

Aus der Augenklinik
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. Gerd Geerling

Sehfunktion, optische Nebenwirkungen, Brillenunabhängigkeit und Patientenzufriedenheit
nach Implantation von trifokalen Intraokularlinsen (Acrysof IQ PanOptix) bei
Kataraktpatienten: unilaterale versus bilaterale Implantation.

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Angelos Simopoulos
2023

Angabe der Gutachter/innen

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: PD Dr. med. Andreas Frings

Zweitgutachter: Prof. Philipp Albrecht

Widmung

Ich widme diese Arbeit meiner geliebten Lebenspartnerin, Katerina

Auflistung eigener Publikationen

Zusammenfassung (deutsch)

Hintergrund: Mithilfe einer trifokalen PanOptix Intraokularlinse (IOL) kann ein emmetroper Pseudophaker auch im Intermediär- und Nahbereich gut ohne zusätzliche Sehhilfe sehen und von einer hohen Brillenunabhängigkeit profitieren. Patienten mit multifokalen IOL zeigen aber eine höhere Inzidenz von photopischen Phänomenen, wie Halo und Blendung und ein reduziertes Kontrastsehen im Vergleich zu monofokalen Linsen. Im Rahmen einer prospektiven Fall-Kontroll-Studie wurde der Einsatz einer unilateralen trifokalen IOL und deren Einfluss auf Visus und optische Nebenwirkungen bei Patienten mit Katarakt untersucht.

Fragestellung: Das Ziel unserer Studie war zu untersuchen, ob statistisch signifikante oder klinisch relevante Unterschiede zwischen einer unilateralen und einer bilateralen Implantation einer trifokalen PanOptix-IOL vorlagen.

Methodik: In die Studie waren 72 Patienten mit bilateraler Katarakt eingeschlossen und in zwei Gruppen geteilt. In der Studiengruppe (n= 33 Patienten) wurden eine trifokale PanOptix-IOL (AcrySof IQ PanOptix) und eine monofokale IQ AcrySof asphärische IOL am Partnerauge implantiert. Die Kontrollgruppe (n= 39 Patienten) erhielt bilateral eine PanOptix-IOL. Nach drei Monaten wurden der (un)korrigierte Visus in 5 m, 66 cm und 40 cm (100% Kontrast ETDRS-Tabellen), das Kontrastsehen mittels VectorVision-CSV-1000 (CSV-1000E-Diagramm), das Dämmerungssehen mittels Oculus-Mesotest II und das dreidimensionale Sehen mittels Titmus-Tests untersucht. Postoperative subjektive Zufriedenheit, optische Nebenwirkungen und Brillenbedarf wurden mit einem symptomorientierten Fragebogen erhoben.

Ergebnisse: Die Ergebnisse der unkorrigierten Sehschärfe der Studiengruppe waren ähnlich zu der bilateralen Gruppe in allen Untersuchungsabständen (5m: Mittelwert 0.03 ± 0.09 vs. 0.06 ± 0.09 logMAR, 66cm: 0.07 ± 0.13 vs. 0.08 ± 0.14 logMAR und 40cm: 0.10 ± 0.12 vs. 0.11 ± 0.09 logMAR). Die Ergebnisse sind jeweils statistisch nicht signifikant. Der korrigierte Visus der Studiengruppe war der Kontrollgruppe in allen Abständen überlegen (5m: 0.00 ± 0.07 vs. 0.04 ± 0.08 logMAR, 66cm: 0.02 ± 0.07 vs. 0.05 ± 0.10 logMAR und 40cm 0.02 ± 0.08 vs. 0.06 ± 0.09 logMAR). Allerdings waren hier nur die Ergebnisse des korrigierten Fernvisus statistisch signifikant ($p=.04$). Das photopische Kontrastsehen (logCS) der Studiengruppe war in fast allen Bedingungen statistisch signifikant besser. Beim Titmus-Test, Mesotest, bei der subjektiven Störung durch Halo und Blendung und der subjektiven Zufriedenheit zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied. Allerdings brauchte die Studiengruppe signifikant häufiger eine Computerbrille ($p=.018$) und eine Nahbrille ($p<.001$) postoperativ.

Diskussion: Die Studiengruppe zeigte eine vergleichbare Sehschärfe zur Kontrollgruppe in allen Abständen und ein besseres Kontrastsehen, brauchte jedoch häufiger eine Arbeitsplatzbrille. Hinsichtlich der folgenden postoperativen Parameter: Dämmerungssehen, dreidimensionales Sehen, Zufriedenheit, Halo, Blendung, zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Schlussfolgerung: Die unilaterale Implantation einer trifokalen IOL wie die PanOptix resultiert in guter Sehfunktion und subjektiver Patientenzufriedenheit. Diese Option stellt eine Alternative bei selektierten klinischen Fällen dar.

Zusammenfassung (englisch)

Background: With the trifocal PanOptix IOL an emmetropic pseudophakic patient can see in the intermediate and near distance without visual aid and enjoys a high overall spectacle independence. Patients with multifocal IOL show a higher incidence of photopic phenomena, such as halo and glare, and a reduced contrast sensitivity, compared to monofocal lenses. In a prospective case control study, we investigated the unilateral implantation of a trifocal IOL and its effect on visual acuity and optic side effects in cataract patients.

Study Question: Our study intends to investigate if there are statistically significant or clinically relevant differences between the unilateral and bilateral implantation of the trifocal PanOptix-IOL.

Methods: In the study 72 patients with bilateral cataract were included and divided into two groups. In the patients of the study group (n=33) a trifocal PanOptix-IOL (Acrysof IQ PanOptix) was implanted in one eye and a monofocal IQ Acrysof aspheric IOL in the second eye. The control group (n=39 patients) received a PanOptix-IOL bilaterally. After three months we tested the (un)corrected visual acuity in 5 m, 66 cm and 40 cm (100% Contrast ETDRS charts), the contrast sensitivity with the VectorVision-CSV-1000 (CSV-1000E diagram) machine, the twilight vision with the oculus Mesotest II and the three-dimensional vision with the Titmus-Test. The postoperative patient satisfaction, the optic side effects and the use of glasses was recorded with a symptom-oriented questionnaire.

Results: The uncorrected visual acuity of the study group was similar to the one of the control group in all tested distances (5m: average 0.03 ± 0.09 vs. 0.06 ± 0.09 logMAR, 66cm: 0.07 ± 0.13 vs. 0.08 ± 0.14 logMAR und 40cm: 0.10 ± 0.12 vs. 0.11 ± 0.09 logMAR). The results were not statistically significant. The corrected visual acuity of the study group was better than the control group in all distances (5m 0.00 ± 0.07 vs. 0.04 ± 0.08 logMAR, 66cm 0.02 ± 0.07 vs. 0.05 ± 0.10 logMAR, 40cm 0.02 ± 0.08 vs. 0.06 ± 0.09 logMAR). Only the results of the corrected distant visual acuity were statistically significant ($p=.04$). The photopic contrast sensitivity (logCS) of the study group was significantly better in almost every tested condition than the control group. The Titmus-Test, the Oculus-Mesotest II, the subjective disturbance through halo and glare and the patient satisfaction showed no statistically significant differences between the two groups. However, the study group needed postoperatively significantly more often computer glasses ($p=.018$) and near glasses ($p<.001$).

Discussion: The study group showed a comparable visual acuity to the control group in all distances and a better contrast sensitivity but needed more often office glasses. Regarding the following postoperative parameters: twilight vision, three-dimensional vision, patient satisfaction, photopic phenomena, there was no significant difference between the two groups.

Conclusion: The unilateral implantation of a trifocal IOL, such as the PanOptix-IOL, results in a good visual function and patient satisfaction. This option could be a useful alternative in selected clinical cases.

Abkürzungsverzeichnis

CDVA	Corrected Distance Visual Acuity (korrigierte Sehschärfe in der Ferne)
CIVA	Corrected Intermediate Visual Acuity (korrigierte intermediäre Sehschärfe)
CNVA	Corrected Near Visual Acuity (korrigierte Sehschärfe in der Nähe)
CS	Contrast Sensitivity (Kontrastsehen)
ECCE	Extra Capsular Cataract Extraction (Extrakapsuläre Kataraktextraktion)
EDOF	Extended Depth of Focus
ETDRS	Early Treatment Diabetic Retinopathy Study
EZM	Endothelzellmessung
ICCE	Intra Capsular Cataract Extraction (Intrakapsuläre Kataraktextraktion)
IOL	Intraokularlinse
logMAR	<i>Logarithm of Minimal Angle of Resolution</i> (Logarithmus des minimalen Auflösungswinkels)
MIOL	Multifokale Intraokularlinse
Nd YAG Laser	Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser
NRW	NordRhein-Westfalen
PMMA	Polymethylmethacrylat
RLE	Refractive Lens Exchange (Refraktive Linsenaustausch)
UDVA	Uncorrected Distance Visual Acuity (unkorrigierte Sehschärfe in der Ferne)
UIVA	Uncorrected Intermediate Visual Acuity (unkorrigierte intermediäre Sehschärfe)
UNVA	Uncorrected Near Visual Acuity (unkorrigierte Sehschärfe in der Nähe)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Katarakt: Pathogenese und Therapie	1
1.1.1	Definition und Inzidenz	1
1.1.2	Katarakt-Pathogenese	2
1.1.3	Therapie / Kataraktextraktion	3
1.2	Multifokale Intraokularlinsen (MIOL)	5
1.2.1	Von monofokalen zu multifokalen Linsen	5
1.2.2	Refraktive vs. diffraktive MIOL und Asphärizität	6
1.2.3	Trifokale MIOL - PanOptix	9
1.3	Limitationen von MIOL	11
1.3.1	Umgang mit den Einschränkungen der MIOL	13
1.3.2	Monovision	13
1.3.3	EDOF-Linsen	14
1.3.4	Implantation von verschiedenen IOL am gleichen Patienten	16
1.3.5	Unilaterale MIOL-Implantation	17
1.4	Fragestellung / Ziel der Studie	20
2	Material und Methoden	22
2.1	Studiendesign	22
2.2	Procederes	24
2.3	Messungen	25
2.4	Statistik	31
3	Ergebnisse	33
3.1	Allgemeine Charakteristika der Studienteilnehmer	33
3.2	Kumulative Ergebnisse	35
3.2.1	Refraktionsstatus und Refraktion	35
3.2.2	Sehschärfe	37
3.2.3	Photopisches Kontrastsehen	40
3.2.4	Dämmerungssehen - Mesopisches Kontrastsehen	42
3.2.5	Titmus-Test	43
3.2.6	Fragebogen	44
3.3	Vergleich zwischen den beiden Untersuchungsgruppen	49
3.3.1	Präoperativer Vergleich der beiden Untersuchungsgruppen	49
3.3.2	Postoperativer Vergleich der zwei Untersuchungsgruppen	50
3.3.3	Analyse des Fragebogens	59
3.4	Multivariable Analyse	67
3.5	Phakoemulsifikation versus Nanosekundenlaser	70
4	Diskussion	72
4.1	Visus nach unilateraler und bilateraler PanOptix-Implantation	72
4.1.1	Fernvisus: Überlegenheit der unilateralen Gruppe?	75
4.1.2	Nahvisus: Überlegenheit der bilateralen Gruppe?	77

4.2 Kontrastsehen und photopische Phänomene	78
4.2.1 Kontrastsehen	78
4.2.2 Photopische Phänomene	81
4.3 Postoperative Zufriedenheit und Brillenunabhängigkeit	83
4.3.1 Postoperative Zufriedenheit	83
4.3.2 Postoperative Brillenunabhängigkeit	84
4.4 Alltagstätigkeiten	87
4.5 Titmus-Test	87
4.6 Nanosekundenlaser	88
4.7 Schlussfolgerung	90
5 Literatur- und Quellenverzeichnis	93
5.1 Originalarbeiten - Übersichtsarbeiten	93
5.2 Bücher	103
Anhang 1 - Fragebogen	104
Anhang 2 - Prüfung der Normalverteilung der Daten	106
Präoperative Daten	106
Postoperative Daten	111
Anhang 3 - Statistische Tests	116

1 Einleitung

1.1 Katarakt: Pathogenese und Therapie

1.1.1 Definition und Inzidenz

Die Linse ist eine klare Struktur, die hinter der Iris und vor dem Glaskörper liegt. Sie ist für die Brechung des Lichtes und dessen Fokussierung auf das Zentrum der Retina (Makula) zuständig. Bei der Volkskrankheit Katarakt handelt sich um eine Trübung der Linse, die zu einer Sehverschlechterung führt (Asbell et al., 2005).

Eine genaue Einschätzung der Inzidenz der Katarakt wird erschwert, weil die epidemiologischen Daten sich, je nach Suchvariablen (Region, Alter), unterscheiden. Trotzdem gehört die Katarakt heutzutage noch immer zu den weltweiten Hauptursachen einer, zumeist funktionellen, Erblindung oder zumindest einer signifikanten Sehverschlechterung (Lee & Afshari, 2017).

Ein Blick auf die globale Prävalenz der Sehbehinderungsursachen des letzten Jahrzehntes belegt diese Behauptung. In einem Review von Pascolini and Mariotti (2012) wird die Katarakt im Jahr 2010 als die häufigste globale Erblindungsursache mit 51% geschätzt. Khairalah et al. (2015) zeigten für das gleiche Jahr ähnliche Ergebnisse. Katarakt wurde als die häufigste Erblindungsursache weltweit (33,4%) definiert. Nach aktuelleren Einschätzungen einer Metaanalyse (Blindness et al., 2021) für die Ursachen von Erblindung und Sehbehinderung für 2020 bleibt die Katarakt eine der drei häufigsten Erblindungsursachen weltweit.

Die oben genannte Studie von Khairalah et al. (2015) untersuchte die Erblindungsursachen genauer in verschiedenen Ländern und zeigte, dass Katarakt - hinter der altersbedingten Makuladegeneration - die zweite häufigste Ursache in den Industrieländern (unter anderem Nordamerika, Westeuropa, Australien) war. In Westeuropa lag die Zahl der *de jure* blinden oder sehbehinderten Leute aufgrund einer Katarakt bei 13,8%.

Die Kriterien für die Einstufung eines Patienten als blind oder sehbehindert variieren zwischen den verschiedenen Ländern. Für eine Untersuchung der Häufigkeit der Ursachen müssten die einzelnen Länder gesondert betrachtet werden. Zudem muss definitionsmäßig die Blindheit von einer hochgradigen Sehbehinderung differenziert werden.

In Deutschland gelten striktere Regeln für die oben genannte Einstufung im Vergleich zu den Kriterien der WHO oder den US-amerikanischen Kriterien (Mauschitz et al., 2019). Aus diesem Grund kommt Katarakt als Ursache einer Erblindung oder Sehbehinderung in der oben erwähnten Studie von Mauschitz et al. (2019) mit nur 2% erst an sechster Stelle und liegt damit hinter anderen Erkrankungen wie altersbedingter Makuladegeneration, Glaukom, diabetischer Augenerkrankungen, Netzhautablösung und hoher Myopie.

Claessen et al. (2020) zeigten, dass Katarakt auf Platz 10 der Ursachen von neu registrierten Erblindungen in Sachsen für das Jahr 2017 kursierte. In dieser Studie wurde eine deutliche Abnahme um 16% der Katarakt-Inzidenz als Erblindungsursache zwischen 2009 und 2017 festgestellt. Ähnliche Daten wurden auch in Baden-Württemberg gefunden (Claessen et al., 2012). Ein Grund für diese Abnahme könnte darin liegen, dass Katarakt nun häufiger und eventuell früher behandelt wird. Laut einer Studie von Daniel et al. (2019) stieg die Zahl der in Krankenhäuser durchgeführten (stationären und ambulanten) Kataraktoperationen zwischen 2006 und 2016 deutschlandweit an. Es kann ebenfalls von einer mindestens entsprechenden Zunahme der Kataraktoperationen bei ambulanten Einrichtungen ausgegangen werden.

1.1.2 Katarakt-Pathogenese

Die Katarakt hat verschiedene Ursachen. Sie kann kongenital, primär oder als Folge einer anderen systemischen Erkrankung entstehen. Bei älteren Menschen kommt sehr häufig die altersbedingte Trübung der eigenen Linse vor, eine Erkrankung mit multifaktorieller Pathogenese und mit verschiedenen Typen - je nach Lokalisation - der Trübung: nukleare, kortikale, hintere subkapsuläre Trübung (Taylor, 1999). Es existieren zwar verschiedene Klassifikationssysteme für die Katarakt, am häufigsten wird jedoch das Logs-III-System (Chylack et al., 1993) verwendet. Dieses System stuft die Katarakt je nach Farbe des Kerns, Trübung des Kerns, Ausmaß der Rindentrübung und Ausmaß der hinteren subkapsulären Trübung ein.

Andere Ursachen der Katarakt sind systemische Erkrankungen und Medikamenten. Hierzu gehören unter anderem Diabetes mellitus, Galaktosämie, myotone Dystrophie, atopische Dermatitis und Neurofibromatose Typ 2 (Dias Costa et al., 2017; Mautner et al., 1996; Papadopoulos et al., 2018; Peterson et al., 2018). Medikamenten, die Linsentrübungen verursachen, sind Kortikosteroide, Phenothiazine, Amiodaron und Statine (Jaanus, 1991; Li et al., 2008).

Zudem kann Katarakt im Rahmen oder als Folge anderer Augenerkrankungen entstehen, wie zum Beispiel bei Uveitis, nach akutem Winkelblockglaukom, bei hoher Myopie, bei hereditären Fundusdystrophien und nach vitreoretinaler Chirurgie. Auch Augenverletzungen, wie ein stumpfes, penetrierendes oder elektrisches Trauma, Infrarot- und ionisierende Strahlen, können zur sogenannten traumatischen Katarakt führen (Thompson & Lakhani, 2015).

1.1.3 Therapie / Kataraktextraktion

Die Behandlung der Katarakt erfolgt chirurgisch und umfasst zwei Schritte: die operative Extraktion der getrübbten Linse und die Implantation einer künstlichen Linse.

Es existieren verschiedene etablierte Techniken für die Kataraktextraktion: Intrakapsuläre Katarakt-Extraktion (ICCE), extrakapsuläre Katarakt-Extraktion (ECCE) und Phakoemulsifikation (Foster et al., 2018). Das Prinzip dieser Techniken ist ähnlich, sie unterscheiden sich lediglich in der Art der Entfernung der natürlichen Linse.

Bei der ICCE wird die gesamte Linse zusammen mit der Linsenkapsel entfernt. Nach der Linsenentfernung wird die Sehschärfe der Patienten entweder mithilfe einer künstlichen Linsenimplantation in die Vorderkammer oder mit speziellen Gläsern und Kontaktlinsen unterstützt (Riaz et al., 2006). In den meisten Ländern wird ICCE nur in seltenen Fällen angewendet, vor allem aufgrund erhöhter Komplikationsraten, die mit diesem Verfahren verbunden sind (Thompson & Lakhani, 2015).

Jacques Daviels war der Pionier, der im Jahr 1752 zum ersten Mal die extrakapsuläre Katarakt-Extraktion beschrieben hat (Koelbing, 1985). Die heute bekannte ECCE wurde später in den frühen 1980er Jahren und nach der Entwicklung von mikrochirurgischen Instrumenten eingeführt (Ang et al., 2014). Nach einer großen (ca. 12mm) Hornhautinzision wird bei diesem Verfahren die Linse entfernt aber die Linsenkapsel erhalten. In die Linsenkapsel kann postoperativ eine künstliche Linse implantiert werden.

Die Phakoemulsifikation ist mit großem Abstand die am häufigsten verwendete Methode für die Kataraktchirurgie. Lundström et al. (2012) geben an, dass in Europa zwischen 2009 und 2012 bei 99,5% der Kataraktoperationen die Phakoemulsifikation als Technik verwendet wurde.

Die Phakoemulsifikation wurde vom US-amerikanischen Ophthalmologen Charles Kelman im Jahr 1967 erfunden. Diese Technik besteht aus vier Schritten immer in der gleichen Reihenfolge (siehe Abb.1): zuerst wird eine Hornhautinzision unterschiedlicher Größe (von 1.8 bis 3.2mm) vorgenommen. Im Anschluss folgt die Öffnung der Vorderfläche der Linsenkapsel (Kapsulorhexis). Danach wird die Linse von der restlichen Linsenkapsel durch die Injektion von Flüssigkeit (Hydrodissektion) getrennt. Danach wird der Kern der Katarakt mittels Ultraschallenergie fragmentiert und diese Fragmente emulgiert (Phakoemulsifikation). Das restliche Rindenmaterial der Linse wird mit dem gleichen Instrument aspiriert. Zum Schluss wird eine künstliche Intraokularlinse in die verbleibende Linsenkapsel implantiert (IOL-Implantation). Diese Technik bietet ein fast verschlossenes und sicheres Operationsfeld, was die Operationszeit vermindert und zu weniger Komplikationen im Vergleich zu den vorherigen Techniken (wie zum Beispiel ICCE, ECCE) führt (Day et al., 2016; Thompson & Lakhani, 2015).

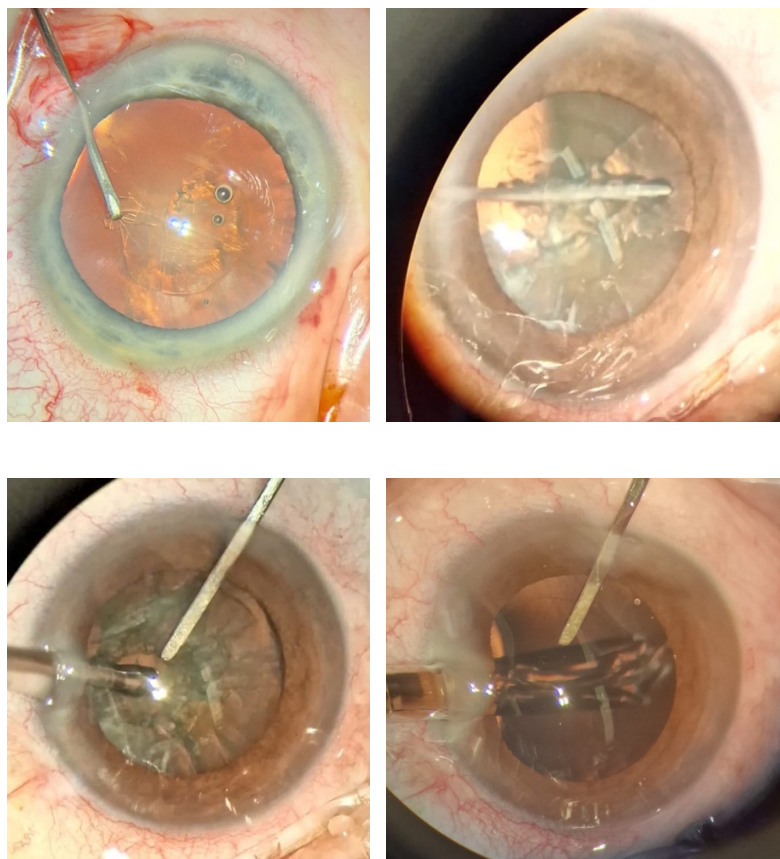


Abb.1. Katarakt-Operationsschritte (von links oben nach rechts unten): Kapsulorhexis, Hydrodissektion, Phakoemulsifikation, IOL-Implantation (eigene Bilder vom Operationsmikroskop).

Nanosekundenlaser

Die Verwendung des Nanosekundenlasers im Rahmen einer Kataraktoperation wurde erstmals im Jahr 1993 von J.M. Dodick (Dodick, 1991) publiziert. Nanosekundenlaser ist ein Gerät, das das gleiche Prinzip wie bei einer konventionellen Phakoemulsifikation teilt. Es verwendet allerdings statt Ultraschallenergie einen Q-geschalteten Nd YAG-Laser (Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser). Der Laser produziert Pulse in der Dauer von 14 Nanosekunden, die Schockwellen auslösen. Diese Schockwellen fragmentieren die Katarakt und diese resultierten Linsenfragmente werden, wie während der Phakoemulsifikation, aspiriert (Kanellopoulos et al., 1999).

Das neue Nanosekundenlaser-System der Firma ARC Laser (Nürnberg Germany) bietet neue Eigenschaften, die dazu dienen sollen, dass weniger thermische und mechanische Energie während der Linsenfragmentierung in die Vorderkammer des Patienten freigesetzt wird (Sauder et al., 2017). Als Folge heilt das Hornhautendothel (die innere Hornhautschichte) nach der Operation schneller als nach einer Phakoemulsifikation (Tanev et al., 2016).

1.2 Multifokale Intraokularlinsen (MIOL)

1.2.1 Von monofokalen zu multifokalen Linsen

Harold Ridley, ein britischer Ophthalmologe, führte 1949 die erste Implantation einer künstlichen Linse im menschlichen Auge nach Kataraktextraktion durch. Diese Linse bestand aus Plexiglas (Polymethymethacrylat, PMMA) und wurde von Patientenaugen gut toleriert (Apple et al., 1984). Seitdem arbeiten Medizin und Industrie permanent daran, die verschiedenen Parameter einer Intraokularlinse (IOL), wie Design, Material, Biokompatibilität und Funktion, zu optimieren und dadurch Patienten eine bessere Sehfunktion anbieten zu können.

Die natürliche Linse kann akkomodieren. Dies beschreibt die Fähigkeit des Auges, seine Brechkraft zu ändern, um Objekte in verschiedenen Entfernungen scharfzustellen (Baumeister & Kohnen, 2008). Bei diesem Mechanismus nimmt die Brechkraft des Auges hauptsächlich durch Zunahme der Linsendicke und ihrer Krümmung zu (Drexler et al., 1997). Durch die Entfernung der natürlichen Linse verliert das menschliche Auge also zunächst diese Funktion.

Alle IOL der ersten Ära waren monofokale IOL. Diese können Gegenstände nur in einer Entfernung scharfstellen (meistens in der Ferne). Sie ermöglichen eine gute postoperative visuelle Rehabilitation der Patienten (Percival, 1992), bieten jedoch keine Tiefensehschärfe. Zudem sind die meisten Patienten postoperativ auf eine Brille für den Nahbereich (Leseabstand) und den intermediären Bereich (Arbeitsplatz/Computer) angewiesen (Leyland & Zinicola, 2003; Steinert et al., 1999).

