser, nach der besten Fernkorrektion erreichten alle Patienten einen Visus von mindestens 0,8. Diese positiven Befunde, die 12 Wochen postoperativ erhoben wurden, werden durch unsere Daten der Nachuntersuchung nach 1 Jahr zur subjektiven Patientenzufriedenheit und Brillenunabhängigkeit unterstützt. Alle Patienten gaben an, sich wieder für die implantierte Linsenkombination zu entscheiden und diese auch anderen Familienmitgliedern zu empfehlen. Eine Brillenunabhängigkeit gemittelt für verschiedene Modalitäten wie Einkaufen, Fernsehen und Zeitung lesen wurde bei 84% der Patienten erreicht. Nimmt man die Patienten heraus, die angaben, bei bestimmten Tätigkeiten nur gelegentlich eine Brille zu verwenden, errechnet sich sogar ein Wert für die Brillenunabhängigkeit von 93%. Photische Phänomene gaben 40% (Lichtringe) bzw. 47% (Blendphänomene) der Patienten an. Diese wurden aber in ihrer Qualität nur als mild bis moderat beschrieben. Betrachtet man Lichtringe und Blendphänomene zusammen, so sind bei 80% der Patienten keine oder nur milde Lichtphänomene nachweisbar. Die Ergebnisse der Befragung zur subjektiven Patientenzufriedenheit nach einem Jahr werden durch unsere Untersuchungen zur Lesegeschwindigkeit unterstützt. Ziel unserer Untersuchung

war es, das Prinzip der Kombination einer refraktiven multifokalen IOL in das dominante Auge und einer diffraktiven multifokalen IOL in das nichtdominante Auge nicht nur anhand einer formalen Visusbestimmung zu bewerten, sondern auch, Alltagsbedingungen zu simulieren und damit die Alltagstauglichkeit zu validieren. Untersuchungen von Legge et al. zeigen, dass sich die Lesegeschwindigkeit, die nicht in der augenärztlichen Routineuntersuchung erfasst wird, nicht unerheblich von der optotypischen Bestimmung der Sehleistung nach Snellen unterscheiden kann [35, 36]. So stimmt die anguläre Sehschärfe auch nicht immer mit der Zufriedenheit des Patienten mit dem funktionellen Sehvermögen überein. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die Verbesserung des Sehvermögens nicht allein durch die Bestimmung der angulären Sehschärfe beurteilt werden kann [38, 46]. Ebenso korreliert die maximale Lesegeschwindigkeit umgekehrt nicht mit der angulären Sehschärfe. So wurden in der vorliegenden Arbeit Lesetafeln nach Radner [44] verwendet, um Alltagsbedingungen, wie schnelles, fehlerfreies Lesen, z.B. einer Zeitung, einer Bedienungsanleitung oder eines Fahrplans, zu simulieren. Hierbei gilt eine Lesegeschwindigkeit von 80 Wörtern/Minute als Untergrenze für entspanntes, noch sinnerfassendes Lesen [48, 53]. Die normale Zeitungsschriftgröße variiert zwischen 10 und 12 (Punkt). Damit ist für ein flüssiges Lesen in der Nähe (30-40 cm) eine Sehschärfe von 0,4 (LogRad) eine grundlegende Voraussetzung [45]. Aus diesem Grund wurde die Lesegeschwindigkeit in der aktuellen Untersuchung auch mit einer Schriftgröße geprüft, die LogRad 0,4 entspricht.