Um dieser Einschränkung zu begegnen, wurden multifokale Intraokularlinsen (MIOL) entwickelt. Im Jahr 1987, ungefähr 40 Jahre nach der ersten IOL-Implantation, waren Keates et al. (1987) eine der ersten Gruppen, die MIOL implantierten. Bei 46 Augen von 38 Patienten wurden mit einer bifokalen Kratz-Johnson-IOL gute Ergebnisse für Fern- und Nahvisus beschrieben (unkorrigierter Fernvisus mit Mittelwert von 0.2 logMAR, Nahvisus von 0.3 logMAR).

Das erste MIOL-Modell, das durch die amerikanische *Food and Drug Association* im Jahr 1997 zugelassen wurde, war das Model SA40N AMO Array von der Firma Allergan Medical Optics (Irvine, CA). Diese Linse war eine refraktive bifokale IOL und zeigte eine gute unkorrigierte Nahfunktion - allerdings mit visuellen Störungen wie Halos (Javitt & Steinert, 2000).

1.2.2 Refraktive vs. diffraktive MIOL und Asphärizität

Physikalisch ermöglichen zwei optische Prinzipien die multifokale Funktion von IOL: Refraktion und Diffraction. Abhängig davon, welches Prinzip eine MIOL verwendet, wird diese als refraktive, diffraktive oder refraktive-diffraktive IOL bezeichnet (Lian et al., 2020).

Als Refraktion wird die Brechung des Lichtes an einer Grenzfläche zweier Medien bezeichnet. Laut dem Snellius-Brechungsgesetz ändert sich die Richtung der Lichtstrahlen in das zweite Medium, weil diese Strahlen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit im Medium ausbreiten (Kohnen, 2011).

Refraktive MIOL verfügen meistens an ihrer Vorderfläche über ringförmige Zonen unterschiedlicher Refraktion (Xu et al., 2014). Diese Zonen sind für die multifokale Funktion der IOL zuständig, weil sie das Licht unterschiedlich stark brechen. In der Regel ist der zentrale Teil der IOL für das Sehen in der Nähe und der periphere Teil für das Sehen in der Ferne zuständig. Wenn ein Mensch in die Nähe blickt, wird seine Pupille kleiner (Nah-Miosis) und

ermöglicht die Brechung des Lichtes vorwiegend durch den zentralen Teil der IOL. Beim Fernblick erweitert sich die Pupille und ermöglicht die Brechung des Lichtes durch den peripheren Teil der IOL (Auffarth et al., 2008).

Als Diffraktion wird die Beugung des Lichtes an einem Hindernis gezeichnet. Wenn das Licht eine Kante oder eine Diskontinuität trifft, wird seine Richtung und Energiestatus leicht geändert (Davison & Simpson, 2006). Dieses passiert, weil das Licht eine Welle trägt. Von der Diskontinuität -die das Licht trifft - entstehen neue unabhängige Elementarwellen (siehe Abb. 2), die als unabhängige Lichtquellen dienen (Kohnen, 2011).

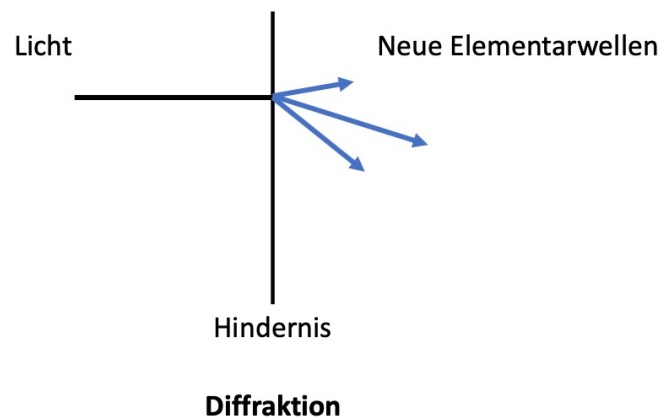


Abb. 2: Das Prinzip der Diffraktion (eigene Skizze).

Diffraktive Linsen verfügen meistens an ihrer Rückseite über verschiedene Zonen mit schrittweisen Diskontinuitäten. Diese Diskontinuitäten beugen das Licht in verschiedenen Brennpunkten (Percival, 1989). Die Lichtwellen von den verschiedenen Diskontinuitäten überlagern sich in den Brennpunkten und verstärken sich gegeneinander (Interferenz). Maximal 82 % des Lichtes wird durch die diffraktiven Strukturen in den Brennpunkten gebeugt. Das restliche 18 % wird durch Streuung verloren (Davison & Simpson, 2006). Weil jede Struktur des diffraktiven Areals einer diffraktiven MIOL das Licht in allen (zwei oder drei) Brennpunkten beugt, ist die Funktion dieser MIOL unabhängig vom Pupillendurchmesser und von der IOL-Zentrierung (Auffarth et al., 2008). Die erste MIOL mit einer diffraktiven Funktion wurde im Jahr 1988 von der Firma 3M eingeführt (Lindstrom, 1993).

Abbildung 3 zeigt, wie eine diffraktive IOL und ihre diffraktive Struktur aussieht sowie wie diese Struktur das Licht beugt.

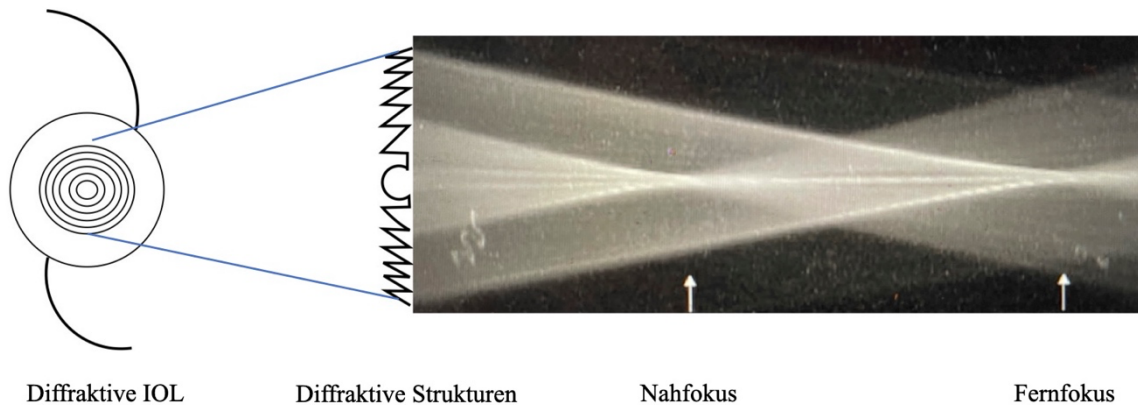


Abb. 3: Diffraktive IOL und ihre Funktion. Links: Aufsicht einer diffraktiven IOL von vorne, Mitte: diffraktive Strukturen mit den Diskontinuitäten der IOL-Rückfläche, rechts: Beugung des Lichtes in zwei Brennpunkten (eigene Skizze).

Verschiedene Studien weisen darauf hin (Chiam et al., 2007; Mester et al., 2007), dass sowohl refraktive als auch diffraktive MIOL eine gute unkorrigierte Fern- und Nahsehstärke sowie ein hohes Niveau an Brillenunabhängigkeit ermöglichen. Sie zeigen aber Unterschiede in ihrer Leistung.

Laut einer Metanalyse von Xu et al. (2014) zeigen refraktive MIOL eine bessere Sehschärfe in der Ferne, während diffraktive MIOL in der Nähe und im intermediären Bereich eine bessere Sehschärfe aufweisen. Aus diesem Grund resultieren laut dieser Metaanalyse diffraktive MIOL in einer besseren Lesefähigkeit und einer höheren Brillenunabhängigkeit im Nahbereich verglichen mit refraktiven MIOL. Außerdem zeigen diffraktive MIOL weniger photopischen Phänomenen wie Halos und Blendung, was in einer besseren Sehqualität im Vergleich zu refraktiven MIOL resultiert.

Eine andere wichtige Eigenschaft einer IOL ist die Asphärizität. Aberrationen sind in der Optik Abweichungen von einer optimalen Abbildung (Abbildungsfehler) und sie werden in Aberrationen niedriger und höherer Ordnung geteilt (Kohnen & Klaproth, 2008). Die sphärische Aberration ist eine der wichtigsten Aberrationen höherer Ordnung (Liu et al., 2013). Je höher die sphärische Aberration des Auges ist desto verwaschener wirkt das gesehene Bild für den Patienten (Zeng et al., 2021).

Asphärische IOL sind Linsen, deren Fläche von einer perfekten Kugelform (Sphäre) abweicht. Diese Besonderheit wird Asphärizität genannt und resultiert in einer negativen sphärischen

Aberration ähnlich der Aberration der natürlichen Linse eines jungen Menschen (Kohnen & Klaproth, 2008). Diese negative Aberration gleicht die positive sphärische Aberration der Hornhaut aus (Holladay et al., 2002) und als Folge werden die Sehschärfe und das Kontrastsehen des Auges verbessert (de Vries & Nuijts, 2013). Die Asphärizität bei MIOL führt zu weniger unerwünschten photopischen Phänomenen (Halo, Blendung) und besserer Abbildungsqualität (Montes-Mico et al., 2009).

1.2.3 Trifokale MIOL - PanOptix

Die erste Generation der MIOL waren bifokale Linsen. Bifokale Linsen bieten einen Fokuspunkt für das Sehen in der Ferne und einen zweiten für das Sehen in der Nähe (30-40cm) ohne Funktion im intermediären Bereich (Kim et al., 2011). Dieser Bereich des Sehens (zwischen 60 und 80 cm) ist aber heute für den Alltag des Patienten von besonderer Bedeutung, z.B. das Arbeiten am Computer. Die neue Generation der MIOL sind trifokale Linsen, die auch scharfes Sehen im intermediären Abstand ermöglichen. Die trifokalen Linsen bieten aus diesem Grund einen dritten Fokuspunkt für das intermediäre Sehen ohne negativen Einfluss auf das Sehen in der Ferne oder Nähe (Gatinel & Houbrechts, 2013).

Aktuell stehen verschiedene trifokale MIOL von verschiedenen Firmen und mit unterschiedlichen technischen Eigenschaften zur Verfügung. Dazu gehören beispielweise die Acrysof IQ PanOptix der Firma Alcon (Fort Worth Texas, USA), die FineVision Micro F der Firma PhysIOL, die AT LISA tri 839MP der Firma Zeiss, die RayOne-IOL der Firma Rayner und die Lentis Mplus LS-313 IOL der Firma Oculentis (Imburgia et al., 2022; Plaza-Puche et al., 2015; Sudhir et al., 2019). Eine detaillierte Analyse aller Linsenmodellen überschreitet den Rahmen dieser Arbeit. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit lediglich die Funktion des Linsenmodells Acrysof IQ PanOptix detaillierter untersucht.

Die PanOptix IOL ist eine trifokale diffraktive IOL mit einer asphärischen Oberfläche und verfügt über eine Addition von +3,25 Dioptrien für den Nahbereich und +2,17 Dioptrien für den intermediären Bereich. Die Linse bietet durch diese Additionen Patienten optisch drei verschiedene Fokuspunkte: im Nahbereich (40 cm), im intermediären Bereich (60 cm) und in der Ferne (5 m) (Vilar et al., 2017). Sie soll 25% des angekommenen Lichts für den Nahvisus, 25% für den intermediären Visus und 50% für den Fernvisus teilen. Diese Linse wurde im Jahr 2015 in Deutschland für das erste Mal implantiert (Kohnen, 2015).

Die PanOptix IOL besteht aus hydrophobischen akrylischen Material und verfügt über einen Blaulichtfilter. Der Gesamtdurchmesser dieser Hinterkammerlinse liegt bei 13 mm und der Optikdurchmesser bei 6 mm. Das multifokale Element befindet sich im Zentrum der IOL und besteht aus einem 4,5 mm diffraktiven Areal mit 15 diffraktiven Zonen (siehe Abb. 4). Um diesem Element liegt ein refraktiver Rand (Kohnen, 2015). Eine andere Besonderheit dieser IOL ist, dass sie rein physikalisch einen vierten Fokuspunkt im Abstand von 120 cm bildet (quadrafokale IOL) (Kohnen et al., 2017). Das Licht dieses vierten Punktes wird aber kontinuierlich in die Ferne weiter gebeugt („*enlighten optical technology*“) um lediglich den Übergang zwischen dem Fern- und dem intermediären Sehen natürlicher zu machen.

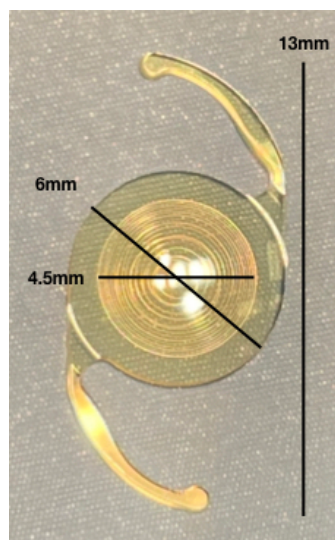


Abb. 4: PanOptix-IOL. Gesamtdurchmesser 13 mm, optische Zone 6 mm, diffraktive Zone 4.5 mm, (eigenes Bild von Operationsmikroskop).

Die PanOptix IOL zeigt eine gute Fern- und Nahfunktion und bietet eine hohe Brillunenabhängigkeit (Kohnen, 2015; Kohnen et al., 2017). Kohnen, Marchini et al. (2020) maßen nach bilateraler PanOptix-Implantation einen unkorrigierten Fernvisus von 0.02 ± 0.11 logMAR, einen intermediären Visus in 60 cm von 0.04 ± 0.12 logMAR und einen Nahvisus von 0.07 ± 0.11 logMAR.

Bei einem Vergleich zwischen bilateraler PanOptix-IOL-Implantation und bilaterale Implantation von verschiedenen bifokalen ReSTOR MIOL - eine Strategie bekannt als „*mix and match Implantation*“ - zeigt die PanOptix-IOL ebenfalls eine sehr gute visuelle Funktion in allen Abständen und sogar ein besseres Kontrastsehen als die ReSTOR IOL (Vilar et al., 2017).

Eine torische Variante der PanOptix IOL steht zur Korrektur des postoperativen Astigmatismus Katarakt-Patienten bereits zur Verfügung. Kohnen, Lwowski et al. (2020) zeigten das alle 25 in ihrer Studie untersuchten Patienten mit der torischen PanOptix bilateral einen Fernvisus von mindestens 0.2 logMAR, einen intermediären Visus in 60 cm von mindestens 0.1 logMAR und einen Nahvisus von mindestens 0.3 logMAR hatten. Die torische PanOptix bettete ebenfalls eine gute Rotationsstabilität sowie eine hohe Patienten-Zufriedenheit, laut der oben genannten Studie.

Essenziell für eine richtige Beurteilung der Funktion der PanOptix-IOL ist ihr Vergleich mit anderen trifokalen IOL-Modellen. Auch hier zeigt die PanOptix eine gute Leistung.

Escandon-Garcia et al. (2018) maßen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der PanOptix-IOL (7 Patienten) und der trifokalen Fine-Vision-IOL (23 Patienten) hinsichtlich der postoperativen Sehschärfe. Imburgia et al. (2022) verglichen die trifokale RayOne-IOL (Rayner, Worthing, UK) mit der PanOptix-IOL. Sie fanden eine ähnliche und gute postoperative unkorrigierte Sehschärfe (Fernvisus -0.01 vs. 0.01 logMAR, intermediärer Visus 0.06 vs. 0.09 logMAR, Nahvisus 0.03 vs. 0.04 logMAR entsprechend) und eine ähnlich hohe Patienten-Zufriedenheit bei beiden Linsenmodellen.

Ribeiro and Ferreira (2020) verglichen in ihrer Studie die Sehschärfe und das Kontrastsehen zwischen den drei oben erwähnten trifokalen IOL (PanOptix, FineVision F, RayOne) und fanden ebenso keinen signifikanten Unterschied.

Böhm et al. (2019) stellten bei der PanOptix-IOL einen signifikant besseren unkorrigierten intermediären Visus (0.08 vs. 0.18 logMAR) und Nahvisus (0.06 vs. 0.16 logMAR) im Vergleich zur trifokalen refraktiven Lentis-MPlus X LS-313-IOL fest. In dieser Studie zeigte allerdings die PanOptix-IOL einen vergleichbaren Visus in allen Abständen mit der trifokalen AT LISA tri 839MP IOL.

1.3 Limitationen von MIOL

Die verschiedenen MIOL-Modelle erfüllen in den meisten Fällen ihre Aufgabe: Patienten eine gute unkorrigierte Sehschärfe in der Nähe mit einer erhaltenen guten Sehschärfe in der Ferne anzubieten. Außerdem ermöglichen sie eine hohe Brillenunabhängigkeit und eine hohe Patientenzufriedenheit (Alfonso et al., 2010; Chiam et al., 2007; Kohnen et al., 2009; Mester et al., 2007).

Allerdings beträgt die MIOL-Implantation noch nicht das häufigste Procedere für die Behandlung von Katarakt-Patienten. Lundström et al. (2012) maßen, dass zwischen 2009 und 2011 MIOL nur in 0,2 % der Katarakt-Operationen in Europa verwendet wurden. Eine andere koreanische Studie (Rho et al., 2021) zeigte, dass nur 29 % der befragten Operateuren MIOL in mehr als 10% der Katarakt-Fälle implantierten. Als Ursache für den noch niedrigen Anteil des MIOL-Gebrauchs können die erhöhten Kosten der MIOL für die Patienten und die Einschränkungen dieser IOL vermutet werden.

Einer der Nachteile dieser Linsen ist das Entstehen von Streulicht. Dieses führt zu multiplen defokussierten Fokuspunkten auf der Netzhaut und damit zu sogenannten photopischen Phänomenen, wie Halos und Blendung/Glare (Cervino et al., 2008). Halos sind Lichtkreise die um einen hellen Punkt (beispielweise das Licht einer Straßenlaterne) auftreten und werden besonders in Dämmerung oder Dunkelheit wahrgenommen. Blendung bezeichnet eine reduzierte Sehschärfe im hellen Licht (Haring et al., 2001). Diese photopischen Phänomene sind aufgrund der Lichtspaltung durch die MIOL, häufig mit diesen assoziiert. Patienten mit MIOL zeigen somit eine höhere Inzidenz dieser Phänomene im Vergleich zu Patienten mit monofokalen Linsen (de Silva et al., 2016; Kohnen & Suryakumar, 2020a). Photopische Phänomene wurden auch als Ursache von postoperativen Patientenunzufriedenheit beschrieben (Woodward et al., 2009).

Ein weiterer Nachteil der MIOL besteht im herabgesetzten Kontrastsehen im Vergleich zur monofokalen IOL (Auffarth et al., 1993). Diese Einschränkung tritt besonders in Dämmerung und bei Patienten mit anderen Augenerkrankungen auf. Als Ursache des verminderten Kontrastsehens wird das gleichzeitige Erscheinen von zwei Bildern (ein scharfes und ein defokussiertes) auf der Netzhaut angenommen, sodass das Licht des defokussierten Bildes die Erkennbarkeit des scharfen Bildes reduziert (de Vries & Nuijts, 2013).

Andere Nachteile, die mit MIOL beschrieben wurden, sind vermehrte chromatische Aberrationen und Koma, assoziiert mit diffraktiven MIOL (Percival, 1992), allgemein verschwommenes Sehen (Woodward et al., 2009) und Schwierigkeit beim Lesen (de Vries et al., 2011). Obwohl bei vielen Patienten andere Ursachen der oben genannten Beschwerden nachweisbar waren (wie zum Beispiel Ametropie, Astigmatismus, Nachstar und dezentrierte IOL) (de Vries et al., 2011; Woodward et al., 2009) sind diese Beschwerden laut Kohnen und Suryakumar (2020b) primär mit der MIOL-Technologie und der Funktion dieser Linsen verbunden.

1.3.1 Umgang mit den Einschränkungen der MIOL

Die oben beschriebene Problematik der MIOL und das Ziel der weiteren Verbesserung der postoperativen Sehschärfe von Katarakt-Patienten dienen als Motivation für die Augenärzte und die Industrie, neue Linsenmodelle und neue Implantationsschemata zu entwickeln. Die Reduktion der MIOL-Einschränkungen ist von besonderer Bedeutung für spezielle Patientengruppen, wie z.B. die Berufskraftfahrer. Bei dieser Gruppe bedeuten das herabgesetzte Kontrastsehen in Dunkelheit und die photopischen Phänomene eine deutliche Leistungsminderung.

In diesem Subkapitel werden verschiedene Implantationsschemata und Linsentechnologien erwähnt, die für die Korrektur der postoperativen Presbyopie angewendet werden, sowie Strategien für den Umgang mit der MIOL-Problematik. Die folgende Analyse dient als eine logische Bindung zwischen dieser Problematik und unsere Empfehlung zur Problemlösung bzw. unseres Studiendesigns. Unter anderem werden die Monovision, die EDOF-IOL und die Implantation von verschiedenen Linsenmodellen im gleichen Patienten dargestellt.

1.3.2 Monovision

Monovision ist eine Methode, um die Presbyopie (Verlust der Akkommodation) zu korrigieren. Sie ist definiert als die Korrektur des einen Auges für das Sehen in der Ferne und des zweiten Auges für das Sehen in der Nähe. Eine unterschiedliche Brechkraft zwischen den beiden Augen ist als Anisometropie definiert. Bei der Monovision handelt sich praktisch um eine erwünschte und erworbene Anisometropie (Evans, 2007). Die Anisometropie kann zwischen 0,75 Dioptrie und 2,5 Dioptrien abweichen.

Diese Methode ist auch bei Katarakt-Patienten anwendbar - Pseudophakie Monovision - (Greenbaum, 2002) und wurde 1984 zuerst von Boerner and Thrasher beschrieben (Boerner & Thrasher, 1984). Monovision scheint die postoperative Brillenabhängigkeit zu reduzieren und gut von Patienten toleriert zu werden (Finkelman et al., 2009; Xiao et al., 2011). Sie ist aber mit Limitationen verbunden. Die meisten Studien untersuchten die Monovision an phaken Patienten, die eine Monovision durch Kontaktlinsen oder Brillen künstlich erzeugten. Das Review von Evans (2007) fasst solche Limitationen zusammen, wie Schwierigkeit alle Bereiche des Sehens gleichzeitig zu korrigieren (Ferne, Nähe, intermediär Bereich), visuelle

Phänomene (Halos, Glare) im Dunkeln, leichte Reduktion des Kontrastsehens und des Stereosehens.

Den oben genannten Limitationen zufolge kann angenommen werden, dass Patienten mit Pseudophakie Monovision und MIOL ähnliche Schwierigkeiten erleben. Es ist deswegen interessant, die Nahfunktion der beiden Varianten miteinander zu vergleichen.

Ito and Shimizu (2009) fanden keinen statistisch signifikanten Unterschied bei der Lesengeschwindigkeit zwischen Monovision mit der AQ110NV monofokalen IOL (Canon-Staar) und der bilateralen MIOL-Implantation mit Array S440N (Abbott Medical Optics). Auch Chen and Chen (2010) belegten, dass sowohl eine Monovision mit der monofokalen asphärischen Acrysof SN60WF IOL (Alcon, Inc.) als auch die bilaterale Implantation von bifokalen ReSTOR SN60D3 (Alcon, Inc.) bezüglich der Sehfunktion und Brillunenabhängigkeit effektiv sind. Allerdings war in dieser Studie ein größerer Anteil der MIOL-Patienten (19 in 20 Patienten) im Vergleich zur Monovision-Patienten (7 in 20 Patienten) brillunenabhängig.

Leider wurden nur wenige Studien zur Pseudophakie Monovision veröffentlicht. Große randomisierte Studien, die sowohl die Funktion im ganzen Bereich des Sehens als auch Parameter wie Kontrastsehen, Stereosehen, photopische Phänomene und Patientenzufriedenheit zwischen bilateraler Monovision und bilateraler MIOL verglichen haben, sind uns nicht bekannt.

1.3.3 EDOF-Linsen

EDOF (*Extended Depth of Focus*) IOL sind Linsen, die den Raum zwischen monofokalen IOL und MIOL überbrücken sollen. Diese Linsen sollen die Problematik der MIOL reduzieren und gleichzeitig den Patienten einen funktionellen Nahvisus postoperativ ermöglichen.

Im Gegensatz zu MIOL, die mehrere Brennpunkte hervorrufen, erzeugen EDOF-Linsen einen einzelnen verlängerten Brennpunkt zwischen der Ferne und dem intermediären Bereich. Dieser verlängerte Punkt sorgt für einen verbesserten und erweiterten Tiefenschärfenbereich (*depth of focus*) und sollte durch die Beseitigung der von MIOL produzierten überlappenden Fern- und Nahbildern weniger photopischen Phänomene verursachen (Kanclerz et al., 2020).

In der Literatur werden zahlreiche verschiedene Technologien beschrieben, die zur einer EDOF-Funktion führen: die IOL mit einer kleinen Öffnung (*Small-Aperture IOL*), z.B. die IC-8 der Firma Acu-Focus Inc., die diffraktive EDOF-Linsen, z.B. die Tecnis Symphony IOL der Firma Johnson and Johnson, die bioanalogische IOL, z.B. die WIOL-CF IOL der Firma Mediem und die nicht-diffraktiven Technologien, z.B. die SIFI Mini-WELL-IOL der Firma SIFI MedTech Srl (Kohnen & Suryakumar, 2020a). Die erste EDOF-IOL, die in Europa 2014 auf den Markt kam und zwei Jahre später (2016) von der amerikanischen *Food and Drug Association* zugelassen wurde, war die diffraktive Tecnis Symphony IOL (Kanclerz et al., 2020).

EDOF-Linsen sollen (Knorz, 2020) eine optimale Sehschärfe im Fernbereich, ähnlich wie die monofokalen IOL, und eine bessere Sehschärfe im intermediären Bereich als die bifokalen MIOL ermöglichen. Jedoch ist ein brillenfreies Lesen im Nahbereich mit diesen Linsen nicht möglich. Gleichzeitig sollen sie weniger unerwünschten photopischen Phänomenen (Halos, Blendung) als MIOL verursachen.

Xu et al. (2020) verglichen die EDOF Symphony-IOL mit einer monofokalen und einer bifokalen (Tecnis +4.0D ZMB00) MIOL. Sie maßen bei allen drei Linsen einen ähnlichen Fernvisus (0.06 logMAR für die EDOF IOL und die monofokale IOL und 0.03 logMAR für die bifokale IOL), einen signifikant besseren intermediären Visus bei der EDOF-Gruppe und keinen signifikanten Unterschied im Nahvisus zwischen EDOF- und bifokaler Gruppe. Das Kontrastsehen der EDOF-Gruppe war besser im Vergleich zur bifokalen Gruppe.

EDOF-Linsen können die hohen Erwartungen von Ärzten und Patienten für eine Brillenfreiheit vollständig nicht erfüllen. Die wichtigste Einschränkung dieser IOL ist ihre Funktion im Nahbereich. Ihre Nahfunktion ist der trifokalen MIOL unterlegen und die Patienten müssen postoperativ häufiger eine Lesebrille tragen (Bohm et al., 2019). Außerdem scheinen diese Linsen im Vergleich zu monofokalen Linsen eine schlechtere Fernfunktion zu bieten und ein reduziertes Kontrastsehen hervorzurufen (Kohnen & Suryakumar, 2020a). Pedrotti et al. (2020) stellten bei EDOF-IOL zudem mehr photopischen Phänomene als bei monofokalen asphärischen IOL fest.

Diese Befunde setzen tatsächlich die EDOF-Linsen im Bereich zwischen monofokalen IOL und MIOL. Aber sie stellen auch klar, dass EDOF-Linsen allein keine Brillenunabhängigkeit im ganzen Sehbereich erschaffen. Laut den oben genannten Studien sind EDOF-IOL den

monofokalen Linsen bezüglich der Fernfunktion und des Kontrastsehens sowie den trifokalen IOL bezüglich des Nahvisus unterlegen.

1.3.4 Implantation von verschiedenen IOL am gleichen Patienten

Mix and match/Blended Vision

Trotz der Entwicklungen im Bereich der MIOL steht bis dato kein einziges Linsensystem mit einer optimalen Sehfunktion im ganzen Sehbereich und ohne unerwünschte Nebenwirkungen (reduziertes Kontrastsehen, Halo, Glare) zur Verfügung. Auf der Suche nach Alternativen für die Patientenversorgung wurden Implantationsschemata mit einer Implantation von MIOL mit verschiedenen Nahadditionen pro Auge desselben Patienten entwickelt. Diese Methode ist als „*Mix und Match*“, „*Blended Vision*“ und „Überblendvisus“ bekannt (Breyer et al., 2020). Beispiele für diese Schemata werden anschließend präsentiert.

Bilbao-Calabuig et al. (2016) verglichen eine Patientengruppe mit verschiedenen bifokalen IOL an beiden Augen (Acrysof ReSTOR +2,5 und Acrysof ReSTOR +3,0 von Firma Alcon) mit einer Gruppe mit bilateralen trifokalen IOL (FineVision von Firma PhysIol). Beide Gruppen zeigten ähnliche Fernfunktionen und Kontrastsehen, die trifokale Gruppe zeigte allerdings einen signifikant besseren intermediären Visus und Nahvisus. Carson et al. (2014) empfehlen die oben genannte „*Mix und Match*“ Kombination (ReSTOR +2,5 und ReSTOR +3,0) als eine gute Alternative für ein gutes binokulares Sehen in allen Entfernungen mit wenigen photopischen Phänomenen.

Tarib et al. (2019) verwendeten die „*Mix and Match*“-Technik durch eine Kombination von einer EDOF-Linse (LARA 829MP) an einem Auge und einer trifokalen MIOL (LISA 839MP) am kontralateralen Bei dieser „*Mix-Gruppe*“ stellten sie eine bessere Nahfunktion im Vergleich zu der Kontrollgruppe mit bilateraler EDOF-Implantation fest. Die gleiche Kombination von IOL (EDOF LARA + trifokale LISA) wurde auch von McNeely et al. (2020) untersucht. Sie konnten eine gute Sehfunktion (Fernvisus -0.08 ± 0.07 , intermediärer Visus 0.13 ± 0.12 , and Nahvisus 0.17 ± 0.11 logMAR) und eine hohe Patientenzufriedenheit mit der Technik feststellen.

Ein weiteres interessantes Implantationsschema ist das sogenannte „Düsseldorfer Schema“ von Breyer et al. (2020). Dieses Schema wendet das Prinzip der Monovision bei der Implantation

von EDOF-Linsen an. Insbesondere implantierten Breyer et al. am dominanten Auge eine refraktive bifokale EDOF-IOL (Lentis Comfort LS-313) mit dem Ziel Emmetropie und am zweiten Auge die gleiche IOL, aber mit einer Zielrefraktion von -1,5 Dioptrien. Dadurch sollte eine gute binokulare Sehschärfe im Nahbereich und im intermediären Bereich mit weniger photopischen Phänomene und besserem Kontrastsehen im Vergleich zu diffraktiven MIOL erschaffen werden. Trotzdem konnte keine Brillenunabhängigkeit beim Lesen erreicht werden.

1.3.5 Unilaterale MIOL-Implantation

Die oben erwähnten Studien zeigten, dass die Implantation von verschiedenen IOL am gleichen Patienten gut funktioniert. Im klinischen Alltag stellt sich oft die Frage einer unilateralen MIOL-Implantation, wie zum Beispiel bei unilateraler Katarakt, einzigem funktionellen Auge, Presbyopie Korrektur oder voroperierten Patienten mit einer monofokalen IOL am bereits operierten Auge.

Das unilaterale MIOL-Prinzip wurde oft bei Patienten mit unilateraler Katarakt angewendet. Haring et al. (1999) untersuchten die Funktion der AMO Array MIOL (MPC 25 NB, Allergan Inc.) nach einer unilateralen und bilateralen Implantation. Sie stellten in beiden Fällen eine ähnliche Fern- und Nahsehschärfe sowie Stereosehen fest. Bei der unilateralen Gruppe wurde allerdings eine stärkere Anisoeikonie gemessen. Jacobi et al. (2002) untersuchten ein anderes Model der gleichen Firma (die Array SA-40N IOL) bei Patienten mit unilateraler Katarakt. Die einseitige Implantation dieser MIOL führte zu einer guten korrigierten Fernvisus (0.25 ± 0.12 logMAR) und Nahvisus (0.18 ± 0.11 logMAR) und einer reduzierten Brillenabhängigkeit im Vergleich zur unilateralen monofokalen IOL-Gruppe.

Im Rahmen der unilateralen Katarakt verglichen auch Yoon et al. (2013) die unilaterale MIOL-Implantation mit der diffraktiven Tecnis ZM900 IOL (Abbott Medical Optics, Inc.) mit einer bilateralen „*Mix and Match*“ Technik (diffraktive Tecnis ZM900 + refraktive Rezoom NXG1 IOL – Abbott Medical Optics Inc.). Sie belegten, dass beide Implantationsmethoden bezüglich der postoperativen binokularen Sehschärfe ähnlich effektiv sind: Fernvisus bei der unilateralen MIOL-Gruppe 0.10 ± 0.13 logMAR vs. 0.10 ± 0.13 logMAR der „*Mix and Match*“-Gruppe, intermediärer Visus 0.29 ± 0.14 logMAR vs. 0.23 ± 0.12 logMAR und Nahvisus 0.27 ± 0.25 logMAR vs. 0.25 ± 0.18 logMAR. Außerdem zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Nutzung einer Lesebrille postoperativ.

Eine weitere Anwendung der unilateralen MIOL-Implantation findet sich bei der refraktiven Linsenextraktion (RLE, Entfernung der eigenen klaren Linse aus refraktivem Grund) zur Korrektur der Presbyopie. Die Studie von Cionni et al. (2009) hat die Funktion der bifokalen diffraktiven AcrySof SN60D3 ReSTOR IOL (Alcon Inc.) nach einer unilateralen versus bilaterale Implantation untersucht. Die bilaterale Gruppe zeigte eine bessere Nahfunktion und ein besseres Stereosehen, allerdings berichteten die Patienten der unilateralen Gruppe von weniger photopischen Phänomenen wie Halos.

Auch die einseitige Implantation von trifokalen IOL scheint bei RLE effektiv zu sein. Zwei Studien (Fernandez-Garcia et al., 2021; Levinger et al., 2019) untersuchten die Effektivität der unilateralen Implantation der trifokalen diffraktiven FineVision IOL. Beide stellten fest, dass die unilaterale trifokale IOL-Implantation mit einer guten Nahfunktion und mit hoher Patientenzufriedenheit verbunden ist.

Unilaterale PanOptix

Zur unilateralen Verwendung der trifokalen PanOptix-IOL (Firma Alcon) gibt es bislang nur wenig in der Literatur. Im Fallbericht von Tsaousis et al. (2018) wird von einer erfolgreichen und mit guten Ergebnissen (Fernvisus 0.14 logMAR, intermediärer Visus 0.22 logMAR, Nahvisus 0.16 logMAR) unilateralen PanOptix-Implantation bei einer 46-jährigen Patientin mit unilateraler Katarakt und leicht myopen phaken Partnerauge berichtet.

Akman et al. (2019) stellten bei einer Subgruppe mit unilateraler PanOptix-Implantation im Vergleich zu der bilateralen PanOptix-Gruppe mithilfe eines Fragebogens (*Vision related Quality of Life*) ähnliche subjektive Ergebnisse, außer der Feinhandarbeit in der Nähe (Nähen) und der Computerarbeit, fest. Interessanterweise fanden Hamdi et al. (2019) zwischen einer unilateralen und bilateralen PanOptix-Implantation keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der Sehschärfe, Brillenunabhängigkeit und postoperativen Lebensqualität.

Abschließend zeigen Studien mit verschiedenen MIOL-Modellen (Cionni et al., 2009; Hamdi, 2019; Haring et al., 1999; Levinger et al., 2019; Yoon et al., 2013), dass eine unilaterale Implantation sowohl effektiv ist als auch von Patienten gut toleriert wird. Allerdings haben die meisten Forscher das unilaterale MIOL-Prinzip entweder bei einseitiger Katarakt (Haring et

al., 1999; Jacobi et al., 2002; Yoon et al., 2013) oder bei der RLE für die Presbyopie-Korrektur (Cionni et al., 2009; Fernandez-Garcia et al., 2021; Levinger et al., 2019) untersucht. Dabei war in den meisten Fällen das zweite Auge der Patienten in der unilateralen Gruppe phak, die natürliche Linse also noch vorhanden und so eine Akkomodation auf diesem Auge noch möglich. Auch bestanden so noch verschiedene Niveaus von Linsenklarheit und vermutlich verschiedene Refraktion an den noch phaken Augen. Diese Tatsache verursacht Limitationen in der Beurteilung von binokularer postoperativer Sehfunktion, dem Empfinden von photopischen Phänomenen, dem Kontrastsehen, der unkorrigierten Nahfunktion und der Tiefensehschärfe.

Bis dato sind uns sehr wenige Studien bekannt, die bei Katarakt-Patienten, die an beiden Augen eine Behandlung benötigen, gezielt das Prinzip der unilateralen MIOL-Implantation untersucht haben. In der Studie von Steinert et al. (1999) über die AMO ARRAY IOL (Allergan, Irvine, CA) wurde eine Subgruppe mit einer unilateralen MIOL und einer monofokalen IOL am Partnerauge versorgt. Bei dieser Subgruppe wurde eine hohe Brillunenabhängigkeit in der Ferne und dem intermediären Bereich gemessen. Hier wurde aber weder die binokulare Funktion noch das Kontrastsehen oder die photopischen Phänomenen zwischen der Subgruppe und die binokulare MIOL-Gruppe verglichen.

Bei einer weiteren Studie von Mayer et al. (2008) wurde bei 13 Patienten, schon mit einer monofokalen IOL voroperiert, am zweiten Auge eine diffraktive bifokale IOL (Acrysof ReSTOR SA60D3, Alcon) eingesetzt. Die Patienten zeigten eine hohe Zufriedenheit und einen guten binokularen unkorrigierten Fernvisus von 0.0 logMAR (Nieder 1). Bei dieser Studie fehlt allerdings ein Vergleich aller Parameter der Sehfunktion mit einer binokularen MIOL-Gruppe.

Außerdem sind uns keine prospektiven Studien bekannt, bei denen das oben erwähnte Prinzip (einseitige MIOL mit kontralateraler monofokalen IOL bei binokularer Katarakt) mit der trifokalen PanOptix-IOL untersucht wurde. Bei der Studie von Hamdi et al. (2019) hatte die unilaterale PanOptix-Gruppe nur ein funktionelles Auge. Deswegen war keine Beurteilung der binokularen Sehfunktion dieser Patienten möglich. Des Weiteren wurde bei der Studie von Akman et al. (2019) lediglich das subjektive Empfinden der Patienten untersucht. Es wurde kein Vergleich der Sehfunktion (Sehschärfe, Tiefenwahrnehmung, Kontrastsehen) oder der photopischen Phänomene zwischen unilateraler und bilateraler PanOptix-Implantation angestellt.

1.4 Fragestellung / Ziel der Studie

Auf der einen Seite ermöglichen MIOL Katarakt-Patienten postoperativ eine bessere unkorrigierte Sehschärfe im Nahbereich sowie eine höhere Brillenunabhängigkeit im Vergleich zu monofokalen IOL (Chiam et al., 2007; Mester et al., 2007). Insbesondere zeigen trifokale IOL zusätzlich eine gute Sehschärfe im intermediären Bereich (Gatinel & Houbrechts, 2013; Kohnen, Marchini, et al., 2020). Die trifokale PanOptix-IOL stellt ein Linsenmodell mit guter Effektivität und hoher Patientenzufriedenheit dar (Kohnen et al., 2017).

Auf der anderen Seite verursachen monofokale IOL jedoch weniger photopische Phänomene wie Halos und Blendung (de Silva et al., 2016) und zeigen ein besseres Kontrastsehen besonders im Dunkeln (Auffarth et al., 1993; de Vries & Nuijts, 2013) als MIOL. Außerdem zeigt eine unilaterale Implantation von MIOL eine gute Effektivität und wird von den Patienten gut toleriert (Cionni et al., 2009; Hamdi, 2019; Yoon et al., 2013).

Ziel unserer Studie ist das Prinzip der unilateralen Versorgung der Katarakt-Patienten mit der trifokalen Acrysof IQ PanOptix-IOL zu untersuchen. Wir wollen feststellen, ob eine gezielte Kombination einer PanOptix-IOL an einem Auge und einer monofokalen asphärischen IOL am Partnerauge ähnlich effektiv ist wie die bilaterale PanOptix-Implantation, dabei aber mit weniger unerwünschten Nebenwirkungen der MIOL einhergeht.

Unsere Fragestellung ist von besonderer Bedeutung, weil sie sich oft im ophthalmologischen klinischen Alltag stellt. Ein Beispiel sind die Berufskraftfahrer (Taxifahrer, Busfahrer, Lastkraftwagenfahrer) oder andere Patienten, die nachts viel fahren müssen, und gleichzeitig eine starke Motivation für Brillenfreiheit haben. Bei diesen Patienten können das reduzierte Kontrastsehen in Dunkeln und die photopischen Phänomene eine besondere Problematik darstellen. Andere denkbar geeignete Patienten für eine unilaterale MIOL-Implantation sind voroperierte Patienten mit einer monofokalen IOL an einem Auge und dem Wunsch einer multifokalen Funktion am zweiten Auge oder auch Patienten, die sich aus sozialen-ökonomischen Gründen finanziell nur eine einseitige MIOL-Implantation leisten können.

Aus unserer Fragestellung resultieren drei Hypothesen, deren Gültigkeit mit der Studie untersucht wird:

Hypothese 1

Die unilaterale Implantation einer trifokalen PanOptix kombiniert mit der Implantation einer monofokalen Linse am Partnerauge ist im Vergleich zu bilateraler Implantation von trifokalen PanOptix in Bezug auf die binokulare Sehschärfe in der Ferne, der Nähe und dem intermediären Bereich ähnlich effektiv.

Hypothese 2

Die unilaterale Implantation der trifokalen PanOptix-IOL ermöglicht ein besseres Kontrastsehen und verursacht weniger photopische Phänomene (Halos, Blendung) als die bilaterale PanOptix-Implantation.

Hypothese 3

Die Patienten zeigen sowohl nach einer unilateralen als auch nach einer bilateralen PanOptix-Implantation postoperativ eine hohe Zufriedenheit und genießen eine hohe Brillenunabhängigkeit.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Unsere Studie ist eine prospektive kontrollierte nicht-randomisierte Fall-Kontroll-Studie, die in den Zentren der MVZ RHR Augenärzte GmbH durchgeführt wurde. Eingeschlossen in die Studie sind Patienten mit bilateraler Katarakt, die eine Katarakt-Extraktion mit einer entweder unilateralen oder bilateralen Implantation von trifokalen Acrysof IQ PanOptix® IOL (in der Arbeit wird die IOL nur als PanOptix erwähnt) der Firma Alcon (Fort Worth Texas, USA) erhalten haben.

Die Patienten wurden in zwei Gruppen eingeteilt: die eine Gruppe (bilaterale PanOptix-Gruppe - auch Kontrollgruppe genannt) besteht aus Patienten, die an beiden Augen eine trifokale PanOptix-Linse im Rahmen der Katarakt-Operation erhalten haben. Bei der zweiten Gruppe (unilaterale PanOptix-Gruppe - auch Studiengruppe genannt) handelt es sich um Patienten, die nur an einem Auge eine trifokale PanOptix-Linse und am kontralateralen Auge eine monofokale Acrysof® IQ asphärische IOL erhalten haben. Die Studienteilnehmer haben sich im Rahmen der präoperativen Beratung nach einem ausführlichen medizinischen Aufklärungsgespräch mit dem Operateur freiwillig und studienunabhängig entweder für eine einseitige oder für eine beidseitige Implantation von trifokalen MIOL (PanOptix) entschieden.

Die Studie wurde vom Mai 2020 bis Oktober 2021 durchgeführt. Die Studie wurde nach den Bestimmungen der Berufsordnung für Ärzte, der revidierten Deklaration von Helsinki, dem Bundesdatenschutzgesetz, dem Landesdatenschutzgesetz NRW und dem Gesundheitsdatenschutzgesetz NRW durchgeführt.

Ein Ethikvotum der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Studien ID des Studienregisters in Universitätsklinik Düsseldorf 2019-696) wurde vor Beginn der Studie eingeholt. Alle Studienteilnehmer wurden ausführlich, mündlich und schriftlich, über den Studienverlauf, die Ziele, Risiken und Nutzen der Studie aufgeklärt und haben im Voraus eine Einwilligung zur Teilnahme an der Studie und eine Einwilligung zum Datenschutz unterschrieben.

Im Rahmen der Studie sind initial 80 Patienten eingeschlossen (40 Teilnehmer pro Gruppe), von denen acht Fälle ausgeschlossen wurden. Ein Teilnehmer hat die zweite geplante Operation

abgesagt, drei Teilnehmer sind nicht zur postoperativen Nachkontrolle erschienen, und vier Teilnehmer erfüllten das vierte Ausschlusskriterium (Bei einem Patienten sollte eine Re-Operation zur Re-Zentrierung der Linse erfolgen. Bei einem Patienten erfolgte eine pars plana-Vitrektomie wegen störenden Glaskörpertrübungen, ein Patient entwickelte postoperativ eine herpetische Keratitis und ein Patient hatte postoperativ ein Irwine-Gas-Syndrom).

Unsere Studienkohorte setzt sich schlussendlich aus 72 Patienten mit bilateraler Katarakt zusammen. Hiervon sind 33 Patienten in der unilateralen PanOptix-Gruppe und 39 Patienten in der bilateralen PanOptix-Gruppe eingeteilt. Von den 72 Studienteilnehmern sind 33 Männer und 39 Frauen. Das durchschnittliche Alter der Patienten beträgt 69 Jahre (Mittelwert 68,96 und Median 69.50 Jahre).

Als Einschlusskriterien der Teilnehmer in der Studie gelten die folgenden:

1. Patienten mit der Diagnose Katarakt, an denen an beiden Augen eine Operation mit Katarakt-extraktion und Implantation einer Kunstlinse medizinisch indiziert ist. Die Patienten haben sich für die einseitige oder beiderseitige Implantation von trifokalen PanOptix-IOL freiwillig und studienunabhängig entschieden. Nur einwilligungsfähige Erwachsene sind in die Studie eingeschlossen,
2. bester korrigierter Fernvisus präoperativ mit Maximum 0,0 logMAR und Minimum 1,0 logMAR,
3. Alter über 50 und unter 85 Jahre,
4. kein refraktiver Eingriff oder sonstige Augenoperation in der Anamnese,
5. keine Entwicklung eines Nachstars oder Zustand nach erfolgter Laserkapsulotomie bei der Kontrolle drei Monaten postoperativ,
6. keine Augenvorerkrankung.

Als Ausschlusskriterien/Abbruchkriterien für die Studie gelten die folgenden:

1. Patienten mit anderen Augenerkrankungen,
2. Das Absagen der geplanten Operationen seitens des Patienten,
3. Nicht-Erscheinen für die postoperative Kontrolle,
4. das Auftreten von intraoperativen oder postoperativen Komplikationen, die das postoperative Visus-Ergebnis beeinflussen oder die Notwendigkeit von neuen operativen Eingriffen erforderlich machen.

2.2 Procederes

Bei allen Studienteilnehmern wurde an beiden Augen die Katarakt entfernt und eine künstliche Linse implantiert. Die Linsenextraktion erfolgte durch zwei Methoden: die klassische Phakoemulsifikation und der Nanosekunden-Laser. Der Unterschied zwischen den beiden Techniken wurde in der Einleitung erklärt. Die Technik wird in der Folge erneut kurz berichtet.

Nach klaren Hornhaut-Schnitten mit dem Hornhautmesser (*clear cornea*-Technik), wurde eine viskoelastische Substanz in die Vorderkammer injiziert und es erfolgte manuell eine kreisförmige Öffnung der vorderen Linsenkapsel (*continuous curvilinear capsulorhexis*). Danach wurde die Linse von der restlichen Linsenkapsel durch die Injektion von Flüssigkeit (Hydrodissektion) getrennt. Die eigene Linse wurde im Rahmen der Phakoemulsifikation mittels Ultraschall-Energie zerkleinert und abgesaugt. Für die Phakoemulsifikation wurde das „Constellation ® Vision System“ der Firma Alcon Inc. (Fort Worth Texas USA) verwendet (siehe Abb. 5).



Abb. 5: Das “Constellation Vision System” Gerät (eigenes Bild).

Der Nanosekunden-Laser verwendet für die Zerkleinerung und Entfernung der Linse Laserenergie im Nanosekunden-Bereich. Die Studienteilnehmer wurden mit dem A.R.C. Cetus-NanoLaser der Firma A.R.C. Laser (Nürnberg, Deutschland) behandelt (siehe Abb. 6).



Abb. 6: Das Cetus-NanoLaser Gerät (eigenes Bild).

Nach der Entfernung der eigenen Linse wurde eine künstliche Linse im Kapselsack implantiert. Bei der bilateralen PanOptix-Gruppe wurde an beiden Augen eine PanOptix IOL implantiert. Bei der unilateralen PanOptix-Gruppe wurde an einem Auge die PanOptix-IOL und am anderen Auge eine monofokale asphärische Linse implantiert, damit die beiden Linsenmodelle sich nur in der Multifokalität (vorhanden oder abwesend) unterschieden. Technische Informationen der untersuchten PanOptix IOL sind in der Einleitung (trifokale MIOL - PanOptix) zusammengefasst. Die zweite Operation erfolgte vier Wochen nach der ersten Operation. Alle Operationen wurden in Lokalanästhesie und von zwei sehr erfahrenen Katarakt-Chirurgen (Dr. G.R. und Frau Dr. I.R.) durchgeführt.

Für die Kalkulation der IOL-Stärke wurde die Haigis Formula (Schroder et al., 2017) verwendet. Diese Formula berechnet die IOL-Stärke je nach Achsenlänge, Keratometrie und Vorderkammertiefe des Auges. Das IOL Master 500-Gerät der Firma ZEISS (Softwareversion 7.1; Carl Zeiss Meditec, Jena, Deutschland) wurde für die oben genannte Messung verwendet (Hoffer & Savini, 2016; Shi et al., 2021).

2.3 Messungen

Im Rahmen der präoperativen Vorbereitung der Patienten werden routinemäßig zahlreiche diagnostische Untersuchungen durchgeführt. Im Rahmen der Studie wurden die folgenden Untersuchungen ausgewählt, die sowohl präoperativ als auch postoperativ durchgeführt wurden. Die postoperative Kontrolle erfolgte drei Monaten nach der zweiten Operation. Aufgrund der ständig veränderten Situation während der Corona-Pandemie (Studienzeitraum Mai 2020 bis Oktober 2021) musste bei manchem Teilnehmer die postoperative Kontrolle bis auf 6 Monate nach der zweiten Operation verschoben werden. Diese Entscheidung wurde in

Anbetracht der Erwartung getroffen, dass die postoperative Sehfunktion sich nicht signifikant in einer so kurzen Zeit ändert.

1. Bestimmung der Refraktion

Die Bestimmung der Refraktion bei jedem Studienteilnehmer wurde mithilfe eines Autorefraktor-Geräts (Topcon Autorefraktometer RM-8000B) (Krishnacharya, 2014) und mit einer subjektiven Refraktion an einem manuellen Phoropter durchgeführt. Diese Messungen sind an beiden Augen bestimmt. Für die Studie wurden die Ergebnisse der subjektiven Refraktion in Dioptrien verwendet, insbesondere das sphärische Äquivalent.

2. Messung der Sehschärfe

Für die Bestimmung der Sehschärfe wurden die 100% Kontrast "Early Treatment Diabetic Retinopathy Study" [ETDRS]-Tabellen verwendet (ETDRS; Vector Vision, Ltd, Greenville, OH, USA and Precision Vision, IL, USA). Die Messung der Sehschärfe mit diesen Tabellen bei klinischen Studien gilt als Goldstandard (Told et al., 2013). Die Sehschärfe wurde monokular und binokular sowohl unkorrigiert als auch korrigiert, unter photopischen (hellen) Lichtverhältnissen [>85 candelas cd/m^2] in den folgenden Abständen mittels entsprechender ETDRS-Tabellen gemessen: 5 m, 66 cm, 40 cm. Die Abbildung 7 zeigt, wie eine Tabelle für die Messung der Sehschärfe in 66 cm aussieht. Die Ergebnisse der Sehschärfe wurden in logMAR (Logarithmus des minimalen Auflösungswinkels) erhoben (F. J. Ribeiro & T. B. Ferreira, 2020).