In dem üblichen Leseabstand von 40 cm konnten alle Patienten binokular mehr als 132 Wörter/Minute lesen. Das ist eine Geschwindigkeit, mit der entspanntes, flüssiges Lesen möglich ist. Auch bei größerem Abstand von 60 bzw. 80 cm, dem sogenannten Intermediärbereich, war flüssiges Lesen mit Werten bis zu 166 Wörtern/Minute möglich. Der Umstand, dass die Daten mit bester Fernkorrektur zum Ausgleich von refraktiven Restfehlern nicht besser waren als die Daten ohne Korrektur verdeutlicht, dass das refraktive Ziel insgesamt gut getroffen war. Bei der Analyse der monokular erhobenen Daten zeigte sich, daß die TecnisZM900 korrigiert und unkorrigiert im üblichen Leseabstand von 40 cm mit im Mittel 145 Wörtern/Minute der ReZoom mit im Mittel 106 Wörtern/Minute deutlich überlegen war. Die Überlegenheit im Abstand von 40 cm ändert sich mit zunehmendem Abstand, d.h. bei 60 cm sind beide Linsen gleich und bei 80 cm Abstand kehren sich die Verhältnisse um und die ReZoom ist gegenüber der TecnisZM900 etwas im Vorteil, wenngleich die Unterschiede statistisch nicht signifikant sind. Unsere Untersuchungen zur Lesegeschwindigkeit unterstützen die subjektiven

Angaben der Probanden zur Patientenzufriedenheit und verdeutlichen, dass die Implantation einer refraktiven und einer diffraktiven multifokalen IOL in unserem Kollektiv nicht nur zu guten Ergebnissen in den objektiv erhobenen Befunden der Refraktions- und Visusbestimmung führen, sondern auch den simulierten Alltagsbedingungen standhält und hierdurch Unterstützung findet.

Letztendlich ist die Kombination von zwei unterschiedlichen Linsen eine Notlösung, da es die multifokale IOL mit der optimalen Balance zwischen Ferne und Nähe noch nicht gibt. Die Lösung der Firma Acri.Tec, die ein Linsenpaar mit unterschiedlicher Lichtverteilung angeboten hatte, ist nicht mehr auf dem Markt. Zudem hat sich das System in der Praxis nicht bewährt [28]. Die hier vorgestellten Daten zeigen jedoch, dass das Prinzip der Kombination einer ferndominanten Linse in das ferndominante Auge und einer nahdominanten Linse in das Partnerauge eine Option ist, um den Patienten in einem hohen Prozentsatz eine Brillenunabhängigkeit zu ermöglichen. Die Kombination, wie sie von uns gewählt wurde, ermöglicht eine sehr gute Sehschärfe in der Ferne und im mittleren Bereich durch die ReZoom und eine ausgezeichnete Sehschärfe in der Nähe durch die TecnisZM900. Durch die guten visuellen Ergebnisse wird eine hohe Brillenunabhängigkeit erreicht und damit einhergehend eine hohe Patientenzufriedenheit. Inwieweit ein Optimum an Sehleistung erreicht wird, hängt bei den multifokalen IOL mehr noch als bei den monofokalen IOL allerdings davon ab, wie gut die Emmetropie getroffen wird.

Neben der subjektiven Patientenzufriedenheit, die in dieser Studie erfasst wurde, unterstützen unsere Ergebnisse zur Lesegeschwindigkeit, durch die die Leistungsfähigkeit in Alltagssituationen simuliert wird, die erfolgreiche Kombination von diffraktivem und refraktivem Linsensystem. Allerdings eignet sich das Prinzip nicht für jeden Patienten. Die kritische Patientenauswahl bleibt nach wie vor ein wichtiger Schritt in der Katarakt- und refraktiven Chirurgie. So sind insbesondere Patienten geeignet, die vom medizinischen Standpunkt außer der Katarakt keine weiteren wesentlichen okulären Pathologien aufweisen, insbesondere keine Netzhauterkrankungen, Optikopathien und Erkrankungen, die mit einer Einschränkung des Kontrastsehens einhergehen können. Es sollte kein präoperativer Astigmatismus $>1,5$ dpt. bestehen und keine Erkrankung oder Medikation vorliegen, welche die Pupillenweite oder Pupillenreaktion beeinflusst. Daneben sollten Patienten ausgewählt werden, die in erster Linie eine Brillenunabhängigkeit wünschen [7]. Dabei müssen sie bereit sein, eine gewisse

Reduktion des Bildkontrasts zu akzeptieren und sollten in gewissen Umfang auf photische Phänomene vorbereitet sein. Spezielle Berufsgruppen, die häufig Überkopfarbeiten verrichten müssen, wie Maler, KFZ-Mechaniker, Bibliothekare oder aktive Sportler, werden die Unabhängigkeit von einer Brille zu schätzen wissen. Menschen, die häufig privat oder beruflich nachts aktiv sind, wie z.B. Taxifahrer, sind dagegen weniger geeignet.

6. Zusammenfassung

Durch die Entwicklung multifokaler Implantate in der Katarakt- und refraktiven Chirurgie ist es möglich geworden, eine weitgehende Brillenunabhängigkeit in Ferne und Nähe zu erreichen. Ziel der vorliegenden Studie war es, an einem Kollektiv von 20 Patienten die Kombination von diffraktivem und refraktivem Linsensystem zu validieren. In das ferndominante Auge wurde die refraktive multifokale IOL ReZoom, in das kontralaterale Auge die diffraktive multifokale IOL TecnisZM900 implantiert. Die Hypothese war, dass die Kombination einer multifokalen IOL mit guten Eigenschaften in der Ferne mit einer multifokalen IOL mit guten Eigenschaften in der Nähe, den Patienten unabhängiger von der Brille als die Verwendung ein und desselben multifokalen IOL-Typs in beiden Augen macht.

Alle 20 Patienten schlossen die Studie ab, 15 standen zur Nachbeobachtung nach 52 Wochen zur Verfügung. Beim sphärischen Anteil lagen in der postoperativen Untersuchung nach 3 Monaten 8 Augen (20%) zwischen 0 and $-1,0$ dpt, 20 Augen (50%) bei 0,0 dpt, 11 Augen (27.5%) zwischen 0 und 1,0 dpt und 1 Auge (2.5%) bei 1,0 dpt. Bei 17 Patienten (85%) lag der unkorrigierte Fernvisus bei 0,8 oder besser, nach der besten Fernkorrektur erreichten alle Patienten einen Fernvisus von mindestens 0,8. Der schlechteste unkorrigierte Fernvisus lag bei 0,63, der beste bei 1,0. Die Lesegeschwindigkeit lag unkorrigiert in allen untersuchten Leseabständen bei allen Patienten im Mittel zwischen 133 und 166 Wörtern/Minute. Alle Patienten, die für die Nachevaluation nach 1 Jahr zur Verfügung standen, gaben an, sich wieder für die Kombination der Linsentypen zu entscheiden. Eine Brillenunabhängigkeit wurde bei 84% der Patienten erreicht. Photische Phänomene in milder Form wurden von 47% der Patienten wahrgenommen. 53% der Patienten hatten keine störenden Lichtringe. Blendphänomene gaben 40% der Patienten in moderater Form an. 60% haben keine Blendung wahrgenommen.

Die Kombination der eingesetzten Linsen ergab eine sehr gute Sehschärfe in der Ferne, wobei die ReZoom-Sehschärfe für den mittleren Bereich wie auch die gute TecnisZM900-Sehschärfe für die Nähe erhalten bleiben. Durch die guten visuellen Ergebnisse wird eine hohe Brillenunabhängigkeit erreicht und damit einhergehend eine hohe Patientenzufriedenheit. Neben der subjektiven Patientenzufriedenheit, die in dieser Studie erfasst wurde, unterstützen die Ergebnisse zur Lesegeschwindigkeit, durch die die Leistungsfähigkeit in Alltagssituationen simuliert wird, diese Annahme. Allerdings eignet

sich das Prinzip nicht für jeden Patienten, und eine kritische Patientenauswahl ist erforderlich. Wesentliche okuläre Pathologien sollten ausgeschlossen sein, daneben sollten die Patienten auf eine gewisse Reduktion des Bildkontrasts und photische Phänomene vorbereitet werden.

Summary

The advent of a new generation of multifocal IOL provides surgeons with a wider range of options for visual correction following either refractive lens exchange or cataract surgery. The aim of this study was to investigate if implantation of a refractive multifocal IOL in one eye and a diffractive multifocal IOL in the fellow eye improves range of vision (near, intermediate and distance) in cataract surgery patients. For this “mix and match”-approach we used the ReZoom refractive multifocal IOL (AMO, Santa Ana, CA) for the dominant eye and the Tecnis ZM900 diffractive multifocal IOL (AMO) for the non-dominant eye.