Abb. 7: ETDRS-Tabelle für die Messung der Sehschärfe in 66 cm, (eigenes Bild).

3. Messung des Kontrastsehens.

Für die Bestimmung des Kontrastsehens wurde das CSV-1000 Vectorvision-Gerät (Vector Vision, Inc., Greenville, OH, USA) verwendet. Das CSV-1000-Gerät ist eine weltweit anerkannte Methode zur Messung des Kontrastsehens und der Blendempfindung. Das Gerät kontrolliert automatisch die Leuchtdichte von 85 cd/m^2 . Der Test ist eine standardisierte Methode, die im Rahmen klinischer Forschung verwendet wird (Alio et al., 2020).

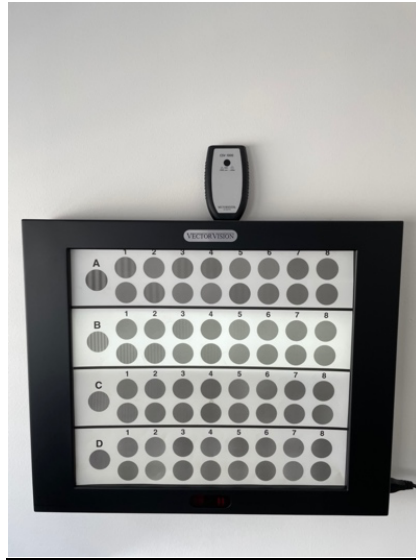


Abb. 8: CSV-1000 Vector Vision-Gerät mit dem Diagramm CSV-1000E (eigenes Bild).

Dadurch wurde das Kontrastsehen mithilfe von Tabellen in vier verschiedenen Spatial-Frequenzen (3, 6, 12 und 18 Zyklen pro Grad) bei photopischen (hellen) Bedingungen gemessen. Eine Spatial-Frequenz beschreibt die Anzahl von Zyklen von dunklen und hellen Riegeln pro Grad visuellem Winkel - Zyklen pro Grad - (Franco et al., 2010). Ein Zyklus bezieht sich auf eine komplette Wiederholung von einem hellen und dunkleren Riegel. Je mehr die Zyklen pro Grad sind, desto höher sind die Spatial-Frequenz und das Detailniveau eines Bildes (Monaco et al., 2017).

Für die Messung wurde das Diagramm CSV-1000E verwendet. Das Kontrastsehen wurde ohne und mit Blendung, binokular, präoperativ mit und postoperativ ohne Brillenkorrektur und im Abstand von 2.5 Meter getestet. Zur Auswertung der Daten nutzten wir die Tabelle des Geräteherstellers zur Umwandlung der erhobenen Daten in 10-Basis logarithmischen Einheiten ($\log\text{CS}$ – *Contrast Sensitivity*/Kontrastsehen). Diese Tabelle wurde auch von Chua et al. (2004)

verwendet und steht auf der Homepage des Herstellers (<https://vectorvision.com/csv1000-norms>) zur Verfügung. Diese Tabelle wird in der Tabelle 1 dargestellt.

	<i>S</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>A (3cpd)</i>	.70	1	1.17	1.34	1.49	1.63	1.78	1.93	2.08
<i>B (6 cpd)</i>	.91	1.21	1.38	1.55	1.70	1.84	1.99	2.14	2.29
<i>C (12 cpd)</i>	.61	.91	1.08	1.25	1.40	1.54	1.69	1.84	1.99
<i>D (18 cpd)</i>	.17	.47	.64	.81	.96	1.10	1.25	1.40	1.55

Tabelle 1: Umwandlung der Ergebnisse des gemessenen Kontrastsehens (Spalten) in logarithmischen Einheiten. S=nichts erkannt, 1-8 die Anzahl der vom Patienten anerkannten Kreisen pro cpd (cycles pro degree – Zyklen pro Grad), A-D die 4 Spatial-Frequenzen, die Werte sind in logCS.

4. Messung des Dämmerungssehens

Für die Messung des Dämmerungssehens wurde das Oculus Mesotest II -Gerät (Oculus GmbH, Wetzlar, Deutschland) verwendet. Die Untersuchung der Dämmerungssehschärfe und der Blendenempfindlichkeit stellt eine wichtige Ergänzungsuntersuchung zur Tagessehschärfeprüfung dar, speziell bei der Beurteilung der Fahrtauglichkeit (Asare et al., 2022). Auch im Rahmen einer Intraokularlinsen- oder refraktiven Chirurgie empfiehlt sich eine prä- und postoperative Untersuchung. Der Mesotest II ist ein Gerät zur Prüfung der Dämmerungssehschärfe und der Blendempfindlichkeit (Popov et al., 2021). Die Prüfung wird mit Sehzeichen unterschiedlicher Kontraste durchgeführt. Diese Sehzeichen werden vor einem Umfeld mit geringer Helligkeit gezeigt. Die Leuchtdichte des Umfeldes beträgt 0,032 cd/m² ohne und 0,10 cd/m² mit Blendung. Als Sehzeichen wird der Landoltring nach DIN 58220-T1 eingesetzt, der in sechs verschiedenen Stellungen angezeigt wird. Vier verschiedene Kontraststufen stehen zur Verfügung: 1:23/1:5/1:2,7/1:2 (Wilhelm et al., 2013).



Abb. 9: Das Oculus Mesotest II-Gerät (eigenes Bild).

5. Titmus-Test

Die Fähigkeit Tiefe oder relative Entfernung auf der Grundlage von Hinweisen auf eine Netzhautdisparität wahrzunehmen wird als Stereopsis bezeichnet. Die kleinste horizontale Ungleichheit des Netzhautbildes, die ein Tiefengefühl hervorruft, wird als Stereoschärfe (oder Stereosehen) bezeichnet (Nongpiur & Sharma, 2010). Da alle optischen, neuralen und motorischen Komponenten in beiden Augen eines Menschen zusammenarbeiten müssen, damit eine normale Stereosehschärfe erreicht werden kann, ist das Stereosehen bei der klinischen Beurteilung des Status des binokularen Sehens von besonderer Bedeutung (Chen et al., 2011).

Der Titmus-Test gehört zu den Routine-Untersuchungen des Stereosehens. Er besteht aus drei Teilen. Beim ersten Teil sieht der Patient neun Vierecken. In jedem Viereck befinden sich vier Kreise. Der Patient muss in allen neun Vierecken erkennen, welcher Kreis prominent erscheint (Hasche et al., 2001). Der zweite Teil ist für Kinder geeignet. Er besteht aus drei Reihen mit jeweils fünf Tieren. In jeder Reihe muss lediglich ein Tier als prominent erkannt werden. Im dritten Teil müssen die Flügel einer Fliege räumlich (dreidimensional) erfasst werden. Der Test wird mit einer speziellen polarisierten Brille durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Winkelsekunden erhoben. Der Titmus-Test deckt eine Wertebreite zwischen 3.552 und 40 Winkelsekunden, wobei 40 Winkelsekunden das beste mögliche Ergebnis des Stereosehens ist. Dies ist erreicht, wenn der Patient alle neun Vierecke richtig erkennt. In unserer Studie wurde Teil 1 des Tests und, wenn kein Viereck erkannt wurde, Teil 3 des Tests verwendet



Abb. 10: Der Titmus-Test mit dem polarisierten Glas (eigenes Bild).

6. Endothelzellmessung

Das korneale Endothelium liegt an der inneren Fläche der Hornhaut und besteht aus einer Schicht mit Endothelzellen. Die Zellen halten die Hornhaut mithilfe einer Na-K-ATPase klar (Ono et al., 2021). Im Rahmen der Katarakt-Operation, kann es durch die verwendete

Ultraschallenergie, zum Verlust von Endothelzellen kommen (Joo & Kim, 2021). Um den Einfluss der Katarakt-Operation auf das Hornhaut-Endothel zu untersuchen, wurde in unserer Studie eine Endothelzellmessung (EZM) durchgeführt. Diese Messung rechnet unter anderem die Endothelzellzahl in Zellen/mm² und wurde prä- sowie postoperativ durchgeführt. Dafür wurde das EM-3000-Gerät (Tomey Corporation, Nagoya, Japan) verwendet (Kayukawa et al., 2020).

7. Sehleistungs- und symptomorientierter Fragebogen.

Parallel zu den oben genannten objektiven Untersuchungen der binokularen Suchfunktion ist es im Rahmen der Studie von besonderem Interesse, das subjektive Empfinden der Patienten postoperativ zu untersuchen. Um dieses zu ermöglichen, wurde ein Fragebogen formuliert. Der Fragebogen umfasst die meisten Aspekte des Sehens im Alltag - die Durchführung von verschiedenen Aktivitäten, die subjektive Wahrnehmung von unerwünschten optischen Phänomenen, die Notwendigkeit des Brillengebrauchs und die allgemeine postoperative Zufriedenheit.

Der Fragebogen basiert auf der Arbeit der Gruppe Mangione et al. (2001). Mangione et al. entwickelten einen Fragebogen mit 25 Fragen (*National Eye Institut Visual Function Questionnaire – NEI VFQ-25*), die validen und reproduzierbaren Daten schnell erfassen kann. Aus diesem Grund gilt ihr Fragebogen als ideales Hilfsmittel für klinische Studien. Die Revision dieses Fragebogens von Kohnen et al. (2009) in ihrer Studie über die bifokalen AcrySof IQ ReSTOR SN6AD1 IOL konnte die nützliche Verwendung des Fragebogens im Rahmen von klinischen Studien mit Implantation von multifokalen Linsen bei Katarakt-Patienten zeigen. Bei der Konzeption unseres Fragebogens haben wir diese Revision von Kohnen et al. auch berücksichtigt.

Der Fragebogen besteht aus vier Teilen. Der erste Teil untersucht die Sehleistung bei Alltagstätigkeiten. Der zweite Teil prüft die postoperativen visuellen Nebenwirkungen der Patienten mit den neuen Linsen. Der dritte Teil erforscht den Brillengebrauch in den drei verschiedenen Abstände (fern, nah, intermediär). Und der vierte Teil untersucht die allgemeine Zufriedenheit auf einer Skala von 1 bis 10. Der Fragebogen ist im Anhang 1 zu finden.

Alle Studienteilnehmer erhielten den Fragebogen am Tag der Aufklärung über die Studie, mit der Bitte, ihn drei Monaten nach der zweiten Operation auszufüllen und am Tag der postoperativen Untersuchung abzulegen.

2.4 Statistik

Für die statistische Auswertung der Daten wurde das SPSS-Programm (Version 28 für MacOS) verwendet. Dieses Programm ist eines der am häufigsten verwendeten Programme für die statistische Datenanalyse in klinischen Studien (Löffing, 2022). Die Daten sind in 84 verschiedenen Variablen eingeteilt und jede Variable wurde je nach Dateneigenschaften als nominal, ordinal oder intervall skaliert bezeichnet. Die deskriptive Datenanalyse schließt die folgenden Messungen ein: Mittelwert, Median, Standardabweichung, Maximum, Minimum, Frequenz.

Die nicht-numerischen Daten (Geschlecht, Gruppe, Nanosekunden-Laser) sind als nominal-skaliert gezeichnet. Für Ihre statistische Auswertung (Vergleich zwischen den beiden Gruppen der Studie) wurde der non-parametrische Mann–Whitney-U-Test verwendet.

Die vom Fragebogen erhobenen Daten sind zwar numerisch, aber ordinal-skaliert. Für den statistischen Vergleich dieser Daten zwischen den Gruppen wurde ebenfalls der non-parametrische Mann–Whitney-U-Test verwendet.

Die restlichen numerischen Daten (ETDRS-Visus in allen Abständen, Titmus-Test, Oculus-Mesotest II, Kontrastsehen mit CSV Vector-Vision 1000, Refraktion) sind intervall-skaliert. Vor der statistischen Bearbeitung dieser Daten (prä- und postoperativ) erfolgte eine explorative Datenanalyse, inklusive Tests der Normalverteilung, um zu entscheiden welche statistische Methode geeignet ist.

Für die Untersuchung der Normalverteilung der numerischen Daten wurden bei jeder Variablen drei Methoden verwendet: der Kolmogorov-Smirnov-Test, der Shapiro-Wilk-Test (Wylomanska et al., 2020) und die Verteilung der Daten im Histogramm. Bei allen numerischen intervall-skalierten Variablen (Visus, Titmus-Test, Oculus-Mesotest, Kontrastsehen mit CSV Vector-Vision, Refraktion) wurden die numerischen Daten nicht normal verteilt gefunden (siehe Anhang 2). Aus diesem Grund wurde für den Vergleich der

oben genannten Variablen der beiden Gruppen der non-parametrische Mann–Whitney-U-Test verwendet (Martens, 2021).

Eine multivariable Analyse (Einfluss der präoperativen Refraktion auf die postoperative Zufriedenheit) wurde mithilfe des non-parametrischen Kruskal-Wallis-Tests durchgeführt (Fan et al., 2011), da die unabhängige Variable (refraktiver Status) dreistufig und die abhängige Variable (postoperative Zufriedenheit) ordinalskaliert ist. Um den Zusammenhang zwischen der präoperativen Sehschärfe (intervallskalierte, aber nicht normal verteilte unabhängige Variable) und der postoperativen Zufriedenheit (ordinalskalierte abhängige Variable) zu testen, führten wir Spearman-Rangkorrelation-Tests (Akoglu, 2018) durch.

Bei allen oben genannten statistischen Tests (Mann–Whitney-U-Test, Kruskal-Wallis-Test, Spearman-Rangkorrelation-Test) gilt $p < .05$ als statistisch signifikant, $p < .001$ als statistisch hochsignifikant.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aller Untersuchungen, die in der Methodik erläutert sind, präsentiert. Am Anfang werden die allgemeinen Charakteristika der Studienteilnehmer erwähnt, wie Geschlecht, Alter und Operationstechnik. Im Folgenden werden die kumulativen Ergebnisse der prä- und postoperativen Untersuchungen, inklusive des Fragebogens, präsentiert. Zum Schluss wird ein Vergleich zwischen den beiden Untersuchungsgruppen angestellt.

3.1 Allgemeine Charakteristika der Studienteilnehmer

Alter der Studienteilnehmer

Das durchschnittliche Alter der Patienten beträgt 69 Jahre (Mittelwert 68,96) mit einer Standardabweichung von $\pm 7,51$ Jahren. Der jüngste Patient ist 53 Jahre alt und der älteste 81 Jahre alt. Die Tabelle 2 fasst die oben genannten Informationen zusammen.

<i>Mittelwert</i>	<i>Median</i>	<i>Std.-Abweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
68.96	69.50	± 7.51	53	81

Tabelle 2: Alter der Studienteilnehmern (in Jahren am Tag der Einschließung in der Studie).

Die Verteilung der Patienten hinsichtlich des Alters wird in der Abbildung 11 dargestellt. Das häufigste Alter beträgt 63 Jahre (7 Patienten), gefolgt von 66 Jahren (6 Patienten).

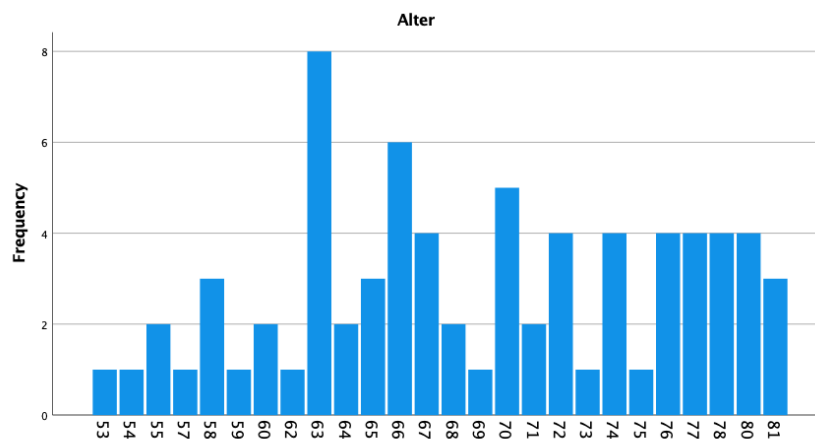


Abb.11: Verteilung des Patientenalters in Jahren (am Tag der Einschließung in der Studie).

Geschlecht der Studienteilnehmer

Von den 72 Studienteilnehmern sind 33 Männer (45,8%) und 39 Frauen (54,2%).

	<i>Frequenz</i>	<i>Prozent</i>
<i>männlich</i>	33	45.8%
<i>weiblich</i>	39	54.2%
<i>Total</i>	72	100%

Tabelle 3: Geschlecht der Studienteilnehmern.

Untersuchungsgruppe

Von den 72 Studienteilnehmern sind 33 Patienten (45,8%) in der unilateralen PanOptix-Gruppe und 39 Patienten (54,2%) in der bilateralen PanOptix-Gruppe eingeschlossen.

	<i>Frequenz</i>	<i>Prozent</i>
<i>unilaterale PanOptix</i>	33	45.8%
<i>bilaterale PanOptix</i>	39	54.2%
<i>Total</i>	72	100%

Tabelle 4: Verteilung der Patienten in den Studiengruppen.

Nanosekunden-Laser

Bei insgesamt 33 Patienten (45,8%) wurde das Nanosekunden-Laser für die Katarakt-Extraktion verwendet und bei 39 Patienten (54,2%) die klassische Phakoemulsifikation.

	<i>Frequenz</i>	<i>Prozent</i>
<i>Nanosekundenlaser</i>	33	45.8%
<i>Phakoemulsifikation</i>	39	54.2%
<i>Total</i>	72	100%

Tabelle 5: Verwendete Technik bei der Linsenextraktion.

3.2 Kumulative Ergebnisse

3.2.1 Refraktionsstatus und Refraktion

Bei der Studie wurden insgesamt 144 Augen von 72 Patienten untersucht. Der Mittelwert der präoperativen Refraktion betrug 0.13 Dioptrien mit einer Standardabweichung von ± 2.59 dpt und Grenzwerten von -6.75 dpt und + 8.25 Dioptrien. Der Mittelwert der postoperativen Refraktion beträgt -0.09 Dioptrien mit einer Standardabweichung von ± 0.43 Dioptrien und Grenzwerten von -1.25 und + 0.75 Dioptrien (siehe Tabelle 6).

	<i>Mittelwert</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Standardabweichung</i>
<i>Präoperativ</i>	+0.13	+8.25	-6.75	± 2.59
<i>Postoperativ</i>	-0.09	+0.75	-1.25	± 0.43

Tabelle 6: Refraktion in Dioptrien prä- und postoperativ (sphärisches Äquivalent).

Durch die Katarakt-Behandlung zeigte sich eine Verbesserung der Refraktion. Der postoperativer Mittelwert liegt näher zur Emmetropie als der präoperativer. Besonders wichtig ist aber der Unterschied der Standardabweichung (± 2.59 dpt präoperativ und ± 0.43 dpt postoperativ) und der Außengrenzen. Die verbesserte Refraktion der untersuchten Augen postoperativ fasst auch die Abbildung 12 zusammen.

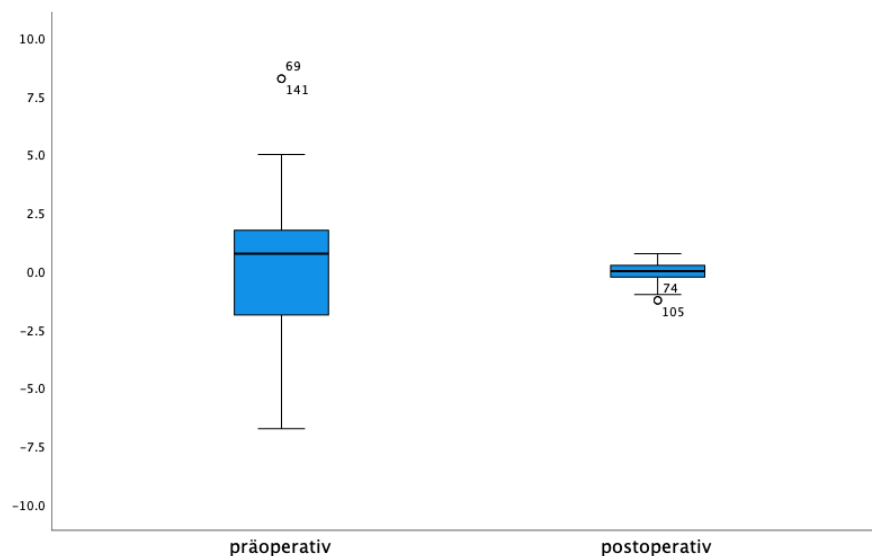


Abb.12: Unterschied der Refraktion prä- und postoperativ. Mittelwert, Standardabweichung und Außengrenzen. Werte der Y-Achse: Dioptrien pro Auge (sphärisches Äquivalent).

Je nach präoperativer Refraktion wurden die Patienten in drei Gruppen verteilt. Als hyperop werden Patienten mit einer Refraktion von $\geq +0.50$ Dioptrien (sphärisches Äquivalent) bezeichnet, als myop Patienten mit einer Refraktion von ≤ -0.50 Dioptrien (sphärisches Äquivalent) und als emmetrop Patienten mit einer Refraktion von $+0.25 \geq$ Dioptrien ≤ -0.25 . Die Tabelle 7 fasst den prä- und postoperativen refraktiven Status der Patienten zusammen.

	Status	Frequenz	Prozent
<i>präoperativ</i>	hyperop	41	56.9%
	myop	27	37.5%
	emmetrop	4	5.6%
	Total	72	100%
<i>postoperativ</i>	hyperop	15	20.8%
	myop	24	33.3%
	emmetrop	33	45.8%
	Total	72	100%

Tabelle 7: Refraktiver Status der Patienten prä- und postoperativ.

56.9 % der Patienten (41 Patienten) präoperativ waren hyperop, 37.5 % (27 Patienten) myop und 5.6 % (4 Patienten) emmetrop. Hinsichtlich des Refraktionsstatus postoperativ war die Mehrheit der Patienten (33 Patienten, 45.8 %) emmetrop, 24 Patienten (33.3 %) myop und 15 Patienten (20.8 %) hyperop.

Es wird deutlich, dass sich der refraktive Status der Patienten postoperativ deutlich in die Richtung der Zielrefraktion (Emmetropie) bewegt hat. Nur 5.6 % der Patienten waren präoperativ emmetrop. Der entsprechende Anteil liegt postoperativ bei 45.8 % (siehe Tabelle 7). Die folgende Abbildung 13 zeigt auch den Unterschied des refraktiven Status prä- und postoperativ.

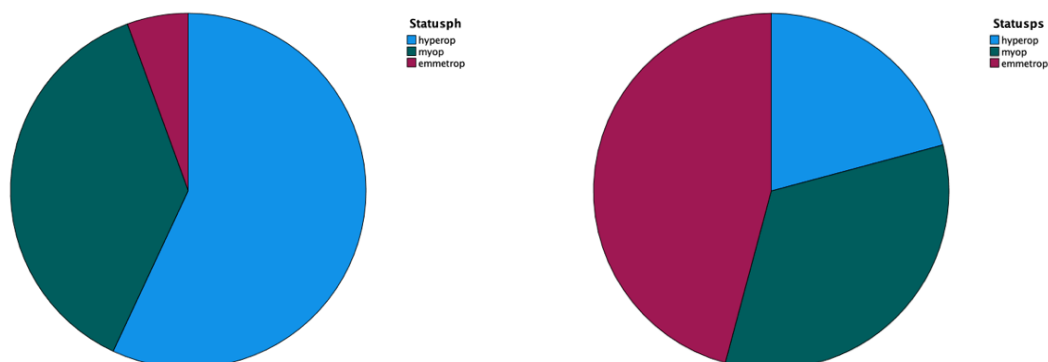


Abb. 13: Refraktiver Status der Patienten prä- und postoperativ. Links: präoperativ (Statusph = Status phakes Auge). Rechts: postoperativer (Statusps = Status pseudophakes Auge) refraktiver Status. Hyperop: Refraktion $\geq +0.50$ Dioptrien (sphärisches Äquivalent), myop: Refraktion ≤ -0.50 Dioptrien, emmetrop: Refraktion: $+0.25 \geq$ Dioptrien ≤ -0.25 .

Die postoperative Endrefraktion der Patienten liegt dezent bei Myopie (-0.09 dpt). Es wurde der kumulative Anteil der Augen pro gemessene Refraktion gerechnet. Die Abbildung 14 zeigt diese kumulativen Ergebnisse.

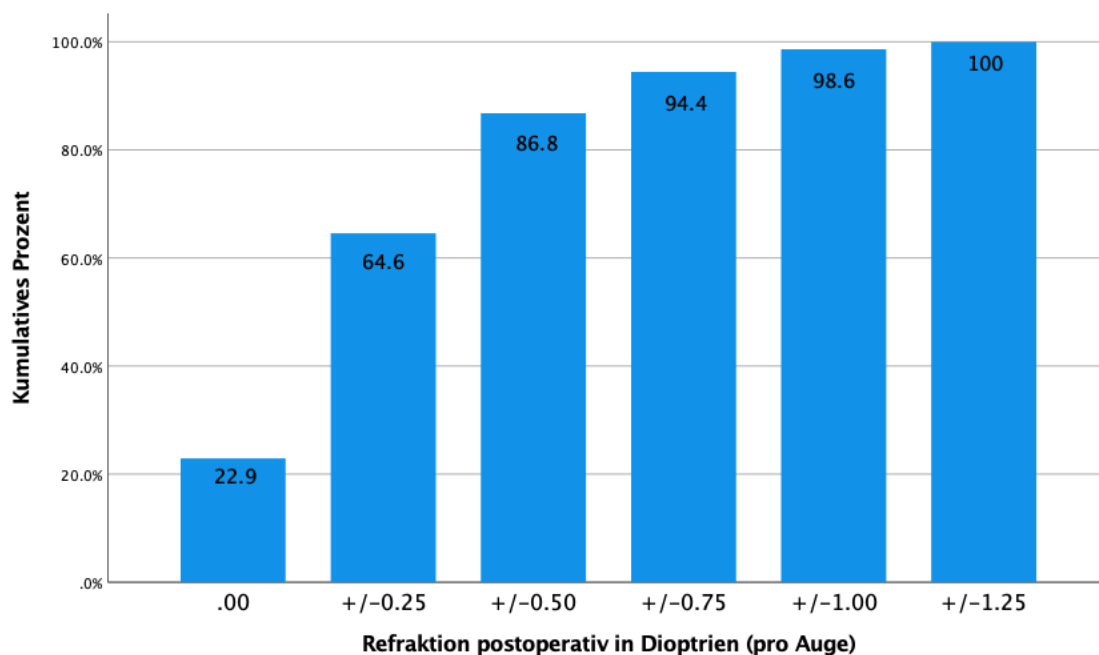


Abb. 14: Kumulativer Anteil der postoperativen Refraktion, in Dioptrien pro Auge (sphärisches Äquivalent).