20 patients –or 40 eyes- scheduled for cataract surgery were enrolled in the study. Pre and postoperative measurements (after 3 months) included refraction, uncorrected visual acuity (UCVA) and best corrected visual acuity (BCVA), as well as reading acuity. All 20 patients completed the study. Concerning spherical error 8 eyes (20%) were between 0 and –1 D, 20 eyes (50%) were 0 D, 11 eyes (27.5%) were between 0 and < +1 D and 1 eye (2.5%) was +1 D, respectively. Seventeen patients (85%) achieved an UCVA of 0.10 logMAR or better, all patients (100%) achieved a BCVA of 0.10 logMAR or better. Twelve patients (60%) achieved a binocular near acuity of 0.10 logMAR or better. After best far correction all patients (100%) achieved a binocular near visual acuity of 0.10 logMAR or better. Mean binocular reading acuity was between 132 and 166 words/minute at all distances. In terms of spectacle independency 84% of patients were able to live without spectacles.

Both the refractive results and binocular acuities of our study are quite promising. Combining a refractive multifocal IOL (with the better intermediate and distance performance) with a diffractive multifocal IOL (with the near and far vision superiority) proved to be a very suitable technique to comply the visual needs of cataract patients. However, patient selection is a critical step in multifocal IOL surgery. The best candidates are patients who are motivated to be spectacles independent, capable of understanding probable visual disturbances due to halo and glare formation and who do not have significant corneal astigmatism or other ocular pathologies.

7. Literaturverzeichnis

1. **Akaishi L** (2006) Multirange visual assessment with hydrophobic acrylic multifocal lens. ASCRS Symposium, San Francisco, CA, March 18-22
2. **Akaishi L** (2006) Visual outcome following AcrySof ReSTOR IOL implantation in 1 eye and ReZoom multifocal IOL implantation in the contralateral eye. American Society of Cataract and Refractive Surgeons Annual Meeting, March 18-22
3. **Akaishi L, Tzelikis PF, Gondim J, Vaz R** (2007) Primary piggyback implantation using the Tecnis ZM900 multifocal intraocular lens: case series. J Cataract Refract Surg 33:2067-2071
4. **Alfonso JF, Fernandez-Vega L, Baamonde MB** (2006) Secondary diffractive bifocal piggyback intraocular lens implantation. J Cataract Refract Surg 32:1938-1943
5. **Auffarth G** (2006) Katarakt. Springer Lexikon Diagnose & Therapie, pp 783-792
6. **Auffarth GU** (2008) Multifokallinsen. Ophthalmologe 105:521-521
7. **Auffarth GU, Dick HB** (2001) Multifokale Intraokularlinsen Eine Übersicht. Ophthalmologe 98:127-137
8. **Becker R, Gräf M** (2004) Die Darstellung der Sehschärfe in ophthalmologischen Publikationen. Klin Monatsbl Augenheilkd 221:1046-1050
9. **Blaylock JF, Si Z, Vickers C** (2006) Visual and refractive status at different focal distances after implantation of the ReSTOR multifocal intraocular lens. J Cataract Refract Surg 32:1464-1473
10. **Bucci F** (2006) Visual funktion and patient satisfaction in bilateral multifocal lensectomy patients with ReSTOR/ReSTOR vs ReSTOR/ReZoom. American Society of Cataract and Refractive Surgeons Annual Meeting, March 18-22

11. **CEN ECfS** (ed) (1996) Europäische Norm Sehschärfeprüfung EN ISO 8596. Beuth-Verlag Berlin
12. **Chang DF** (2008) Prospective functional and clinical comparison of bilateral ReZoom and ReSTOR intraocular lenses in patients 70 years or younger. *J Cataract Refract Surg* 34:934-941
13. **Chiam PJ, Chan JH, Aggarwal RK, Kasaby S** (2006) ReSTOR intraocular lens implantation in cataract surgery: quality of vision. *J Cataract Refract Surg* 32:1459-1463
14. **Chiam PJ, Chan JH, Haider SI, Karia N, Kasaby H, Aggarwal RK** (2007) Functional vision with bilateral ReZoom and ReSTOR intraocular lenses 6 months after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 33:2057-2061
15. **Dick HB, Krummenauer F, Schwenn O, Krist R, Pfeiffer N** (1999) Objective and subjective evaluation of photic phenomena after monofocal and multifocal intraocular lens implantation. *Ophthalmology* 106:1878-1886
16. **Elliott DB, Patel B, Whitaker D** (2001) Development of a reading speed test for potential-vision measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 42:1945-1949
17. **Ferris FL, 3rd, Kassoff A, Bresnick GH, Bailey I** (1982) New visual acuity charts for clinical research. *Am J Ophthalmol* 94:91-96
18. **Findl O** (2005) Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol* 16:61-64
19. **Findl O, Kiss B, Petternel V, Menapace R, Georgopoulos M, Rainer G, Drexler W** (2003) Intraocular lens movement caused by ciliary muscle contraction. *J Cataract Refract Surg* 29:669-676

20. **Goes FJ** (2008) Visual results following implantation of a refractive multifocal IOL in one eye and a diffractive multifocal IOL in the contralateral eye. *J Refract Surg* 24:300-305
21. **Gräf M** (2004) Strategien der Visusbestimmung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 221:557-565
22. **Guirao A, Redondo M, Artal P** (2000) Optical aberrations of the human cornea as a function of age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 17:1697-1702
23. **Gunenc U** (2003) Multifocal IOLs: the mix and match approach. American Society of Cataract and Refractive Surgeons, Annual Meeting, San Francisco, CA
24. **Gunenc U, Celik L** (2008) Long-term experience with mixing and matching refractive array and diffractive CeeOn multifocal intraocular lenses. *J Refract Surg* 24:233-242
25. **Holzer M, Rabsilber T, Auffarth G** (2006) Presbyopiekorrektur mittels Intraokularlinsen. *Ophthalmologe* 103:661-666
26. **Hütz WW, Eckhardt HB, Röhrig B, Grolmus R** (2006) Reading ability with 3 multifocal intraocular lens models. *J Cataract Refract Surg* 32:2015-2021
27. **Hütz WW, Eckhardt HB, Röhrig B, Grolmus R** (2008) Intermediate vision and reading speed with array, Tecnis, and ReSTOR intraocular lenses. *J Refract Surg* 24:251-256
28. **Hütz WW, Gross R** (2006) Reading acuity and speed with different MIOLs. ESCRS Symposium, London, 9-13. Sept.
29. **Jain S, Arora I, Azar DT** (1996) Success of monovision in presbyopes: review of the literature and potential applications to refractive surgery. *Surv Ophthalmol* 40:491-499

30. **Kohnen T, Allen D, Boureau C, Dublineau P, Hartmann C, Mehdorn E, Rozot P, Tassinari G** (2006) European multicenter study of the AcrySof ReSTOR apodized diffractive intraocular lens. *Ophthalmology* 113:584.e1
31. **Kohnen T, Koch MJ** (1998) Refractive aspects of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 9:55-59
32. **Kohnen T, Kook D, Auffarth GU, Derhartunian V** (2008) Einsatzmöglichkeiten intraokularer Multifokallinsen und Kriterien der Patientenselektion. *Ophthalmologie* 105:527-532
33. **Küchle M, Nguyen NX, Langenbacher A, Gusek-Schneider GC, Seitz B, Hanna KD** (2002) Implantation of a new accommodative posterior chamber intraocular lens. *J Refract Surg* 18:208-216
34. **Lane SS, Morris M, Nordan L, Packer M, Tarantino N, Wallace RB, 3rd** (2006) Multifocal intraocular lenses. *Ophthalmol Clin North Am* 19:89-105
35. **Legge GE, Ross JA, Isenberg LM, LaMay JM** (1992) Psychophysics of reading. Clinical predictors of low-vision reading speed. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 33:677-687
36. **Legge GE, Rubin GS, Pelli DG, Schleske MM** (1985) Psychophysics of reading--II. Low vision. *Vision Res* 25:253-265
37. **Lopez-Castro A** (2006) Mixing Tecnis multifocal and ReZoom: vision performance and patient satisfaction. *European Society of Cataract and Refractive Surgeons, London, Sept. 8-12*
38. **Martin BK, Kaplan Gilpin AM, Jabs DA, Wu AW** (2001) Reliability, validity, and responsiveness of general and disease-specific quality of life measures in a clinical trial for cytomegalovirus retinitis. *J Clin Epidemiol* 54:376-386
39. **Mester U, Dillinger P, Anterist N, Kaymak H** (2005) Funktionelle Ergebnisse nach Implantation multifokaler Intraokularlinsen (MIOL). *Ophthalmologie* 102:1051-1056