Laut Abb. 14 sind 64.6 % der Patientenaugen postoperativ emmetrop (Refraktion von ± 0.25 Dioptrien). Bei 86.8 % der Augen befindet sich die Dioptrien-Zahl nur eine halbe Dioptrie (± 0.50) entfernt von der Zielrefraktion. Und 94.4 % der Augen befinden sich maximal ± 0.75 Dioptrien von der Zielrefraktion entfernt.

3.2.2 Sehschärfe

Die Ergebnisse der prä- und postoperativen Sehschärfe in allen gemessenen Abständen für die 72 Studienteilnehmer werden in der Tabelle 8 dargestellt.

<i>Zeitpunkt der Messung</i>	<i>Sehschärfe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Std-Abweichung</i>
<i>präoperativ</i>	UDVA	0.58	0.0	1.0	±0.26
	UIVA	0.57	0.0	1.0	±0.29
	UNVA	0.63	0.0	1.0	±0.29
	CDVA	0.33	0.0	0.8	±0.19
	CIVA	0.32	0.0	0.9	±0.23
	CNVA	0.39	0.0	0.9	±0.20
<i>postoperativ</i>	UDVA	0.05	-0.10	0.20	±0.09
	UIVA	0.08	-0.10	0.40	±0.13
	UNVA	0.11	-0.10	0.40	±0.11
	CDVA	0.02	-0.10	0.20	±0.07
	CIVA	0.03	-0.10	0.30	±0.09
	CNVA	0.05	-0.10	0.20	±0.09

Tabelle 8: Prä- und postoperativer Vergleich der binokularen Sehschärfe der Studienteilnehmern. Ergebnisse in logMAR. UDVA: uncorrected distance visual acuity (unkorrigierte Sehschärfe in der Ferne), UIVA: uncorrected intermediate visual acuity (unkorrigierte intermediäre Sehschärfe), UNVA: uncorrected near visual acuity (unkorrigierte Sehschärfe in der Nähe), CDVA: corrected distance visual acuity (korrigierte Sehschärfe in der Ferne), CIVA: corrected intermediate visual acuity (korrigierte intermediäre Sehschärfe), CNVA: corrected near visual acuity (korrigierte Sehschärfe in der Nähe).

Der Mittelwert des postoperativen binokularen unkorrigierten Fernvisus in 5 m Entfernung beträgt 0.05 ± 0.09 logMAR, mit Minimum 0.2 logMAR und Maximum -0.1 logMAR. Wenn die Daten des unkorrigierten Fernvisus prä- und postoperativ miteinander verglichen werden, wird die Besserung der Sehschärfe deutlich (von einem Mittelwert präoperativ auf 0.58 logMAR auf einen Mittelwert postoperativ 0.05 logMAR). Der Unterschied der Standardabweichung (± 0.26 logMAR präoperativ und ± 0.09 logMAR postoperativ) wird ebenfalls deutlich.

Der intermediärer unkorrigierter Visus in einer Entfernung von 66 cm zeigt einen Mittelwert von 0.08 ± 0.13 logMAR, mit Minimum 0.4 logMAR und Maximum -0.1 logMAR. Es zeigte sich nach der Operation für die 72 Studienteilnehmer eine deutliche Besserung der Sehschärfe im intermediären Bereich von 0.57 ± 0.29 logMAR auf 0.08 ± 0.13 logMAR.

Der Mittelwert des postoperativen binokularen unkorrigierten Nahvisus in einer Entfernung von 40 cm beträgt 0.11 ± 0.11 logMAR, mit Minimum 0.4 logMAR und Maximum -0.1

logMAR. Es zeigte sich nach der Operation eine deutliche Besserung der Sehschärfe im Nahbereich von 0.63 ± 0.29 logMAR auf 0.11 ± 0.11 logMAR.

Ein Zusammenfassung der unkorrigierten prä- und postoperativen Sehschärfe in die drei getesteten Abstände folgt in Abbildung 15.

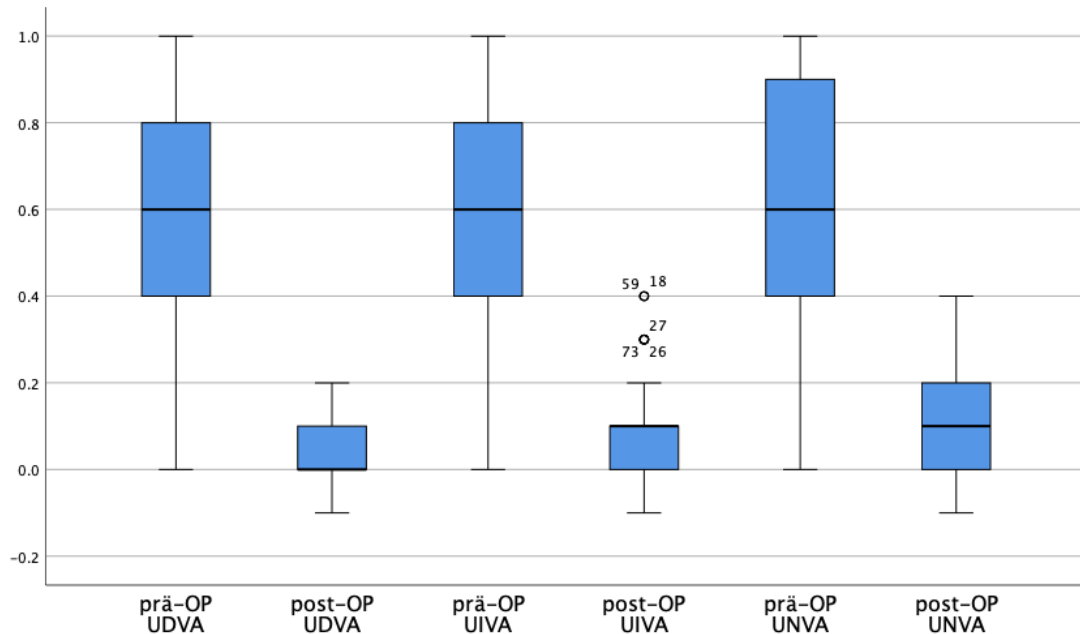


Abb. 15: Prä- und postoperative unkorrigierte binokulare Sehschärfe der Studienteilnehmern. Mittelwert, Standardabweichung und Außengrenzen. Werte der Y-Achse: Sehschärfe in logMAR. Für Abkürzungen der Sehschärfe siehe auch Abkürzungsverzeichnis.

Hinsichtlich des bestkorrigierten Visus in 5 m postoperativ liegt der Mittelwert bei 0.02 ± 0.07 logMAR, mit Minimum 0.2 logMAR und Maximum -0.1 logMAR. Ähnlich wie bei den unkorrigierten Fernvisus zeigte es sich nach der Operation eine deutliche Besserung des bestkorrigierten Fernvisus von 0.33 ± 0.19 logMAR auf 0.02 ± 0.07 logMAR.

Der intermediäre bestkorrigierte Visus in 66 cm zeigte einen Mittelwert von 0.03 ± 0.09 logMAR, mit Minimum 0.3 logMAR und Maximum -0.1 logMAR. Verglichen mit dem entsprechenden Visus präoperativ sprechen die Ergebnisse für einen deutlichen Visus-Anstieg. Von einem Mittelwert von 0.32 ± 0.23 logMAR präoperativ steigt der bestkorrigierte intermediäre Visus auf 0.03 ± 0.09 logMAR postoperativ.

Zuletzt liegt der Mittelwert des postoperativen bestkorrigierten Nahvisus in 40 cm bei 0.05 ± 0.85 logMAR mit Minimum 0.2 logMAR und Maximum -0.1 logMAR. Der entsprechende Mittelwert präoperativ liegt bei 0.39 ± 0.21 logMAR.

Ein Zusammenfassung der bestkorrigierten prä- und postoperativen Sehschärfe in die drei getesteten Abstände folgt in Abbildung 16.

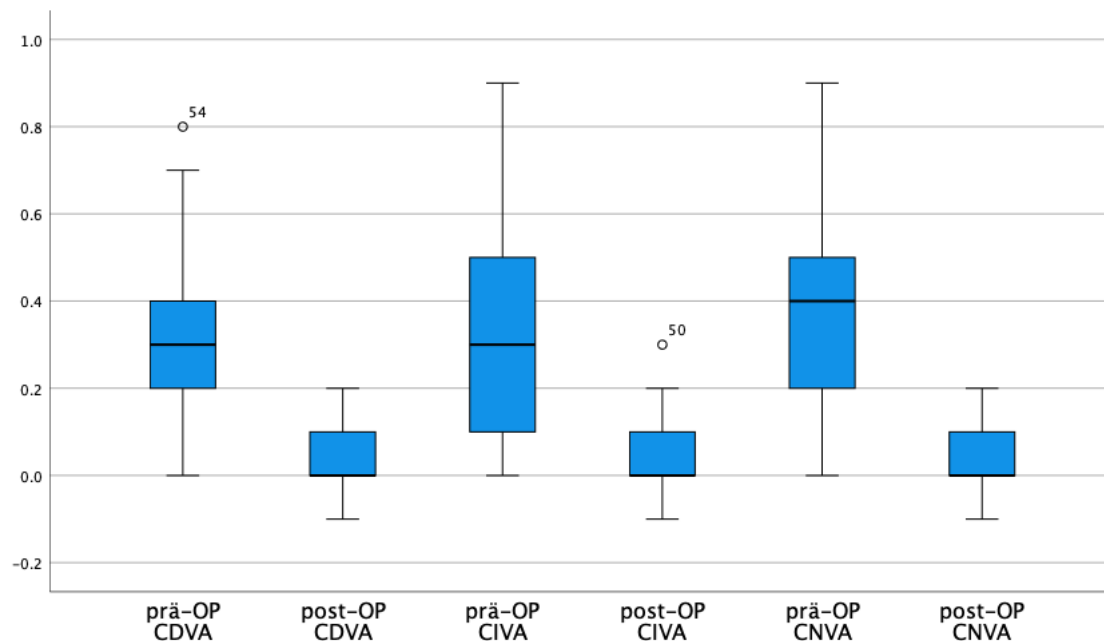


Abb.16: Prä- und postoperative korrigierte binokulare Sehschärfe der Studienteilnehmern, Mittelwert, Standardabweichung und Außengrenzen. Werte der Y-Achse: Sehschärfe in logMAR. Für Abkürzungen der Sehschärfe siehe auch Abkürzungsverzeichnis.

3.2.3 Photopisches Kontrastsehen

Die Ergebnisse des Kontrastsehens (in logCS) in die vier getesteten Spatial-Frequenzen (cpd – *cycles pro degree*), mit und ohne Blendung bei photopischen Bedingungen (85 cd/ m^2) sind in der Tabelle 9 zusammengefasst.

Zeitpunkt der Messung	Lichtbedingungen	Spatial-Frequenz	Mittelwert	Std.-Abweichung	Maximum	Minimum
präoperativ	ohne Blendung	3 cpd	1.36	± 0.27	2.08	0.70
		6 cpd	1.40	± 0.30	1.99	0.91
		12 cpd	0.93	± 0.33	1.69	0.61
		18 cpd	0.46	± 0.32	1.25	0.17

<i>postoperativ</i>	mit Blendung	3 cpd	1.21	±0.24	1.93	0.70
		6 cpd	1.26	±0.25	1.84	0.91
		12 cpd	0.82	±0.24	1.54	0.61
		18 cpd	0.31	±0.32	0.96	0.17
	ohne Blendung	3 cpd	1.63	±0.20	1.93	1.0
		6 cpd	1.70	±0.24	2.29	0.91
		12 cpd	1.24	±0.33	1.84	0.61
		18 cpd	0.72	±0.32	1.40	0.17
	mit Blendung	3 cpd	1.47	±0.20	1.93	0.70
		6 cpd	1.53	±0.23	1.99	0.91
		12 cpd	1.09	±0.29	1.69	0.61
		18 cpd	0.52	±0.24	1.10	0.17

Tabelle 9: Vergleich des photopischen Kontrastsehens prä- und postoperativ. Die Zahlen entsprechen logCS (log Contrast sensitivity). Cpd = *cycles pro degree* (Zyklen pro Grad).

Das postoperative photopische Kontrastsehen ist in allen Untersuchungsbedingungen und in allen Kontraststufen (cpd) besser im Vergleich zu den präoperativen Werten. Die folgenden Abbildungen 17 und 18 zeigen ebenfalls das Kontrastsehen mit und ohne Blendung bei photopischen Bedingungen.

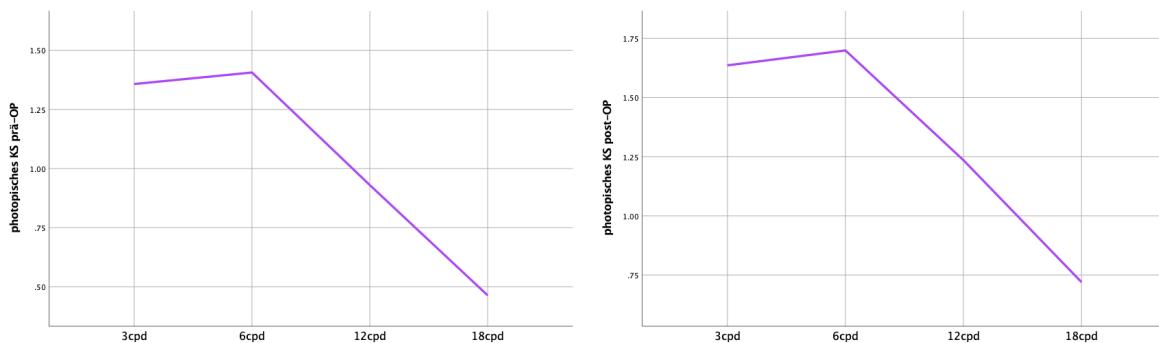


Abb. 17: Photopisches Kontrastsehen ohne Blendung. Links: präoperativ. Rechts: postoperativ. KS=Kontrastsehen, cpd=Cycles pro degree/Zyklen pro Grad. Werten der Y-Achse: log Contrast Sensitivity.

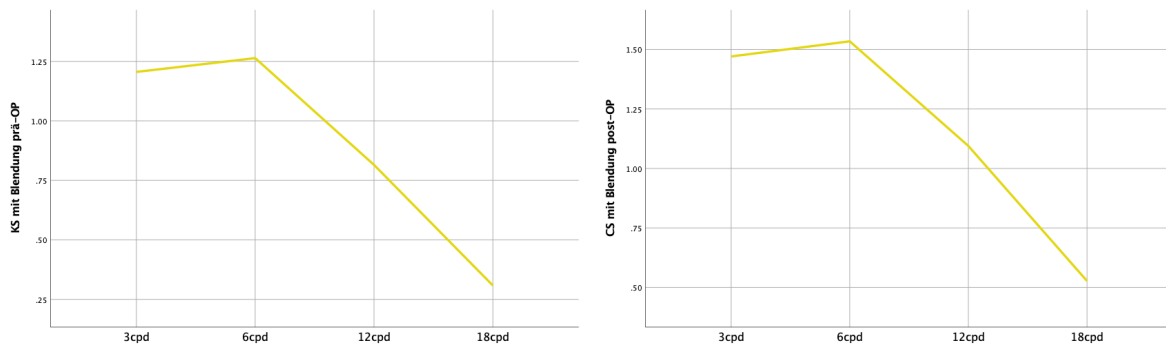


Abb. 18: Photisches Kontrastsehen mit Blendung. Links: präoperativ. Rechts: postoperativ. KS/CS=Kontrastsehen, cpd=Cycles pro degree/Zyklen pro Grad. Werten der Y-Achse: log Contrast Sensitivity.

3.2.4 Dämmerungssehen - Mesopisches Kontrastsehen

Die Ergebnisse des Oculus-Mesotests II werden in der Tabelle 10 dargestellt.

Zeitpunkt der Messung	Lichtbedingungen	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum	Std.-Abweichung
präoperativ	ohne Blendung	0.56	0.0	4	0	±1.11
	mit Blendung	0.39	0.0	4	0	±0.94
postoperativ	ohne Blendung	1.68	1.0	4	0	±1.61
	mit Blendung	1.21	0.0	4	0	±1.54

Tabelle 10: Vergleich des Oculus-Mesotests prä- und postoperativ. 0=das gemessene Kontrastsehen ist weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts (1:23), 1= Kontraststufe 1:23, 2= Kontraststufe 1:5, 3= Kontraststufe 1:2.7, 4= Kontraststufe 1:2.

Der Mittelwert der präoperativen Messung ohne Blendung liegt bei 0.56 und entspricht der Kontraststufe 1:23 und mit Blendung bei 0.39 (weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts 1:23). Der Median der präoperativen Messung liegt ohne und mit Blendung bei 0 (weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts 1:23). Der Mittelwert postoperativ ohne Blendung beträgt 1.68 (Kontraststufe 1:5) und mit Blendung 1.21 (Kontraststufe 1:23). Der Median postoperativ liegt bei 1 ohne Blendung (Kontraststufe 1:23) und 0 mit Blendung (weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts 1:23).

Es zeigte sich eine Besserung des Dämmerungssehens postoperativ. Der Vergleich des Mesotests der 72 Studienteilnehmer prä- und postoperativ wird in Abbildung 19 abgebildet:

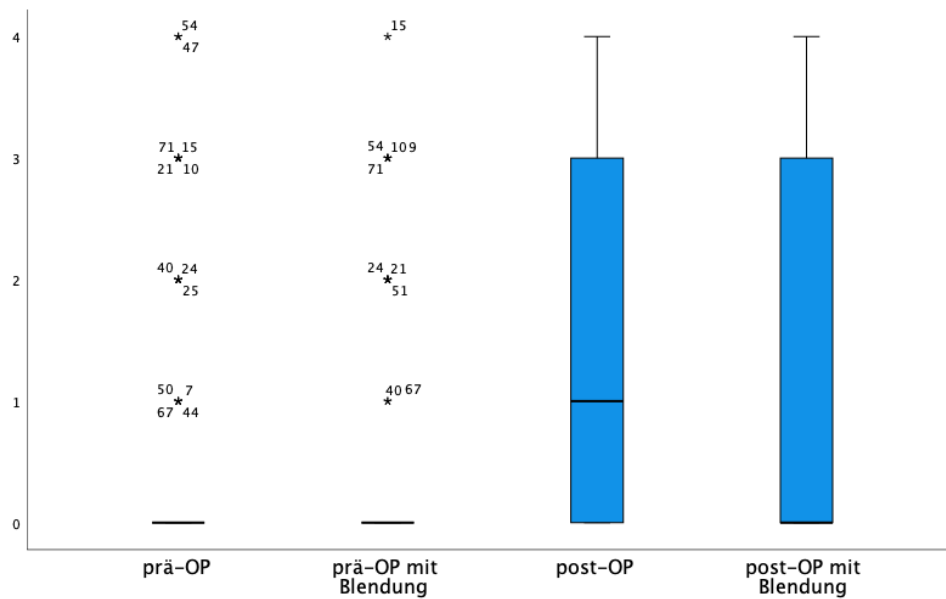


Abb. 19: Vergleich des Oculus-Mesotests prä- und postoperativ. Y-Achse: 0=das gemessene Kontrastsehen ist weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts (1:23), 1= Kontraststufe 1:23, 2= Kontraststufe 1:5, 3= Kontraststufe 1:2.7, 4= Kontraststufe 1:2.

3.2.5 Titmus-Test

Die Ergebnisse des dreidimensionalen Sehens werden in Tabelle 11 dargestellt. Es zeigte sich eine Besserung von 929 ± 1201.27 Winkelsekunden präoperativ auf 255.31 ± 442.36 Winkelsekunden postoperativ.

<i>Zeitpunkt der Messung</i>	<i>Total</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Std.-Abweichung</i>
<i>Präoperativ</i>	72	929.22	80	3552	± 1201.72
<i>Postoperativ</i>	72	255.32	40	3552	± 442.36

Tabelle 11: Titmus-Tests der Studienteilnehmern prä- und postoperativ. Werten in Winkelsekunden.

Die Besserung des dreidimensionalen Sehens postoperativ wird auch in Abbildung 20 dargestellt.

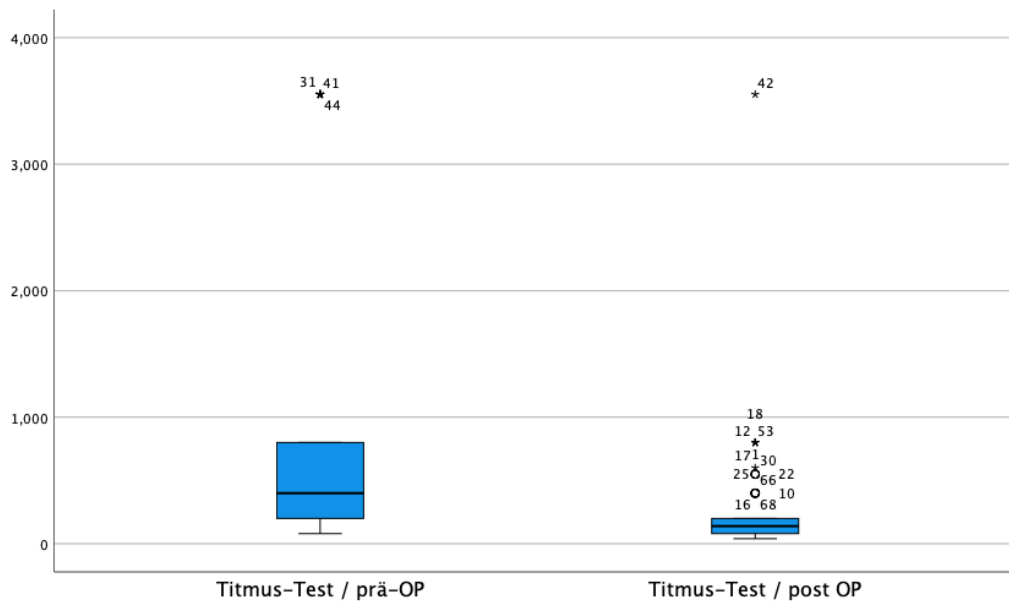


Abb. 20: Vergleich des Titmus-Tests der Studienteilnehmern prä- und postoperativ. Werten der Y-Achse in Winkelsekunden.

Die allgemeinen Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Patienten postoperativ von einer deutlichen Verbesserung aller getesteten Parameter des Sehens (Sehschärfe, photopisches Kontrastsehen, Dämmerungssehen, Tiefensehschärfe) profitierten.

3.2.6 Fragebogen

Zufriedenheit

Die letzte Frage des Fragebogens untersucht die allgemeine postoperative Zufriedenheit der Patienten (siehe Anhang 1). Die Probanden sollten ihr Zufriedenheitsniveau auf einer Skala von 1 bis 10 bewerten (1= Minimum, 10=Maximum). Je nach Antwort wurden vier Zufriedenheitsgruppen formuliert. Die genauen Details mit Frequenzen und Anteile finden sich in Tabelle 12:

Zufriedenheitsgruppe	Frequenz	Prozent
nicht zufrieden (1-3)	2	2.8%
wenig zufrieden (4-5)	8	11.1%
zufrieden (6-7)	6	8.3%
sehr zufrieden (8-10)	55	76.4%
fehlende Angaben	1	1.4%
Total	72	100%

Tabelle 12: Postoperative Zufriedenheit der Studienteilnehmer. Skala 1-10: 1=Minimum, 10=Maximum.

Die meisten Patienten waren nach der Operation sehr zufrieden (76.4 %). Zufrieden oder sehr zufrieden waren 84.7 % der Patienten. Nur 2.8 % der Patienten (insgesamt zwei Patienten) waren unzufrieden. Die restlichen 11.1% waren postoperativ nur wenig zufrieden. Die Abbildung 21 zeigt grafisch die oben genannte Verteilung der postoperativen Zufriedenheit.

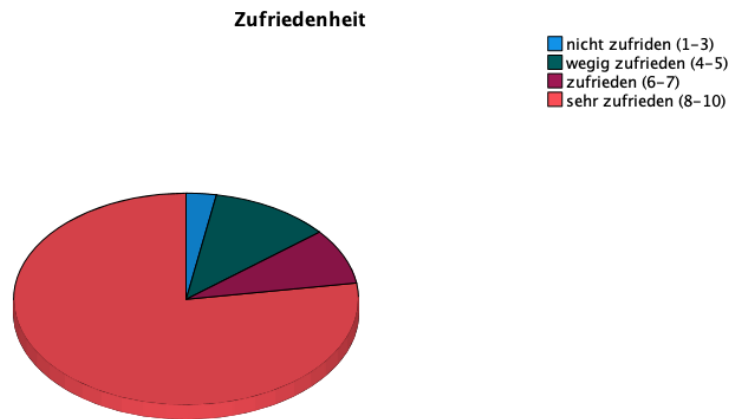


Abb. 21: Verteilung der postoperativen Zufriedenheit der Studienteilnehmer. Skala 1-10: 1=Minimum, 10=Maximum.

Brillengebrauch

Der Gebrauch einer Brille postoperativ ist nach der Implantation von multifokalen Linsen von besonderer Bedeutung. Die Patienten wurden gezielt gefragt, wie oft sie eine Brille postoperativ benutzen und für welchen Abstand. Die möglichen Antworten waren: 0=nie, 1=selten, 2=manchmal, 3=oft, 4=immer. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 13.

Art der Brille	nie	selten	manchmal	oft	immer	fehlende Angaben
Fernbrille	90.3%	4.2%	2.8%	0%	0%	2.8%
Computerbrille	72.2%	9.7%	6.9%	6.9%	1.4%	2.8%
Nahbrille	54.2%	19.4%	11.1%	11.1%	1.4%	2.8%

Tabelle 13: postoperativer Brillengebrauch der Studienteilnehmern.

Die besten Ergebnisse zeigten sich beim Gebrauch der Fernbrille. 90.3 % der Patienten antworteten, dass sie nie eine Fernbrille postoperativ benötigen, 4,2 % der Patienten brauchen nur selten eine Fernbrille, 2.8 % nur manchmal. Kein Patient trägt oft oder immer eine Fernbrille.

Hinsichtlich der Computerarbeit benötigt die große Mehrheit der Patienten (72.2 %) nie eine Computerbrille. Nur 9.7 % der Patienten tragen selten, 6.9 % manchmal oder oft und 1,4 % immer eine Computerbrille.

Etwas unterschiedlich ist die Situation bei der Lesebrille/Nahbrille. Ungefähr die Hälfte der Patienten (54.2 %) braucht nie eine Nahbrille, ein Fünftel (19.4 %) nur selten und jeweils 11.1 % manchmal oder oft. Es ist merkwürdig, dass bei dieser Frage auch nur ein sehr kleiner Anteil der Patienten (1.4 %) postoperativ immer eine Nahbrille verwenden muss.

Visuelle Störungen

Im nächsten Teil des Fragebogens wurde gefragt, wie oft die Patienten in verschiedenen Situationen oder durch optische Phänomene postoperativ gestört werden. Die Antworten wurden auf einer Skala von 0 bis 3 eingeteilt: 0=keine Schwierigkeiten, 1=minimale Schwierigkeiten, 2=mäßige Schwierigkeiten, 3=ernste Schwierigkeiten. Die Ergebnisse der zehn Fragen aus diesem Teil finden sich in Tabelle 14.

<i>Visuelle Phänomene</i>	<i>keine</i>	<i>minimale</i>	<i>mäßige</i>	<i>ernste</i>
<i>Blendung</i>	34.3%	38.6%	17.1%	10%
<i>Halos</i>	55.7%	27.1%	11.4%	5.7%
<i>Nachtsicht</i>	42%	33.3%	15.9%	8.7%
<i>Farbsehen</i>	88.7%	8.5%	1.4%	1.4%
<i>Tiefenwahrnehmung</i>	85.9%	8.5%	4.2%	1.4%
<i>verzehrtes Nahsehen</i>	88.6%	5.7%	4.3%	1.4%
<i>verzehrtes Fernsehen</i>	88.6%	7.1%	2.9%	1.4%
<i>unscharfes Nahsehen</i>	52.1%	28.2%	9.9%	9.9%
<i>unscharfes Fernsehen</i>	74.6%	14.1%	8.5%	2.8%
<i>Doppelsehen</i>	85.7%	4.3%	7.1%	2.9%

Tabelle 14: Störung durch visuelle Phänomene postoperativ.

Zuerst werden die Ergebnisse der optischen Phänomenen Halos und Blendung diskutiert. Fast zwei Drittel der Patienten (72.9 %) werden gar nicht oder minimal durch Blendung postoperativ gestört. 17.1 % der Patienten haben damit mäßige Probleme und 10 % ernste Probleme. Ähnlich sind die Antworten der Patienten hinsichtlich des Halos. 82.9 % der Patienten werden gar nicht oder nur minimal durch Halos gestört, 11.4 % haben damit mäßige Schwierigkeiten und 5.7 % erste Schwierigkeiten.

Hinsichtlich des Farbsehens postoperativ hat die große Mehrheit der Patienten (88.7 %) keine Schwierigkeiten. Ein kleiner Anteil von 8.5 % hat minimale Schwierigkeiten und 1.4 % der Patienten haben jeweils mäßige oder ernste Schwierigkeiten. Beim Sehen bei Dunkelheit (Nachtsicht) postoperativ hat etwa die Hälfte der Studienteilnehmer (42 %) keine Störungen, etwa ein Drittel (33.3 %) hat minimale Störungen, 15.9 % haben mäßige Störungen und 8.7% ernste Störungen.

Zwei weitere wichtige Parameter des Sehens, die abgefragt wurden, sind die postoperativen Störungen bei der Tiefenwahrnehmung und beim Doppelsehen. Die große Mehrheit der Patienten antwortete, dass sie keine Schwierigkeiten hinsichtlich dieser beiden Parameter haben. Die Ergebnisse der Frage bezüglich der Tiefenwahrnehmung im Detail sind: 85.9 % der Patienten haben damit keine Schwierigkeiten, 8.5 % nur minimale Schwierigkeiten, 4.2 % mäßige Schwierigkeiten und 1.4 % erste Schwierigkeiten. Beim Doppelsehen hat ein ähnlicher Anteil von 85.7 % der Patienten keine Schwierigkeiten, 4.3 % minimale Schwierigkeiten, 7.1 % mäßige Schwierigkeiten und 2.9 % ernste Schwierigkeiten.

Die nächsten Fragen sollen das Ausmaß des verzerrten Sehens in die Ferne und in die Nähe postoperativ beurteilen. Die Ergebnisse sind bei beiden Abständen ähnlich. Ein Anteil von 88.6 % der Patienten leiden nicht unter einem verzerrten Sehen in der Nähe, 5.7 % der Patienten sehen minimal verzerrt im Nahbereich, 4.3 % mäßig verzerrt und 1.4 % haben damit ernste Schwierigkeiten. Der gleiche Anteil der Patienten (88.6 %) hat kein verzerrtes Fernsehen, 7.1 % der Patienten haben minimale Schwierigkeiten, 2.9 % mäßige Schwierigkeiten und 1.4 % ernste Schwierigkeiten.

Zum Schluss werden die Antworten der Patienten auf die allgemeinen Fragen über das unscharfe postoperative Fernsehen und Sehen in der Nähe erläutert. Bei beiden Fragen gaben über vier Fünftel der Patienten keine oder minimale Schwierigkeiten an. Beim Fernsehen bemerken 88.7 % der Patienten keine oder minimale Schwierigkeiten (74.6 % keine Schwierigkeiten, 14.1 % minimale Schwierigkeiten), 8.5 % haben mäßige Schwierigkeiten und 2.8 % ernste Schwierigkeiten. Beim Sehen in der Nähe haben 80.3 % der Patienten keine oder minimale Schwierigkeiten (52.1 % keine Schwierigkeiten, 28.2 % minimale Schwierigkeiten), 9.9 % mäßige Schwierigkeiten und 9.9 % ernste Schwierigkeiten.

Alltagstätigkeiten

Der letzte Teil des Fragebogens, der hier erwähnt wird, befasst sich mit verschiedenen Alltagstätigkeiten. Die Patienten wurden gefragt, ob sie Schwierigkeiten bei der Durchführung dieser Tätigkeiten mit den neuen Linsen haben. Die Antworten sind in einer Skala von 0 bis 3 eingeteilt: 0=keine Schwierigkeiten, 1=minimale Schwierigkeiten, 2=mäßige Schwierigkeiten, 3=ernste Schwierigkeiten. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 15.

<i>Alltagstätigkeiten</i>	<i>keine</i>	<i>minimale</i>	<i>mäßige</i>	<i>ernste</i>
<i>Fernsehen</i>	77.5%	14.1%	8.5%	0%
<i>Spielen</i>	87.0%	10.1%	2.9%	0%
<i>Spielen mit Kindern</i>	90.6%	4.7%	3.1%	1.6%
<i>Armbanduhr</i>	87.1%	7.1%	2.9%	2.9%
<i>Wanduhr</i>	85.9%	5.6%	8.5%	0%
<i>Hobbys</i>	72.5%	14.5%	8.7%	4.3%
<i>Job</i>	82.7%	11.5%	3.8%	1.9%
<i>Sport</i>	91.4%	5.2%	1.7%	1.7%
<i>Veranstaltungen</i>	81.4%	11.9%	5.1%	1.7%
<i>Lesen</i>	39.1%	37.7%	13.0%	10.1%
<i>Autofahren</i>	75%	17.2%	4.7%	3.1%
<i>Autofahren nachts</i>	51.7%	21.7%	21.7%	5.0%
<i>Autofahren mit Regen</i>	44.3%	39.3%	13.1%	3.3%
<i>Computer</i>	65.1%	17.5%	12.7%	4.8%
<i>Handy</i>	68.1%	26.1%	2.9%	2.9%
<i>Schminken/Rasieren</i>	79.4%	14.7%	2.9%	2.9%
<i>Kochen</i>	92.4%	3%	1.5%	3%
<i>Einkaufen</i>	85.9%	7%	2.8%	4.2%

Tabelle 15: Frequenz der Schwierigkeiten bei der Durchführung von Alltagstätigkeiten postoperativ.

3.3 Vergleich zwischen den beiden Untersuchungsgruppen

Ziel der Studie ist die verschiedenen Parameter des binokularen Sehens zwischen den beiden Untersuchungsgruppen (unilaterale PanOptix-Gruppe und bilaterale PanOptix-Gruppe) zu vergleichen. Dieser Vergleich wird in diesem Teil des Kapitels behandelt.

Wie in der Methodik bereits erwähnt, wurde für den statistischen Vergleich der non-parametrische Mann-Whitney-U-Test verwendet. Genauere Details dieses Tests befinden sich in Anhang 3.

3.3.1 Präoperativer Vergleich der beiden Untersuchungsgruppen

Die folgende Tabelle 16 fasst die präoperativen Ergebnisse der Studienuntersuchungen für die beiden Untersuchungsgruppen zusammen.

<i>Parameter</i>	<i>Unilateral PanOptix</i>	<i>Bilateral PanOptix</i>	<i>M-W-U</i>
<i>Alter (in Jahren)</i>	68.6 ± 7.6	69.2 ± 7.6	p = .69
<i>Geschlecht</i>	m = 51.5%, w = 48.5%	m = 41%, w = 59%	p = .38
<i>Refraktion (Dpt)</i>	-0.20 ± 2.38	0.40 ± 2.73	p = .253
<i>UDVA (logMAR)</i>	0.52 ± 0.25	0.63 ± 0.25	*p = .04
<i>UIVA (logMAR)</i>	0.49 ± 0.30	0.64 ± 0.27	*p = .025
<i>UNVA (logMAR)</i>	0.56 ± 0.29	0.68 ± 0.28	p = .068
<i>CDVA (logMAR)</i>	0.29 ± 0.15	0.38 ± 0.21	*p = .026
<i>CIVA (logMAR)</i>	0.23 ± 0.20	0.39 ± 0.23	*p = .002
<i>CNVA (logMAR)</i>	0.34 ± 0.18	0.44 ± 0.22	*p = .049

Tabelle 16: präoperativer Vergleich zwischen den beiden Gruppen. *p<0.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet. Beim Geschlecht: m = männlich, w = weiblich. Die Ergebnisse der Sehschärfe sind in logMAR. Dpt=Dioptrien. M-W-U = Mann-Whitney-U-Test. Für Abkürzungen der Sehschärfe siehe auch Abkürzungsverzeichnis.

Hinsichtlich der demografischen Faktoren (Alter und Geschlecht) und der Refraktion zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die Patienten der unilateralen PanOptix-Gruppe hatten präoperativ eine statistisch signifikant bessere unkorrigierte Sehschärfe bei einer Entfernung von 5 m und 66 cm sowie eine bessere korrigierte Sehschärfe in allen Bereichen im Vergleich zu der bilateralen PanOptix-Gruppe.

Das Kontrastsehen, das Dämmerungssehen und das dreidimensionale Sehen wurden auch präoperativ zwischen den beiden Untersuchungsgruppen verglichen. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 17.

Test	Lichtbedingung	Stufe	Unilateral PanOptix	Bilateral PanOptix	M-W-U
Kontrastsehen	ohne Blendung	3 cpd	1.38 ± 0.28	1.34 ± 0.27	p = .243
		6 cpd	1.42 ± 0.34	1.39 ± 0.27	p = .482
		12 cpd	0.98 ± 0.33	0.89 ± 0.33	p = .231
		18 cpd	0.50 ± 0.33	0.44 ± 0.32	p = .358
	mit Blendung	3 cpd	1.21 ± 0.26	1.21 ± 0.23	p = .663
		6 cpd	1.27 ± 0.28	1.26 ± 0.23	p = .949
		12 cpd	0.80 ± 0.24	0.83 ± 0.24	p = .596
		18 cpd	0.32 ± 0.23	0.30 ± 0.22	p = .632
Oculus Mesotest II	ohne Blendung		0.61 ± 1.17	0.54 ± 1.14	p=.867
	mit Blendung		0.36 ± 0.9	0.38 ± 0.91	p=.787
Titmus Test			1318.12 ± 1405.9	600.15 ± 888.4	*p=.003

Tabelle 17: Präoperativer Vergleich des Kontrastsehens, des Oculus-Mesotests-II und des Titmus-Tests zwischen den beiden Gruppen. cpd=cycles pro degree (Zyklen pro Grad), hier die Werten in log Contrast Sensitivity. Oculus-Mesotest-II-Werte: 0=das gemessene Kontrastsehen ist weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts (1:23), 1=Kontraststufe 1:23, 2=Kontraststufe 1:5, 3=Kontraststufe 1:2.7, 4=Kontraststufe 1:2. Titmus-Test in Winkelsekunden. *p<0.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet. M-W-U = Mann-Whitney-U Test.

Das präoperative Kontrastsehen zwischen den beiden Gruppen zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede bei allen Untersuchungsbedingungen (cpd) mit und ohne Blendung. Das Dämmerungssehen mit und ohne Blendung blieb zudem ohne statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die bilaterale PanOptix-Gruppe zeigte ein statistisch signifikant besseres dreidimensionales Sehen präoperativ (p=.003) im Vergleich zur unilateralen Gruppe.

3.3.2 Postoperativer Vergleich der zwei Untersuchungsgruppen

Refraktion

Die postoperative Refraktion der Patienten der beiden Gruppen findet sich in Tabelle 18.

	Unilateral PanOptix	Bilateral PanOptix	M-W-U-Test
Refraktion (Dpt)	-0.15 ± 0.47	-0.04 ± 0.37	p = .236

Tabelle 18: Vergleich der postoperativen Refraktion (in Dioptrien - sphärisches Äquivalent), M-W-U-Test: Mann-Whitney U Test

Beide Gruppen befinden sich bei einer Endrefraktion minimal in der Richtung Myopie, die unilaterale PanOptix Gruppe etwas mehr bei -0.15 ± 0.47 dpt und die bilaterale Gruppe bei -0.04 ± 0.37 dpt. Da der Mittelwert der Refraktion kleiner als 0,25 dpt ist, sind praktisch beide

Gruppen emmetrop. Es zeigte sich allerdings kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgruppen ($p = .236$).

Sehschärfe /Visus

Die Ergebnisse des postoperativen Visus der beiden Untersuchungsgruppen finden sich in Tabelle 19 zusammengefasst.

<i>Sehschärfe</i>	<i>Unilateral PanOptix</i>	<i>bilateral PanOptix</i>	<i>Mann-Whitney-U-Test</i>
<i>UDVA (logMAR)</i>	0.03 ± 0.09	0.06 ± 0.09	p = .195
<i>UIVA (logMAR)</i>	0.08 ± 0.14	0.07 ± 0.13	p = .907
<i>UNVA (logMAR)</i>	0.11 ± 0.09	0.10 ± 0.12	p = .592
<i>CDVA (logMAR)</i>	0.00 ± 0.07	0.04 ± 0.08	*p = .039
<i>CIVA (logMAR)</i>	0.02 ± 0.07	0.05 ± 0.10	p = .349
<i>CNVA (logMAR)</i>	0.02 ± 0.08	0.06 ± 0.09	p = .089

Tabelle 19: Vergleich der postoperativen Sehschärfe. Die Ergebnisse sind in logMAR, Mittelwert und Standardabweichung. Für Abkürzungen der Sehschärfe siehe auch Abkürzungsverzeichnis. * $p < 0.05$ wird als statistisch signifikant gezeichnet.

Unkorrigierter Visus

Der Mittelwert des postoperativen unkorrigierten Fernvisus in 5 m (UDVA) liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.03 ± 0.09 logMAR und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.06 ± 0.09 logMAR. Die unilaterale PanOptix-Gruppe hat eine bessere postoperative UDVA. Es zeigte sich allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .195$).

Der Mittelwert des postoperativen unkorrigierten intermediären Visus in 66 cm (UIVA) liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.08 ± 0.14 logMAR und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.07 ± 0.13 logMAR. Die bilaterale PanOptix-Gruppe hatte eine bessere UIVA. Es zeigte sich allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .907$).

Der Mittelwert des postoperativen unkorrigierten Nahvisus in 40 cm (UNVA) ist für beiden Gruppen praktisch gleich und liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.11 ± 0.09 logMAR und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.10 ± 0.12 logMAR. Es zeigte sich auch hier kein signifikanter Unterschied der UNVA zwischen den beiden Gruppen ($p = .592$).

Die Abbildung 22 fasst den Unterschied der unkorrigierten postoperativen Sehschärfe zwischen den beiden Gruppen zusammen.

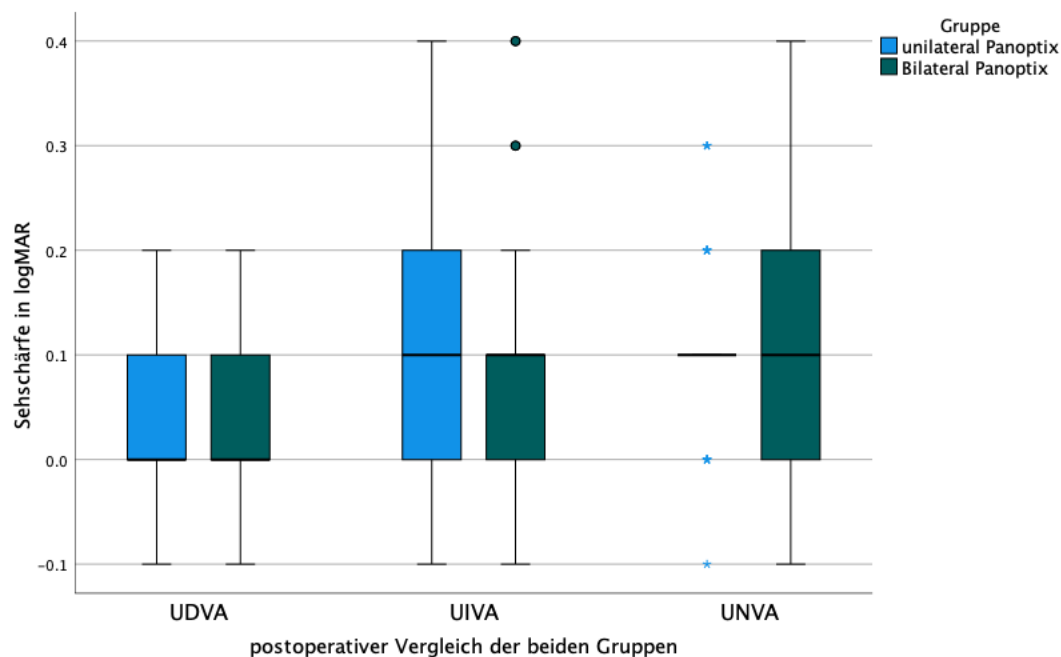


Abb. 22: Postoperativer Vergleich der unkorrigierten Sehschärfe zwischen den beiden Gruppen.

Mittelwert, Standardabweichung, Außengrenzen. UDVA: *uncorrected distance visual acuity*, UIVA: *uncorrected intermediate visual acuity*, UNVA: *uncorrected near visual acuity*.

Bestkorrigierter Visus

Der Mittelwert des postoperativen bestkorrigierten Fernvisus (CDVA) liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.00 ± 0.07 logMAR und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.04 ± 0.08 logMAR. Die unilaterale PanOptix-Gruppe zeigte einen statistisch signifikant besseren bestkorrigierten Fernvisus postoperativ ($p=.039$).

Der Mittelwert des postoperativen bestkorrigierten intermediären Visus (CIVA) liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.02 ± 0.07 logMAR und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.05 ± 0.10 logMAR. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p= .349$).

Der Mittelwert des postoperativen bestkorrigierten Nahvisus (CNVA) liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.02 ± 0.08 logMAR und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.06

± 0.09 logMAR. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .089$).

Abbildung 23 fasst den Unterschied der korrigierten postoperativen Sehschärfe zwischen den beiden Gruppen zusammen.

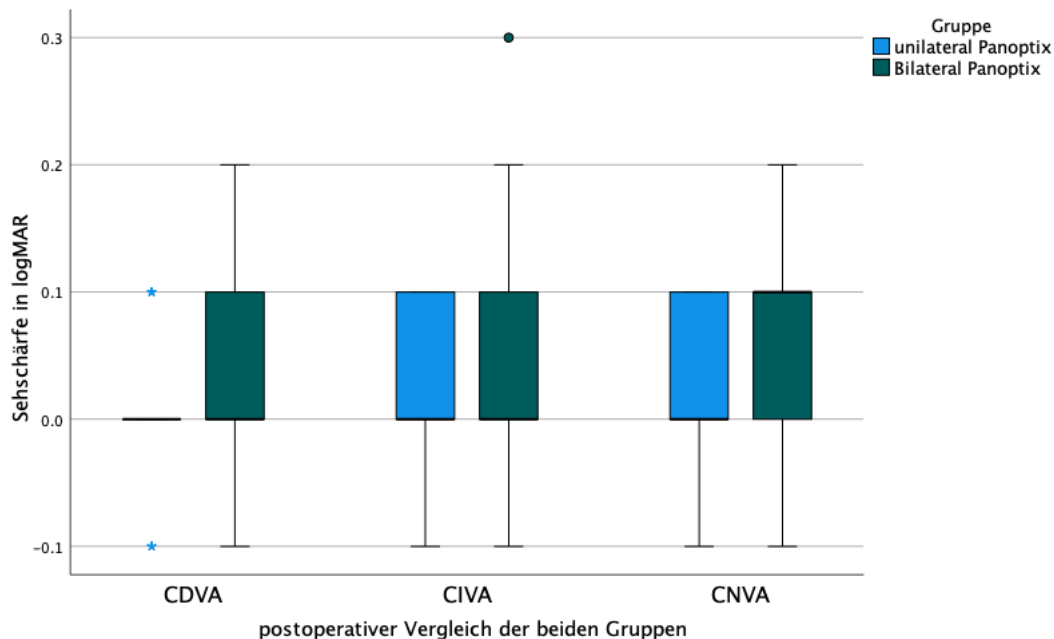


Abb. 23: Postoperativer Vergleich der korrigierten Sehschärfe zwischen den beiden Gruppen. Mittelwert, Standardabweichung, Außergrenzen. CDVA: *corrected distance visual acuity*, CIVA: *corrected intermediate visual acuity*, CNVA: *corrected near visual acuity*.

Für die Studiengruppe wurde zusätzlich das kumulative Prozent der Sehschärfe in allen Abständen berechnet. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 20:

Messung	Visus (logMAR)	Frequenz	Prozent	kumulatives Prozent
UDVA	-0.1	5	15.2%	15.2%
	0.0	15	45.5%	60.6%
	0.1	9	27.3%	87.9%
	0.2	4	12.1%	100%
UIVA	-0.1	5	15.2%	15.2%
	0.0	11	33.3%	48.5%
	0.1	8	24.2%	72.7%
	0.2	4	12.1%	84.8%
	0.3	4	12.1%	97%
UNVA	0.4	1	3%	100%
	-0.1	1	3%	3%
	0.0	6	18.2%	21.2%

CDVA	0.1	18	54.5%	75.8%
	0.2	5	15.2%	90.9%
	0.3	3	9.1%	100%
CIVA	-0.1	7	21.2%	21.2%
	0.0	18	54.5%	75.8%
	0.1	8	24.2%	100%
CNVA	-0.1	5	15.2%	15.2%
	0.0	16	48.5%	63.6%
	0.1	12	36.4%	100%
	-0.1	6	18.2%	18.2%
	0.0	13	39.4%	57.6%
	0.1	14	42.4%	100%

Tabelle 20: Berechnung des kumulativen Anteils der Sehschärfe – unilaterale Gruppe. Für Abkürzungen der Sehschärfe siehe auch Abkürzungsverzeichnis.

Die Folgenden Abbildungen 24 bis 26 zeigen grafisch die Ergebnisse der unkorrigierten Sehschärfe der Tabelle 20:

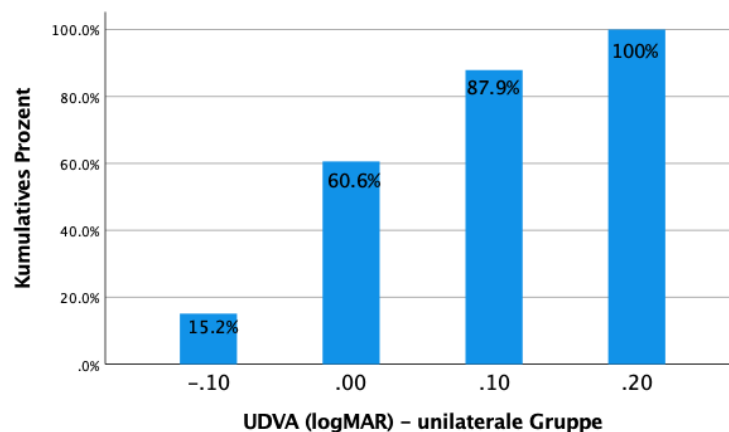


Abb. 24: Kumulatives Prozent der UDVA (*uncorrected distant visual acuity*) der unilateralen Gruppe.

15.2 % der Patienten der unilateralen Gruppe haben postoperativ eine UDVA von mindestens -0.1 logMAR, 60.6 % haben eine UDVA von mindestens 0.0 logMAR, 87.9 % eine UDVA von mindestens 0.1 logMAR und alle Patienten (100 %) haben eine UDVA von mindestens 0.2 logMAR.