40. **Mester U, Hunold W, Wesendahl T, Kaymak H** (2007) Functional outcomes after implantation of Tecnis ZM900 and Array SA40 multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 33:1033-1040
41. **Milne H** (2006, March 18-22) Blended vision with diffractive and refractive multifocal intraocular lenses. ASCRS Symposium, San Francisco, CA
42. **Pearce JL** (1997) Multifocal intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 8:2-5
43. **Radner W, Obermayer W, Richter-Mueksch S, Willinger U, Velikay-Parel M, Eisenwort B** (2002) The validity and reliability of short German sentences for measuring reading speed. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 240:461-467
44. **Radner W, Willinger U, Obermayer W, Mudrich C, Velikay-Parel M, Eisenwort B** (1998) Eine neue Lesetafel zur gleichzeitigen Bestimmung von Lesevisus und Lesegeschwindigkeit. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 213:174-181
45. **Richter-Mueksch S, Weghaupt H, Skorpik C, Velikay-Parel M, Radner W** (2002) Reading performance with a refractive multifocal and a diffractive bifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 28:1957-1963
46. **Riusala A, Sarna S, Immonen I** (2003) Visual function index (VF-14) in exudative age-related macular degeneration of long duration. *Am J Ophthalmol* 135:206-212
47. **Roman F** (1993) The invention of spectacles. *Br J Ophthalmol* 77:568
48. **Rubin GS, West SK, Munoz B, Bandeen-Roche K, Zeger S, Schein O, Fried LP** (1997) A comprehensive assessment of visual impairment in a population of older Americans. The SEE Study. Salisbury Eye Evaluation Project. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 38:557-568

49. **Sanders DR, Retzlaff JA, Kraff MC, Gimbel HV, Raanan MG** (1990) Comparison of the SRK/T formula and other theoretical and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 16:341-346
50. **Schmidinger G, Geitzenauer W, Hahsle B, Klemen UM, Skorpik C, Pieh S** (2006) Depth of focus in eyes with diffractive bifocal and refractive multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 32:1650-1656
51. **Solomon R, Donnenfeld ED** (2006) Refractive intraocular lenses: multifocal and phakic IOLs. *Int Ophthalmol Clin* 46:123-143
52. **Vargas LG, Auffarth GU, Becker KA, Rabsilber TM, Holzer MP** (2005) Performance of the 1CU accommodating intraocular lens in relation to capsulorhexis size. *J Cataract Refract Surg* 31:363-368
53. **West SK, Munoz B, Rubin GS, Schein OD, Bandeen-Roche K, Zeger S, German S, Fried LP** (1997) Function and visual impairment in a population-based study of older adults. The SEE project. Salisbury Eye Evaluation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 38:72-82

8. Anhang

Abkürzungsverzeichnis

cc:	cum correctione (mit bester Fernkorrektion)
cd:	Candela, photometrische SI-Basiseinheit der Lichtstärke
cd/m ² :	Abgeleitete SI-Einheit der Leuchtdichte
dpt:	Dioptrien
IOL:	Intraokularlinse
logRAD:	Reading Acuity Determination
logMAR:	Dekadischer Logarithmus des Minimum separabile
LA:	Linkes Auge
M:	Mittelwert
SD:	Standardabweichung
RA:	Rechtes Auge
sc:	sine correctione (ohne Brillenkorrektion)