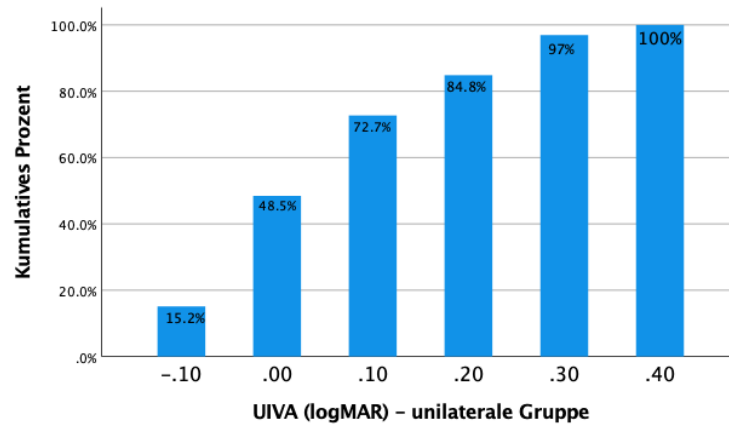


Abb. 25: Kumulatives Prozent der UIVA (*uncorrected intermediate visual acuity*) der unilateralen Gruppe.

15.2 % der Patienten der unilateralen Gruppe haben postoperativ eine UIVA von mindestens -0.1 logMAR, 48.5 % haben eine UIVA von mindestens 0.0 logMAR, 72.7 % eine UIVA von mindestens 0.1 logMAR, 84.8 % eine UIVA von mindestens 0.2 logMAR, 97 % eine UIVA von mindestens 0.3 logMAR und alle Patienten (100 %) haben eine UIVA von mindestens 0.4 logMAR.

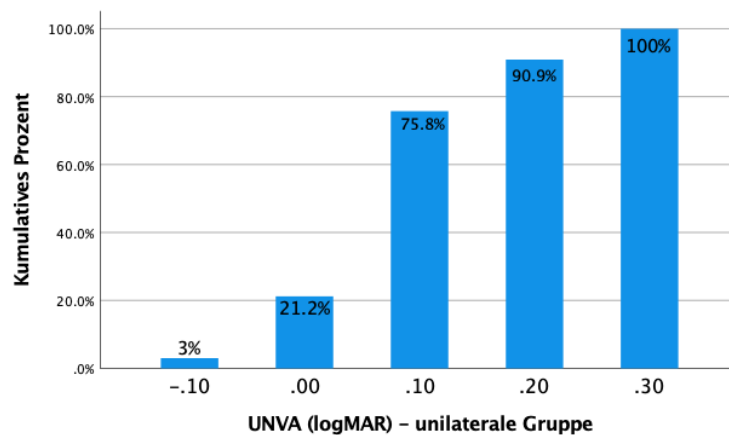


Abb. 26: Kumulatives Prozent der UNVA (*uncorrected near visual acuity*) der unilateralen Gruppe.

3 % der Patienten der unilateralen Gruppe haben postoperativ eine UNVA von mindestens -0.1 logMAR, 21.2 % haben eine UNVA von mindestens 0.0 logMAR, 75.8 % eine UNVA von mindestens 0.1 logMAR, 90.9 % eine UNVA von mindestens 0.2 logMAR und alle Patienten (100 %) haben eine UNVA von mindestens 0.3 logMAR.

Photopisches Kontrastsehen

Der Vergleich des postoperativen photopischen Kontrastsehens zwischen den beiden Untersuchungsgruppen wird in der Tabelle 21 sowie in den Abbildungen 27 und 28 gezeigt.

Lichtbedingung	Stufe	Unilateral PanOptix	Bilateral PanOptix	M-W-U
ohne Blendung	3 cpd (logCS)	1.70 ± 0.16	1.58 ± 0.21	*p = .013
	6 cpd (logCS)	1.78 ± 0.25	1.63 ± 0.21	*p = .003
	12 cpd (logCS)	1.35 ± 0.30	1.13 ± 0.33	*p = .004
	18 cpd (logCS)	0.84 ± 0.29	0.61 ± 0.32	*p = .004
mit Blendung	3 cpd (logCS)	1.53 ± 0.16	1.41 ± 0.22	*p = .016
	6 cpd (logCS)	1.59 ± 0.23	1.49 ± 0.23	p = .057
	12 cpd (logCS)	1.18 ± 0.26	1.02 ± 0.29	*p = .019
	18 cpd (logCS)	0.60 ± 0.21	0.46 ± 0.25	*p = .018

Tabelle 21: Postoperatives Photopisches Kontrastsehender beiden Gruppen. Mittelwert und Standardabweichung in log Contrast Sensitivity. cpd = cycles pro degree/Zyklen pro Grad). *p<0.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet. M-W-U: Mann-Whitney-U-Test.

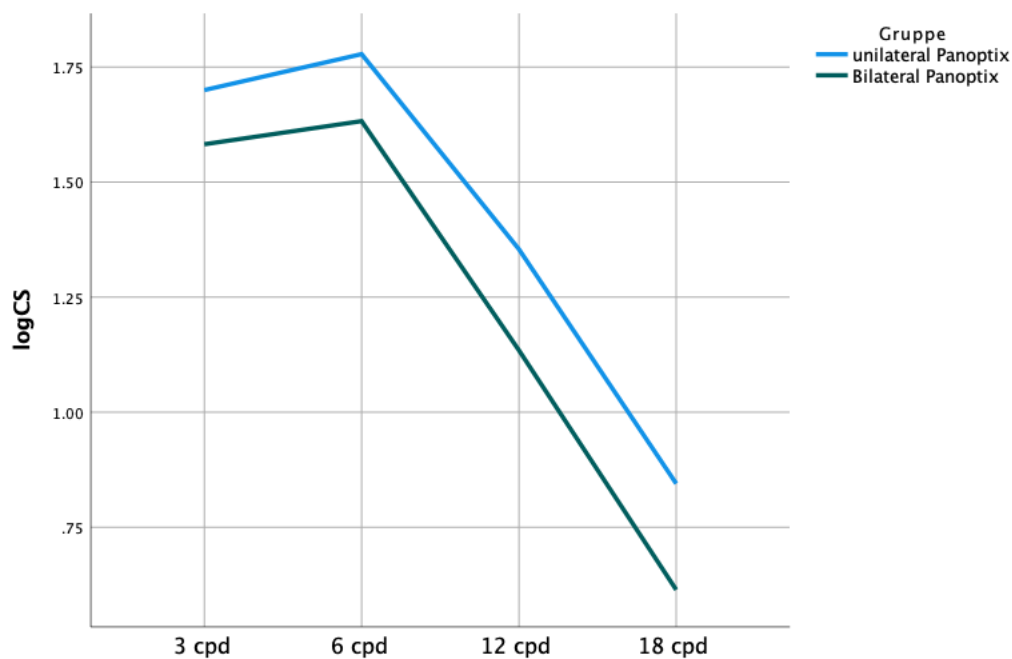


Abb. 27: Vergleich des postoperativen photopischen Kontrastsehens ohne Blendung zwischen den beiden Gruppen. cpd = cycles pro degree/Zyklen pro Grad, logCS = log Contrast Sensitivity.

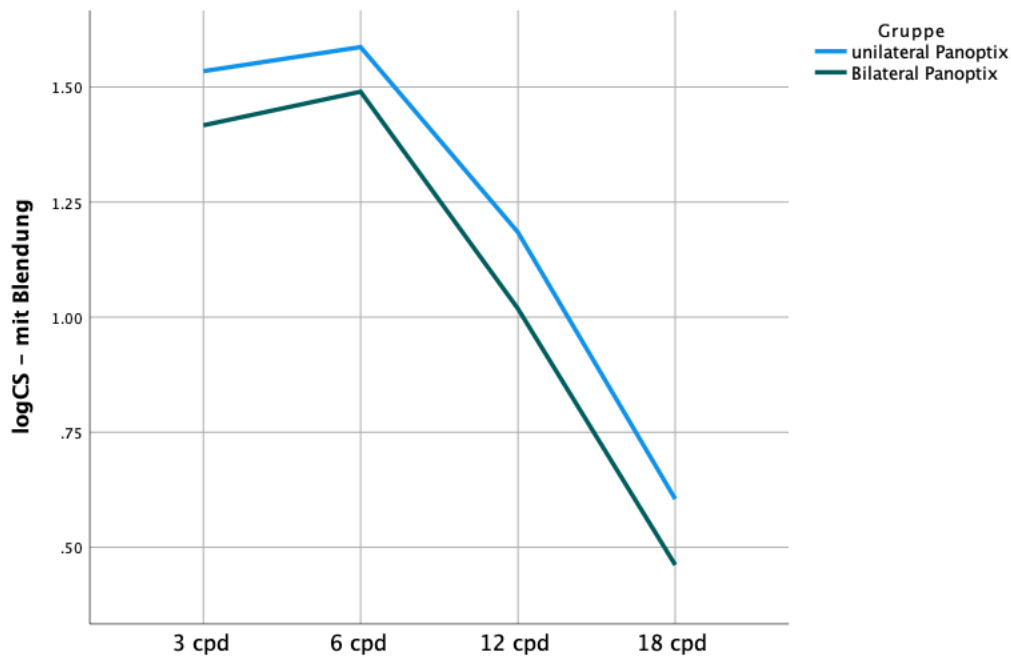


Abb. 28: Vergleich des postoperativen photopischen Kontrastsehens mit Blendung zwischen den beiden Gruppen. cpd = *cycles pro degree*/Zyklen pro Grad), logCS = log Contrast Sensitivity.

Interessanterweise ist das Kontrastsehen der unilateralen PanOptix-Gruppe bei allen Spatial-Frequenzen (Cycles pro Degree, CPD) sowie Untersuchungsbedingungen (mit und ohne Blendung) besser im Vergleich zu der bilateralen PanOptix-Gruppe. Die Ergebnisse aller Messungen, außer der Messung in 6 cpd mit Blendung, sind statistisch signifikant (siehe Tabelle 21).

Oculus-Mesotest II

Tabelle 22 und Abbildung 29 zeigen den postoperativen Vergleich des Dämmerungssehens zwischen den beiden Gruppen.

Lichtbedingung	Gruppe	Mittelwert	Std.- Abweichung	Maximum	Minimum	M-W-U Test
Ohne Blendung	unilaterale PanOptix	1.79	±1.64	4	0	p=.657
	bilateral PanOptix	1.59	±1.6	4	0	
Mit Blendung	unilaterale PanOptix	1.21	±1.55	4	0	p=.902
	bilateral PanOptix	1.21	±1.56	4	0	

Tabelle 22: Oculus-Mesotest-II, postoperativer Vergleich zwischen den beiden Gruppen. Werten: 0=das gemessene Kontrastsehen ist weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts (1:23), 1= Kontraststufe 1:23, 2= Kontraststufe 1:5, 3= Kontraststufe 1:2.7, 4= Kontraststufe 1:2. M-W-U Test=Mann-Whitney-U-Test.

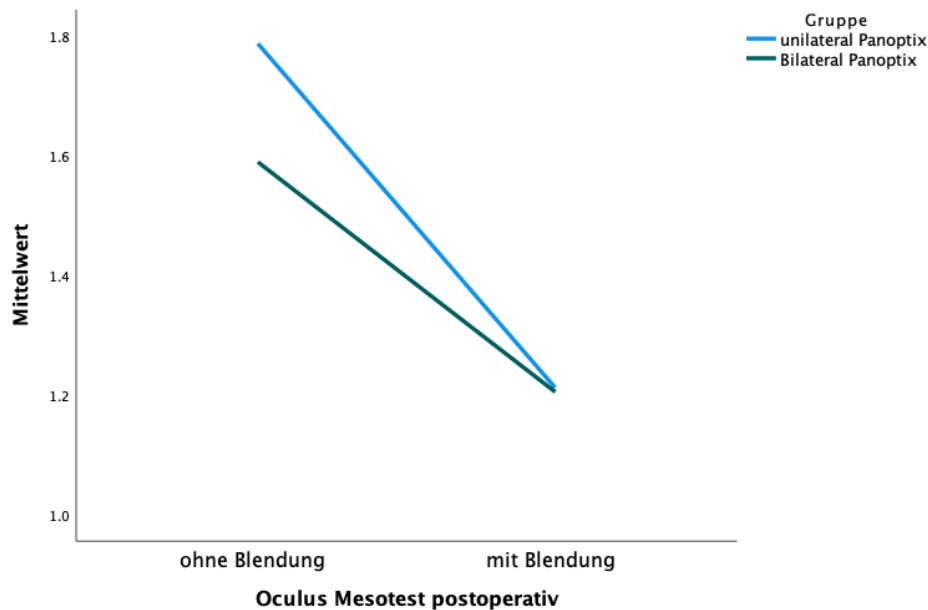


Abb. 29: Oculus-Mesotest, postoperativer Vergleich zwischen den beiden Gruppen. Werten: 1= Kontraststufe 1:23, 2= Kontraststufe 1:5, 3= Kontraststufe 1:2.7, 4= Kontraststufe 1:2.

Der Mittelwert des Testes ohne Blendung liegt bei 1.79 ± 1.64 bei der unilateralen PanOptix-Gruppe und bei 1.59 ± 1.6 bei der bilateralen PanOptix-Gruppe. Das Ergebnis entspricht der Kontraststufe 1:5. Der Mittelwert des Testes mit Blendung von beiden Gruppen ist gleich und liegt bei 1.21 (entspricht der Kontraststufe des Testes 1:23). Beim Oculus-Mesotest II sowohl ohne als auch mit Blendung postoperativ zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .657$ und $p = .902$ entsprechend).

Titmus-Test

Tabelle 23 und Abbildung 30 zeigen den postoperativen Vergleich des Titmus-Tests der beiden Gruppen.

Gruppe	Mittelwert	Std.-Abweichung	Maximum	Minimum	M-W-U Test
unilaterale PanOptix	267.88	237.75	50	800	p=.065
bilaterale PanOptix	244.67	563.7	40	3552	

Tabelle 23: Postoperativer Vergleich des Titmus-Tests zwischen den beiden Gruppen. Werten in Winkelsekunden. M-W-U-Test = Mann-Whitney-U-Test.

Der Mittelwert des postoperativen Titmus-Tests liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei 267.88 ± 237.75 Winkelsekunden und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 244.67 ± 563.7

Winkelsekunden. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich des Titmus-Tests ($p=0.65$), obwohl die bilaterale PanOptix-Gruppe ein besseres Ergebnis zeigt.

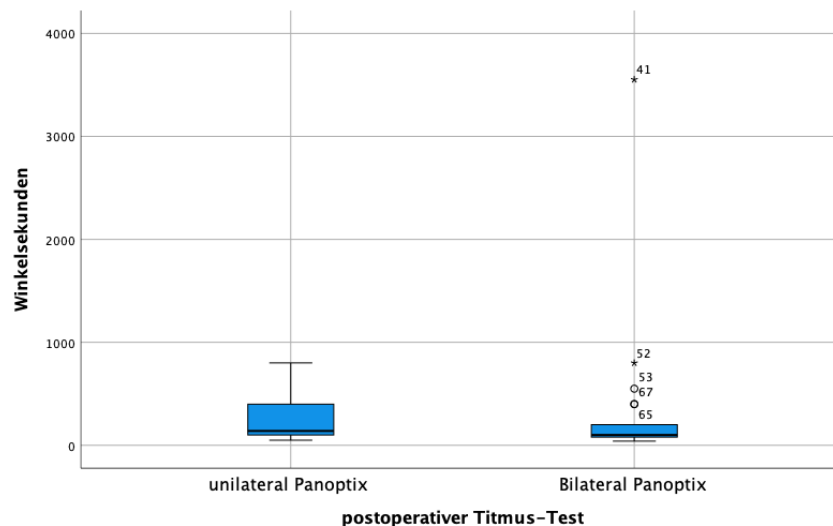


Abb. 30: postoperativer Vergleich des Titmus-Tests zwischen den beiden Gruppen

3.3.3 Analyse des Fragebogens

Für die statistische Bewertung der aus dem Fragebogen erhobenen Daten wurde, wie in der Methodik erläutert, das non-parametrische Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Tabelle 24 fasst alle Ergebnisse des Vergleichs zwischen den beiden Gruppen zusammen:

Frage	Skala	unilaterale PanOptix	bilaterale PanOptix	Mann-Whitney U Test
Zufriedenheit	Skala 1-4	3.61 ± .75	3.61 ± .86	p = .864
Blendung	Skala 0-3	1.03 ± .90	1.03 ± 1.03	p = .847
Nachtsicht	Skala 0-3	0.91 ± .86	0.92 ± 1.06	p = .754
Farbsehen	Skala 0-3	0.15 ± .57	0.16 ± .44	p = .614
Tiefenwahrnehmung	Skala 0-3	0.15 ± .44	0.26 ± .69	p = .613
Halos	Skala 0-3	0.55 ± .79	0.78 ± .98	p = .329
verzerrtes Nahsehen	Skala 0-3	0.15 ± .51	0.22 ± .63	p = .580
verzerrtes Fernsehen	Skala 0-3	0.12 ± .42	0.22 ± .63	p = .551
unscharfes Nahsehen	Skala 0-3	0.97 ± .95	0.61 ± 1.0	*p = .036
unscharfes Fernsehen	Skala 0-3	0.30 ± .59	0.47 ± .89	p = .661
Doppeltsehen	Skala 0-3	0.30 ± .77	0.24 ± .68	p = .816
Fernbrille	Skala 0-4	0.12 ± .42	0.08 ± .36	p = .562

<i>Computerbrille</i>	Skala 0-4	0.76 ± 1.09	0.30 ± .88	*p = .018
<i>Nahbrille</i>	Skala 0-4	1.24 ± 1.12	0.46 ± .99	**p < .001
<i>Fernsehen</i>	Skala 0-3	0.33 ± .60	0.29 ± .65	p = .481
<i>Spielen</i>	Skala 0-3	0.13 ± .42	0.19 ± .46	p = .422
<i>Spielen mit Kindern</i>	Skala 0-3	0.13 ± .42	0.19 ± .64	p = .958
<i>Armbanduhr</i>	Skala 0-3	0.13 ± .42	0.29 ± .77	p = .400
<i>Wanduhr</i>	Skala 0-3	0.18 ± .53	0.26 ± .64	p = .633
<i>Hobbys</i>	Skala 0-3	0.55 ± .91	0.36 ± .76	p = .316
<i>Job</i>	Skala 0-3	0.23 ± .53	0.27 ± .69	p = .933
<i>Sport</i>	Skala 0-3	0.0 ± .00	0.25 ± .67	*p = .037
<i>Veranstaltungen</i>	Skala 0-3	0.25 ± .52	0.29 ± .74	p = .720
<i>Lesen</i>	Skala 0-3	1.23 ± .88	0.71 ± .98	*p = .007
<i>Autofahren</i>	Skala 0-3	0.36 ± .62	0.36 ± .80	p = .642
<i>Autofahren nachts</i>	Skala 0-3	0.81 ± .83	0.79 ± 1.05	p = .633
<i>Autofahren mit Regen</i>	Skala 0-3	0.96 ± .85	0.59 ± .74	p = .065
<i>Computer</i>	Skala 0-3	0.69 ± .93	0.49 ± .87	p = .303
<i>Handy</i>	Skala 0-3	0.50 ± .62	0.32 ± .75	p = .070
<i>Schminken/Rasieren</i>	Skala 0-3	0.28 ± .52	0.31 ± .79	p = .507
<i>Kochen</i>	Skala 0-3	0.13 ± .55	0.18 ± .63	p = .695
<i>Einkaufen</i>	Skala 0-3	0.24 ± .66	0.26 ± .76	p = .856

Tabelle 24: Vergleich der Antworten des Fragebogens zwischen den beiden Gruppen. Mittelwert und Standardabweichung. *p<.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet, **p<.001 ist als statistisch hochsignifikant gezeichnet. Für die Bedeutung der Skala pro Antwort siehe auch Fragebogen in Anhang 1. Für Zufriedenheit: 1= nicht zufrieden, 2=wenig zufrieden, 3=zufrieden, 4= sehr zufrieden.

Allgemeine Zufriedenheit

Der Mittelwert der unilateralen PanOptix-Gruppe liegt bei $3.61 \pm .75$ und der bilateralen PanOptix-Gruppe bei $3.61 \pm .86$. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p=.864$). Abbildung 31 zeigt auch die Ergebnisse der postoperativen Zufriedenheit.

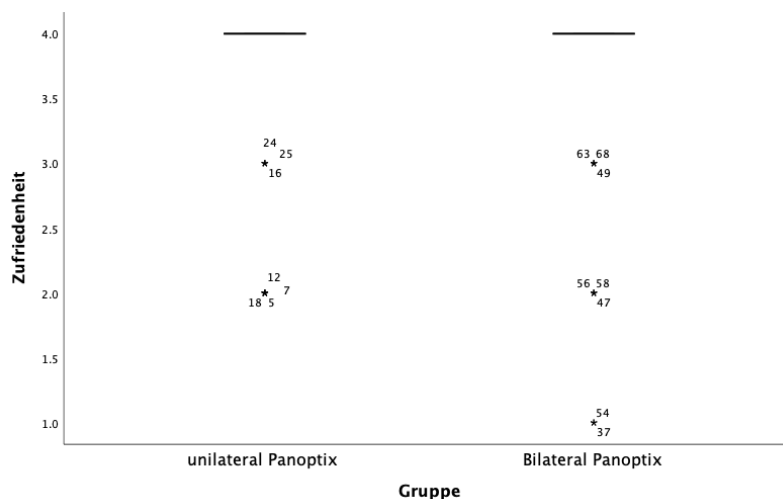


Abb. 31: Vergleich der postoperativen Zufriedenheit zwischen den beiden Gruppen. Y-Achse: Skala 1-4: 1= nicht zufrieden, 2=wenig zufrieden, 3=zufrieden, 4= sehr zufrieden.

Es wurde zusätzlich pro Gruppe der Anteil der Patienten je nach Zufriedenheitsskala berechnet und wird in der Tabelle 25 zusammenfasst:

Zufriedenheitsskala	unilaterale panOptix	bilaterale PanOptix
nicht zufrieden (1-3)	0%	5.4%
wenig zufrieden (4-5)	15.2%	8.1%
zufrieden (6-7)	9.1%	8.1%
sehr zufrieden (8-10)	75.8%	78.4%

Tabelle 25: Anteil der Patienten pro Zufriedenheitsskala und pro Gruppe

Ungefähr zwei Drittel der Patienten (75.8 % der unilateralen PanOptix-Gruppe und 78.4 % der bilateralen PanOptix-Gruppe) sind nach der Operation sehr zufrieden. Zufrieden oder sehr zufrieden sind kumulativ 84.9 % der unilateralen und 86.5% der bilateralen Gruppe. Nicht zufrieden oder wenig zufrieden sind kumulativ 15.2 % der unilateralen und 13.5 % der bilateralen Gruppe.

Brillengebrauch

Der Mittelwert und die Standardabweichung der Ergebnisse des Brillengebrauchs bei allen drei Entfernungen wurden bereits in Tabelle 24 dargestellt. Tabelle 26 zeigt detailliertere Informationen zu den Antworten der Patienten:

<i>Art der Brille</i>	<i>Gruppe</i>	<i>nie</i>	<i>selten</i>	<i>manchmal</i>	<i>oft</i>	<i>immer</i>
<i>Fernbrille</i>	unilaterale Gruppe	90.7%	6.1%	3.0%	0%	0%
	bilaterale Gruppe	94.6%	2.7%	2.7%	0%	0%
<i>Computerbrille</i>	unilaterale Gruppe	60.6%	15.2%	12.1%	12.1%	0%
	bilaterale Gruppe	86.5%	5.4%	2.7%	2.7%	2.7%
<i>Nahbrille</i>	unilaterale Gruppe	33.3%	27.3%	21.2%	18.2%	0%
	bilaterale Gruppe	75.7%	13.5%	2.7%	5.4%	2.7%

Tabelle 26: Postoperativer Brillengebrauch, Vergleich zwischen den Gruppen, Anteile.

Die große Mehrheit in beiden Gruppen (90.7 % der unilateralen PanOptix-Gruppe und 94.6 % der bilateralen Gruppe) trägt postoperativ nie eine Fernbrille. Kumulativ 9.1 % der unilateralen Gruppe und 5.4 % der bilateralen Gruppe trägt selten oder manchmal eine Fernbrille und kein Patient der zwei Gruppen benutzt oft oder immer eine Fernbrille. Der Mittelwert der Antworten liegt bei der unilateralen Gruppe bei $0.12 \pm .42$ versus $0.08 \pm .36$ der bilateralen Gruppe. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p=.562$).

Beim Bedarf einer Computerbrille postoperativ zeigte die unilaterale PanOptix-Gruppe schlechtere Ergebnisse im Vergleich zu der bilateralen Gruppe (Mittelwert 0.76 ± 1.09 versus $0.30 \pm .88$). Nie eine Computerbrille brauchen 86.5 % der bilateralen Gruppe und 60.6 % der unilateralen Gruppe. Oft oder immer eine Computerbrille brauchen 5.4 % der bilateralen und 12.1 % der unilateralen Gruppe. Die unilaterale PanOptix-Gruppe muss postoperativ signifikant öfter eine Computerbrille im Vergleich zur bilateralen Gruppe tragen ($p=.018$). Trotzdem tragen drei Viertel (75.2 %) der Patienten mit unilateralen PanOptix nie oder selten eine Computerbrille.

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen wird bei der Verwendung einer Nahbrille deutlicher (Mittelwert 1.24 ± 1.12 versus $0.46 \pm .99$ für die unilaterale versus die bilaterale Gruppe). Zwei Drittel der Patienten der bilateralen Gruppe (75.7 %) brauchen nie eine Nahbrille, während nur ein Drittel der unilateralen Gruppe dasselbe angab. Außerdem trägt ein großer Anteil der unilateralen Gruppe (18.2 %) oft eine Nahbrille. Der entsprechende Anteil der bilateralen Gruppe beträgt lediglich 5.4 %. Daraus lässt sich schließen, dass die Patienten der unilateralen PanOptix-Gruppe öfter eine Nahbrille brauchen und das Ergebnis ist statistisch hochsignifikant ($p<.001$). Trotzdem trägt doch die Mehrheit dieser Patienten (60.6 %) entweder nie oder selten eine Nahbrille.

Visuelle Störungen

Alle Ergebnisse der postoperativen visuellen Störungen finden sich in Tabelle 24. Der Mittelwert der postoperativen Störung durch Blendung lag bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei $1.03 \pm .90$ und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 1.03 ± 1.03 . Beide Gruppen litten also unter minimalen Störungen durch Blendung und der Unterschied war nicht signifikant ($p = .847$).