Klinikum Bad Hersfeld GmbH
Augenklinik
 Chefarzt Priv.-Doz. Dr. med. W. Hütz

REZoom und Tecnis ZM900

Untersucher	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Geburtsdatum	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Patientennummer	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Geschlecht	<input type="checkbox"/>
Initialen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Untersuchungsdatum	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Präoperativer Bericht 1 (Protokoll Seite 1)

		ja	nein
Einschlusskriterien:			
-Katarakt beidseits	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Alter mind. 50 Jahre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-für Nachuntersuchung verfügbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Einverständnis des Patienten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-OP des zweiten Auges innerhalb 6 Wochen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-alle erfüllt:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	RA		LA	
	ja	nein	ja	nein
Ausschlusskriterien:				
-Astigmatismus > 1,0 dpt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Pupillenweite kleiner 2,4 mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Amblyopie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-HH-Dystrophie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-diab. Retinopathie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Maculadegeneration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Netzhautablösung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Aniridie oder Irisatrophie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Uveitis oder Iritis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Rubeosis iridis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Glaukom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Mikrophthalmus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-funktionell einziges Auge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Optikusatrophie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Keratoplastik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-Z.n. oculärer Chirurgie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-NH-Dystrophien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-IOL ≥ 15 dpt, ≤ 28 dpt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-alle erfüllt:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Datum:

Unterschrift: _____

Klinikum Bad Hersfeld GmbH
Augenklinik
 Chefarzt Priv.-Doz. Dr. med. W. Hütz

Visual performance and patient satisfaction with matched pairs of multifocal lenses : ReZoom und Tecnis ZM900.

Untersucher Geburtsdatum
 Patientennummer Geschlecht
 Initialen Untersuchungsdatum

Präoperativer Bericht 2 (Protokoll Seite 2)

RA	LA
Refraktion <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> x <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ^o +/- Sphäre Zylinder Achse	Refraktion <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> x <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ^o +/- Sphäre Zylinder Achse
Fernvisus s.c. <input type="text"/> <input type="text"/>	Fernvisus s.c. <input type="text"/> <input type="text"/>
Fernvisus c.c. <input type="text"/> <input type="text"/>	Fernvisus c.c. <input type="text"/> <input type="text"/>
Nahvisus s.c <input type="text"/> <input type="text"/>	Nahvisus s.c <input type="text"/> <input type="text"/>
Nahvisus c.c. <input type="text"/> <input type="text"/>	Nahvisus c.c. <input type="text"/> <input type="text"/>
Keratometerwerte (Zeiss) <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ^o steiler Meridian <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ^o flacher Meridian	Keratometerwerte (Zeiss) <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ^o steiler Meridian <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ^o flacher Meridian
Pupillenweite:	Pupillenweite:
Führungsauge:	Führungsauge:

Datum:

Unterschrift: _____

Visual performance and patient satisfaction with mached pairs of multifocal lenses: REZoom und Tecnis ZM9000

Initialen

Patientennummer

Geburtsdatum 19

Geschlecht (1 = weiblich, 2 = männlich)

Untersuchungsdatum 200

Untersucher

Operativer Bericht (Protokoll Seite 3)

Auge

Inzisionstyp	
clear cornea <input type="checkbox"/>	limbal <input type="checkbox"/> scleral <input type="checkbox"/>
Größe der Phakoinzision	
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mm	
IOL-Typ	
ReZoom <input type="checkbox"/>	Tecnis ZM900 <input type="checkbox"/>
Haptik-Positionierung	
bag-bag <input type="checkbox"/>	sulcus-sulcus <input type="checkbox"/> sulcus-bag <input type="checkbox"/> andere <input type="checkbox"/>
Besonderheiten:	
ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> , falls ja: Kapselruptur:	<input type="checkbox"/>
primäre Fibrose	<input type="checkbox"/>
Zonulolyse mit IOL-Dezentrierung	<input type="checkbox"/>

Datum 200 Unterschrift: _____

ReZoom und Tecnis ZM900

Initialen

Patientennummer

Geburtsdatum 19

Geschlecht (1 = weiblich, 2 = männlich)

Untersuchungsdatum 200

Untersucher

Postoperativer Bericht nach 2 Wochen (Protokoll Seite 4)

Auge

Fernvisus s.c.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Fernvisus c.c.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	+/-	Sphäre	+/- Zylinder x <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> °
Nahvisus s.c.			
Nahvisus c.c.			
VAA:			
Tensio	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	mmHg	

Datum: 200 Unterschrift: _____

Anwendungsstudie Technis ZM 900 und ReZoom

Initialen Patientennummer
 Geburtsdatum ..19
 Geschlecht (1=weiblich, 2=männlich)
 Untersuchungsdatum ..200 Untersucher

Postoperativer Bericht nach 2-3 Monaten

RA	LA
Refraktion <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> +/- Sphäre +/-Zylinder Achse°	Refraktion <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> +/- Sphäre +/-Zylinder Achse°
Fernvisus monokular s.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Fernvisus monokular s.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Fernvisus monokular c.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Fernvisus monokular c.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Nahvisus monokular s.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Nahvisus monokular s.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Nahvisus monokular c.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Nahvisus monokular c.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Fernvisus binokular s.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
Fernvisus binokular c.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
Nahvisus binokular s.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
Nahvisus binokular c.c. <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
Pupillenweite mm <input type="text"/> 6 cd/m ²	Pupillenweite mm <input type="text"/> 6 cd/m ²
Pupillenweite mm <input type="text"/> 100 cd/m ²	Pupillenweite mm <input type="text"/> 100 cd/m ²
Keratometerwerte (Zeiss)	Keratometerwerte (Zeiss)
<input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ° steil	<input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ° steil
<input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ° flach	<input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> Achse <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ° flach

Datum _____, Unterschrift _____

LESETAFEL 40cm

LogRAD
40cm

Snellen
40cm

0.9	Vor der Einfahrt stand lange der Kleinwagen, der auch uns gute Dienste geleistet hatte	0.13
0.8	Mit Peter gingen sie wieder ins Gartenhaus, vor dem nun eine Rutsche aufgestellt war	0.16
0.7	Auf dem Klavier stand immer ein Blumentopf, den ich nie mit Nelken bepflanzen durfte	0.2
0.6	Der Vater blickte sofort auf den Hemdkragen, den ich mir beim Kochen verdorben hatte	0.25
0.5	Vor alten Leuten spielte ich nur Volksmusik, bei der man alle Lieder mitsingen konnte	0.32
0.4	Mit Onkel Klaus kauften sie ein Kinderbuch, das wir dann den Kleinen vorlesen mußten	0.4
0.3	Die Blumen wuchsen dicht vor dem Burggraben, in dem einst klares Wasser geflossen war	0.5
0.2	Von Thomas kauften sie sich die Taschenuhr, mit der dann alle Zeiten gemessen wurden	0.63
0.1	Vor dieser Scheune war einst ein Bauernhaus, in dem der lieber Onkel mithelfen mußte	0.8
0.0	Die Katze zerbrach das noch kalte Wasserglas, das von der Zurückkehrer mitgebracht wurde	1.0
-0.1	Die Kinder haben viele kleine Geschichten erzählt, die sie schon früher gehört hatten	1.26
-0.2	Im Wald war es so schön, die Bäume waren so grün, die Blumen so schön und die Vögel so lustig	1.6

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäss aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Danksagung

Für die Vergabe der Arbeit sowie die ständige Unterstützung und Beratung beim Erstellen des Manuskripts möchte ich mich sehr herzlich bei meinem Chef, Herrn PD Dr. med. W. W. Hütz bedanken. Darüberhinaus danke ich Herrn Dr. rer. nat. B. Röhrig für die Hilfe und Unterstützung bei den statistischen Berechnungen und der Auswahl der geeigneten statistischen Verfahren sowie Herrn Dr. rer. nat. Thom Terwee für die freundliche Überlassung von Abbildungen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, Rosa und Franz Kuschel, die mich immer unterstützt haben und mir stets trotz weiter Entfernung im Studium und Beruf eine große Hilfe waren und dies auch noch weiterhin sind.

Abschließend danke ich meinem Ehemann, Dr. Dirk Bahner, der mir bei der technischen Umsetzung eine große Hilfe war und mich auch sonst in allen Lebensbereichen stets unterstützt.