Der Mittelwert der postoperativen Störung bei der Nachtsicht liegt bei der unilateralen PanOptix-Gruppe bei $0.91 \pm .86$ und bei der bilateralen PanOptix-Gruppe bei 0.92 ± 1.06 . Auch hier sind die Ergebnisse identisch. Beide Gruppen litten unter minimalen Störungen beim Sehen in der Nacht und der Unterschied zwischen denen ist statistisch nicht signifikant ($p = .754$).

Die Patienten der beiden Gruppen litten postoperativ nicht unter Störungen beim Farbsehen (Mittelwert der unilateralen PanOptix-Gruppe bei $0.15 \pm .57$ versus $0.16 \pm .44$ der bilateralen Gruppe). Auch hier zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = .614$).

Ähnlich litten beide Gruppen postoperativ nicht unter Störungen bei der Tiefenwahrnehmung. Die unilaterale PanOptix-Gruppe zeigte hier einen etwas besseren Mittelwert ($0.15 \pm .44$ versus $0.26 \pm .69$ der bilateralen Gruppe). Der Unterschied war allerdings statistisch nicht signifikant ($p = .613$).

Beim postoperativen Halo zeigte die unilaterale PanOptix-Gruppe einen besseren Mittelwert ($0.55 \pm .79$ versus $0.78 \pm .98$) im Vergleich zur bilateralen Gruppe. Trotzdem erlitten beide Gruppen dadurch minimale Störungen und der Unterschied ist statistisch nicht signifikant ($p = .329$).

Die Patienten beider Gruppen zeigten postoperativ keine Störung durch verzerrtes Sehen in der Nähe (Mittelwert $0.15 \pm .51$ versus $0.22 \pm .63$). Es gab auch keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .580$). Gleich ist die Situation beim verzerrten Fernsehen. Beide Gruppen erlitten dadurch keine Störung dadurch (Mittelwert $0.12 \pm .42$ versus $0.22 \pm .63$) und zeigen keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p = .551$).

Eine Auffälligkeit ist beim Sehen in der Nähe aufgetreten. Die unilaterale PanOptix-Gruppe zeigte einen Mittelwert von $0.97 \pm .95$ versus 0.61 ± 1.0 der bilateralen Gruppe. Dieser

entspricht minimalen postoperativen Störungen beim Sehen in der Nähe. Der Unterschied war aber hier zugunsten der bilateralen Gruppe statistisch signifikant ($p = .036$). Die unilaterale Gruppe litt also postoperativ statistisch signifikant mehr an Störungen durch unscharfes Sehen in der Nähe.

Beide Gruppen litten postoperativ an keiner Störung durch unscharfes Fernsehen (Mittelwert der unilateralen PanOptix Gruppe $0.30 \pm .59$ versus $0.47 \pm .89$ der bilateralen Gruppe). Obwohl der Mittelwert der bilateralen PanOptix-Gruppe etwas höher liegt, zeigte sich bei der Analyse kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .661$).

Schließlich litten die Patienten beider Gruppen an keinen postoperativen Störungen durch Doppelsehen (Mittelwert der unilateralen PanOptix Gruppe $0.30 \pm .77$ versus $0.24 \pm .68$ der bilateralen Gruppe). Es zeigte sich auch kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = .816$).

Die Tabelle 27 zeigt den genauen Anteil der Patienten pro Gruppe, die Störungen durch visuelle Phänomene postoperativ erleben und wie stark diese Störungen sind.

<i>Visuelle Störung</i>	<i>Gruppe</i>	<i>keine</i>	<i>minimale</i>	<i>mäßige</i>	<i>ernste</i>
<i>Blendung</i>	unilaterale Gruppe	28.1%	50.0%	12.5%	9.4%
	bilaterale Gruppe	39.5%	28.9%	21.1%	10.5%
<i>Halos</i>	unilaterale Gruppe	60.6%	27.3%	9.1%	3.0%
	bilaterale Gruppe	51.4%	27.0%	13.5%	8.1%
<i>Nachtsehen</i>	unilaterale Gruppe	37.5%	37.5%	21.9%	3.1%
	bilaterale Gruppe	45.9%	29.7%	10.8%	13.5%
<i>Farbsehen</i>	unilaterale Gruppe	90.9%	6.1%	0%	3.0%
	bilaterale Gruppe	86.8%	10.5%	2.6%	0%
<i>Tiefenwahrnehmung</i>	unilaterale Gruppe	87.9%	9.1%	3.0%	0%
	bilaterale Gruppe	84.2%	7.9%	5.3%	2.6%
<i>verzerrtes Nahsehen</i>	unilaterale Gruppe	90.9%	3.0%	6.1%	0%
	bilaterale Gruppe	86.5%	8.1%	2.7%	2.7%
<i>verzerrtes Fernsehen</i>	unilaterale Gruppe	90.9%	6.1%	3.0%	0%
	bilaterale Gruppe	86.5%	8.1%	2.7%	2.7%
<i>unscharfes Nahsehen</i>	unilaterale Gruppe	36.4%	39.4%	15.2%	9.1%
	bilaterale Gruppe	65.8%	18.4%	5.3%	10.5%
<i>unscharfes Fernsehen</i>	unilaterale Gruppe	75.8%	18.2%	6.1%	0%
	bilaterale Gruppe	73.7%	10.5%	10.5%	5.3%
<i>Doppelsehen</i>	unilaterale Gruppe	84.8%	3.0%	9.1%	3.0%
	bilaterale Gruppe	86.5%	5.4%	5.4%	2.7%

Tabelle 27: Störungen durch visuelle Phänomene für die beiden Gruppen.

Hier wird der Anteil der Patienten, die eine ernste Störung postoperativ erleben, erwähnt. Bei beiden Gruppen litt circa ein Zentel der Patienten (9.4% unilaterale Gruppe versus 10.5 % bilateralen Gruppe) an ernstesten Störungen durch Blendung. Beim Halo ist der entsprechende Anteil etwas kleiner (3.0 % versus 8.1 %). Hier zeigte sich ein Unterschied zugunsten der unilateralen PanOptix-Gruppe. Dieser Unterschied war allerdings, wie bereits erwähnt, statistisch nicht signifikant. Beim Nachtsehen empfinden die Patienten der unilateralen Gruppe zudem seltener ernste Störungen als die der bilateralen Gruppe (3.1 % versus 13.5 %). In diesem auch Fall war auch der Unterschied nicht signifikant.

Der Anteil der Patienten, die ernste Probleme beim Farbsehen, bei der Tiefenwahrnehmung, beim verzerrten Fernsehen und Sehen in der Nähe und Doppelsehen haben, war in beiden Gruppen sehr gering ($\leq 3\%$ in allen Fällen).

Ernste Schwierigkeiten mit unscharfem Sehen in der Nähe haben 9.1% der Patienten mit unilateralem PanOptix versus 10.5 % der Patienten mit bilateralem PanOptix. Hier war der Unterschied im Mittelwert allerdings statistisch signifikant zugunsten der bilateralen Gruppe ($p=.036$). Gegensatz dazu hatten 0 % der unilateralen versus 5.3% der bilateralen Gruppe ernste Schwierigkeiten mit unscharfem Fernsehen. Hier war der Unterschied im Mittelwert, wie bereits erwähnt, statistisch nicht signifikant.

Alltagstätigkeiten

Der Mittelwert und die Standardabweichung der Ergebnisse des Fragebogens bezüglich der postoperativen Störungen bei Alltagstätigkeiten finden sich in Tabelle 24.

Zusammenfassend haben die Patienten der beiden Gruppen keine Schwierigkeiten bei der Durchführung der folgenden Alltagstätigkeiten: Fernsehen, Spielen im Allgemeinen, Spielen mit Kindern, Ablesen der Armbanduhr, Ablesen der Uhrzeit von der Wanduhr, Job, Sport, Besuchen von Veranstaltungen, Autofahren generell, Schminken oder Rasieren, Kochen, Einkaufen. Bei diesen Tätigkeiten zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen, außer beim Sport (siehe Tabelle 24). Die Patienten der bilateralen PanOptix-Gruppe (Mittelwert $0.25 \pm .67$) hatten postoperativ signifikant öfter Schwierigkeiten beim Sport im Vergleich zu der unilateralen PanOptix-Gruppe (Mittelwert $0.0 \pm .00$) ($p = .037$).

Bei der Durchführung von Hobbys liegt der Mittelwert der unilateralen PanOptix-Gruppe bei $0.55 \pm .91$ (entspricht der Antwort „minimale Schwierigkeiten“) und bei der bilateralen Gruppe bei $0.36 \pm .76$ (entspricht der Antwort „keine Schwierigkeiten“). Es zeigte sich allerdings kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .316$).

Beim Lesen liegt der Mittelwert der Antworten bei $1.23 \pm .88$ für die unilaterale versus $0.71 \pm .98$ für die bilaterale Gruppe. Das Ergebnis entspricht der Antwort „minimale Schwierigkeiten“. Allerdings haben die Patienten der unilateralen Gruppe postoperativ signifikant öfter Schwierigkeiten beim Lesen im Vergleich zur bilateralen Gruppe ($p = .007$).

Beim Autofahren bei speziellen Bedingungen (nachts und beim Regen) haben die Patienten beider Gruppen postoperativ minimale Schwierigkeiten (Mittelwert beim Autofahren nachts $0.81 \pm .83$ versus 0.79 ± 1.05 und beim Autofahren beim Regen $0.96 \pm .85$ versus $0.59 \pm .74$ für die unilaterale und bilaterale PanOptix-Gruppe entsprechend). Es zeigte sich auch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (siehe Tabelle 24).

Beim Arbeiten am Computer haben die Patienten der unilateralen PanOptix-Gruppe postoperativ minimale Schwierigkeiten (Mittelwert $0.69 \pm .93$) und die Patienten der bilateralen Gruppe keine Schwierigkeiten (Mittelwert $0.49 \pm .87$). Es zeigte sich allerdings kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .303$).

Ähnlich haben die Patienten der unilateralen PanOptix-Gruppe beim Arbeiten am Handy postoperativ minimale Schwierigkeiten (Mittelwert $0.50 \pm .62$) und die Patienten der bilateralen Gruppe keine Schwierigkeiten (Mittelwert $0.32 \pm .75$). Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .070$).

3.4 Multivariable Analyse

In diesem Teil der Datenanalyse untersuchen wir, ob präoperative Faktoren, z.B. der refraktive Status der Patienten und die präoperative Sehschärfe, einen Einfluss auf die postoperative Patientenzufriedenheit haben. Eine multifaktorielle Varianzanalyse, die hier infrage käme, ist nicht möglich, weil unsere abhängige Variable (postoperative Zufriedenheit) ordinal- und nicht intervallskaliert ist.

Es wird mit dem präoperativen Refraktionsstatus begonnen. Die Patienten sind in drei unterschiedlichen Gruppen verteilt: Hyperop, Myop, Emmetrop (siehe präoperative Ergebnisse). Der non-parametrische Kruskal-Wallis-Test wurde ausgewählt, weil die unabhängige Variable (refraktiver Status) dreistufig ist und die abhängige Variable (postoperative Zufriedenheit) ordinalskaliert ist. Die Ergebnisse werden in Tabelle 28 präsentiert:

	Zufriedenheit	Präoperativer Status	N	Rang
Kruskal-Wallis H	1.382	hyperop	40	37.84
df	2	myop	27	33.48
Asymp. Sig.	.501	emmetrop	4	34.63

Tabelle 28: Kruskal-Wallis-Test, Postoperative Zufriedenheit je nach präoperativen refraktiven Status.

Die präoperativ Hyperopen zeigen einen besseren Rang (entspricht einer höheren postoperativen Zufriedenheit), an zweiter Stelle stehen die Emmetropen, gefolgt von den Myopen. Es zeigte sich, aber, kein statistisch signifikanter Unterschied bei der Verteilung der postoperativen Zufriedenheit in die drei Kategorien ($df = 2, p = .501$).

Um den Zusammenhang zwischen der präoperativen Sehschärfe (intervallskalierte, aber nicht normal verteilte unabhängige Variable) und der postoperativen Zufriedenheit (ordinalskalierte abhängige Variable) zu testen, wurden Spearman-Rangkorrelation-Tests durchgeführt. Ein Spearman-Rangkorrelation-Test wurde für den Visus in allen Abständen sowohl unkorrigiert als auch korrigiert durchgeführt. Die Ergebnisse werden in den Tabellen 29-34 dargestellt.

	Zufriedenheit	prä-OP UDVA
Zufriedenheit	Korrelationskoeffizient	1.000
	Sig. (2-tailed)	.129
	N	71

<i>Prä-OP UDVA</i>	Korrelationskoeffizient	-.182	1000
	Sig. (2-tailed)	.129	.
	N	71	72

Tabelle 29: Spearman's Korrelation zwischen der präoperativen UDVA (*uncorrected distant visual acuity*) und die postoperative Patientenzufriedenheit.

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der präoperativen UDVA und der postoperativen Zufriedenheit, $r_s = -.182$, $p = .129$, $n = 71$. Je besser der Visus (niedrigere Visus-Werte entsprechen einem besseren Visus bei logMAR-Daten), desto besser die postoperative Zufriedenheit.

		<i>Zufriedenheit</i>	<i>prä-OP UIVA</i>
<i>Zufriedenheit</i>	Korrelationskoeffizient	1.000	-.142
	Sig. (2-tailed)	.	.239
	N	71	71
<i>Prä-OP UIVA</i>	Korrelationskoeffizient	-.142	1000
	Sig. (2-tailed)	.239	.
	N	71	72

Tabelle 30: Spearman's Korrelation zwischen der präoperativen UIVA (*uncorrected intermediate visual acuity*) und die postoperative Patientenzufriedenheit.

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der präoperativen UIVA und der postoperativen Zufriedenheit, $r_s = -.142$, $p = .239$, $n = 71$. Je besser der Visus, desto besser war die postoperative Zufriedenheit.

		<i>Zufriedenheit</i>	<i>prä-OP UNVA</i>
<i>Zufriedenheit</i>	Korrelationskoeffizient	1.000	-.112
	Sig. (2-tailed)	.	.352
	N	71	71
<i>Prä-OP UNVA</i>	Korrelationskoeffizient	-.112	1000
	Sig. (2-tailed)	.352	.
	N	71	72

Tabelle 31: Spearman's Korrelation zwischen der präoperativen UNVA (*uncorrected near visual acuity*) und die postoperative Patientenzufriedenheit.

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der präoperativen UNVA und der postoperativen Zufriedenheit, $r_s = -.112$, $p = .352$, $n = 71$. Je besser der Visus, desto besser war die postoperative Zufriedenheit.

		Zufriedenheit	prä-OP CDVA
Zufriedenheit	Korrelationskoeffizient	1.000	.079
	Sig. (2-tailed)	.	.514
	N	71	71
Prä-OP CDVA	Korrelationskoeffizient	.079	1000
	Sig. (2-tailed)	.514	.
	N	71	72

Tabelle 32: Spearman's Korrelation zwischen der präoperativen CDVA (*corrected distant visual acuity*) und die postoperative Patientenzufriedenheit.

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der präoperativen CDVA und der postoperativen Zufriedenheit, $r_s = .079$, $p = .514$, $n = 71$. Je schlechter der Visus, desto besser war die postoperative Zufriedenheit.

		Zufriedenheit	prä-OP CIVA
Zufriedenheit	Korrelationskoeffizient	1.000	0.85
	Sig. (2-tailed)	.	.480
	N	71	71
Prä-OP CIVA	Korrelationskoeffizient	.085	1000
	Sig. (2-tailed)	.480	.
	N	71	72

Tabelle 33: Spearman's Korrelation zwischen der präoperativen CIVA (*corrected intermediate visual acuity*) und die postoperative Patientenzufriedenheit.

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der präoperativen CIVA und der postoperativen Zufriedenheit, $r_s = .085$, $p = .480$, $n = 71$. Je schlechter der Visus, desto besser war die postoperative Zufriedenheit.

		Zufriedenheit	prä-OP CNVA
Zufriedenheit	Korrelationskoeffizient	1.000	.145
	Sig. (2-tailed)	.	.226
	N	71	71
Prä-OP CNVA	Korrelationskoeffizient	.145	1000

Sig. (2-tailed)	.226	.
N	71	72

Tabelle 34: Spearman's Korrelation zwischen der präoperativen CNVA (*corrected near visual acuity*) und die postoperative Patientenzufriedenheit.

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der präoperativen CNVA und der postoperativen Zufriedenheit, $r_s = .145$, $p = .226$, $n = 71$. Je schlechter der Visus, desto besser war die postoperative Zufriedenheit.

Zusammenfassend hat die präoperative Sehschärfe der Patienten in allen Abständen mit und ohne Korrektur keinen signifikanten Einfluss auf die ihre postoperative Zufriedenheit.

3.5 Phakoemulsifikation versus Nanosekundenlaser

Wie in der Methodik bereits erwähnt, wurden in unserer Studie beide Operationstechniken für die Fragmentierung und die Entfernung des Katarakts verwendet. Bei allen Patienten wurde standartmäßig und studienunabhängig eine Messung der Zahl der Endothelzellen, sowohl prä- als auch postoperativ, durchgeführt. Dank dieser Messung ist der Vergleich möglich, ob es einen Unterschied beim Verlust von Endothelzellen zwischen den beiden Operationstechniken in unserer Studie gibt. Tabelle 35 fasst die Ergebnisse zusammen:

Operationstechnik	Messung	EZM prä-OP	EZM post-OP	EZM Reduktion (%)	M-W-U Test
Nanosekundenlaser	Mittelwert	2419.37	2191.57	8.98%	
	Std.-Abweichung	288.56	397.49	11.27%	
	Augen	65	60	59	
Phakoemulsifikation	Mittelwert	2447.93	2278.71	8.01%	
	Std.-Abweichung	264.1	355.57	11.1%	
	Augen	76	70	70	p=.526
Total	Mittelwert	2434,77	2238.49	8.45%	
	Std.-Abweichung	275.01	376.55	11.14%	
	Augen	141	130	129	

Tabelle 35: Vergleich der EZM je nach Operationstechnik. Werte sind Zellen/mm². EZM = Endothelzellmessung, M-W-U-Test = Mann-Whitney-U-Test.

Die mit dem Nanosekunden-Laser operierten Augen zeigten postoperativ eine Reduktion der Endothelzellmessung von 8.98 % ± 11.27 %. Die Augen, die mit der klassischen

Phakoemulsifikation operiert wurden, zeigten postoperativ eine Reduktion der Endothelzellmessung von $8.01 \% \pm 11.1 \%$. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied bei der Endothelreduktion zwischen den beiden Operationstechniken ($p = .526$).

4 Diskussion

Im Rahmen unserer Arbeit wurden die folgenden Hypothesen untersucht:

1. Die unilaterale Implantation einer trifokalen PanOptix kombiniert mit der Implantation einer monofokalen Linse am Partnerauge ist im Vergleich zur bilateralen Implantation von trifokalen PanOptix in Bezug auf die binokulare Sehschärfe in der Ferne, der Nähe und dem intermediären Bereich ähnlich effektiv.
2. Die unilaterale Implantation der trifokalen PanOptix-IOL ermöglicht ein besseres Kontrastsehen und verursacht weniger photopische Phänomene (Halos, Blendung) als die bilaterale PanOptix-Implantation.
3. Die Patienten zeigen sowohl nach einer unilateralen als auch nach einer bilateralen PanOptix-Implantation postoperativ eine hohe Zufriedenheit und genießen eine hohe Brillenunabhängigkeit.

4.1 Visus nach unilateraler und bilateraler PanOptix-Implantation

Bei der unkorrigierten Sehschärfe konnten wir postoperativ zwischen der Studiengruppe (unilaterale PanOptix) und der Kontrollgruppe (bilaterale PanOptix) keinen signifikanten Unterschied - weder im Nah-, im Intermediär, noch im Fernvisus - messen. Bei der unkorrigierten Sehschärfe zeigte die Studiengruppe zwar einen besseren Fernvisus (Mittelwert 0.03 ± 0.09 vs. 0.06 ± 0.09 logMAR) im Vergleich zu der Kontrollgruppe. Im Gegenteil dazu zeigte die Kontrollgruppe einen besseren intermediären Visus (0.07 ± 0.13 vs. 0.08 ± 0.14 logMAR) und einen besseren Nahvisus (0.10 ± 0.12 vs. 0.11 ± 0.09 logMAR) im Vergleich zur Studiengruppe. Die Unterschiede sind in allen Bereichen statistisch nicht signifikant und der Mittelwert des Visus beider Gruppen ist praktisch identisch (siehe Tabelle 19 und Abb. 22).

Bei der korrigierten Sehschärfe hingegen konnten wir vor allem in der Ferne für die Studiengruppe einen signifikant besseren Visus messen (0.00 ± 0.07 vs. 0.02 ± 0.08 logMAR, $p = .039$). Ebenso zeigte sich bei der Studiengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe ein besserer intermediärer Visus (0.02 ± 0.07 vs. 0.05 ± 0.10 logMAR) sowie ein besserer Nahvisus (0.02 ± 0.08 vs. 0.06 ± 0.09 logMAR), jedoch ohne statistische Signifikanz (siehe Tabelle 19 und Abb. 23).

Die oben genannten Ergebnisse belegen eine ähnliche binokulare Sehschärfe für die beiden Untersuchungsgruppen in allen Bereichen mit und ohne Korrektur. Tatsächlich (außer der CDVA) zeigte sich in unserer Studie kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Sehschärfe bei allen Untersuchungsabständen. In Bezug auf die binokulare Sehschärfe scheinen die beide Implantationstechniken ähnlich effektiv zu sein, sodass die erste Hypothese als verifiziert betrachtet werden kann.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die unilaterale MIOL-Implantation mit der trifokalen PanOptix-IOL mit einer guten postoperativen binokularen Sehschärfe in allen Bereichen des Sehens einhergeht, die vergleichbar mit einer bilateralen MIOL ist.

Leider gibt es wenige vergleichbare Studien, die die unilaterale MIOL-Implantation untersucht haben. Vier solchen Studien werden in der Folge erwähnt und sie sprechen auch für eine gute postoperative Sehfunktion bei den untersuchten Patienten. Sie untersuchten allerdings Patienten mit unilateraler Katarakt (das zweite Auge bei der unilateralen Gruppe war phak) und forschten andere MIOL als die PanOptix-IOL.

Die Studie von Jacobi et al. (2002) zeigte bei der unilateralen MIOL-Gruppe mit der Array SA40-N IOL (Allergan, Irvine, CA) eine gute Sehfunktion in allen Bereichen. Besonders bei der UDVA und der CDVA gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen der unilateralen monofokalen und der unilateralen multifokalen Gruppe. Diese Studie untersuchte allerdings die Sehschärfe nur monokular und nicht binokular.

In einer älteren Studie der AMO Array MIOL (MPC 25 NB, Allergan Inc.) von Haring et al. (1999) wurden nach einer unilateralen und bilateralen Implantation dieser MIOL eine ähnliche unkorrigierte Fern- (0.27 ± 0.20 logMAR vs. 0.23 ± 0.22 logMAR) und Nahsehschärfe (0.43 ± 0.37 logMAR vs. 0.40 ± 0.37 logMAR) bei beiden Gruppen festgestellt. Die Visusergebnisse in dieser Studie sind schlechter als bei unserer Studie (siehe Tabelle 19). Dieser Unterschied könnte durch die unterschiedlichen Linsenmodelle erklärt werden.

Yoon et al. (2013) untersuchten die binokulare Sehschärfe in allen drei Abständen (Ferne, intermediärer Bereich, Nähe) mit und ohne Korrektur nach einer unilateralen MIOL-Implantation mit der diffraktiven Tecnis ZM900 IOL und einer bilateralen „*Mix and Match*“ Implantation mit der oben genannten MIOL und der refraktiven Rezoom NXG1 MIOL. Bei

dieser Studie zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Sehschärfe zwischen den beiden Gruppen.

Eine modernere Studie von Liu et al. (2022) verglich die Sehschärfe nach einer unilateralen versus bilaterale MIOL-Implantation mit der refraktiven SBL-3 (Lenstec; + 3.00 D) IOL. Hier war die unkorrigierte postoperative Sehschärfe ähnlich gut wie bei unserer Studiengruppe (UDVA 0.07 ± 0.07 logMAR, UIVA 0.06 ± 0.07 logMAR, UNVA 0.12 ± 0.07 logMAR – siehe auch Tabelle 19). Diese Studie zeigte allerdings eine signifikant bessere UNVA für die bilaterale MIOL-Gruppe (0.07 ± 0.07 versus 0.12 ± 0.07 , $P = 0.008$).

Außerdem zeigte unsere Studie, dass die standardmäßig verwendete bilaterale PanOptix-Implantation den Patienten einen guten Visus postoperativ ermöglicht. Andere Studien mit dem gleichen Typ der MIOL stimmen mit unseren Ergebnissen überein.

Die Studie von Kohnen et al. (2017) untersuchte 27 Patienten nach einer bilateralen PanOptix-Implantation und zeigte gute Visus-Ergebnisse bei allen vier gemessenen Abständen (4 m, 80 cm, 60 cm, 40 cm). Die Sehschärfe in dieser Studie betrug entsprechend 0.00 ± 0.09 logMAR (UDVA), 0.09 ± 0.11 logMAR (UIVA in 80 cm), 0.00 ± 0.11 logMAR (UIVA in 60 cm), and 0.01 ± 0.09 logMAR (UNVA) und war damit im Fern- und Nahbereich den Ergebnissen unserer Kontrollgruppe überlegen (siehe Tabelle 19).

Die Studie von Monaco et al. (2017) zeigte nach einer bilateralen PanOptix-Implantation vergleichbare UDVA und UNVA (0.00 ± 0.04 und 0.02 ± 0.06 logMAR) mit den oben genannten Befunden von Kohnen et al., aber eine schlechtere UIVA (0.23 ± 0.07 logMAR). Der UDVA und CDVA beider Studien war unserer bilateralen Gruppe überlegen. Der Grund hierfür könnte in der Untersuchungsdistanz begründet sein, da hier für beide Studien vier statt fünf Meter, wie bei unserer Studie, gewählt wurden.

Lawless et al. (2017) untersuchten 33 Patienten mit bilateraler PanOptix-Implantation und stellten im Vergleich zu unserer Kontrollgruppe eine bessere UDVA (0.01 ± 0.10 logMAR vs. 0.06 ± 0.09 logMAR) und eine schlechtere UIVA (0.30 ± 0.14 vs. 0.07 ± 0.13 logMAR) fest. Die Untersuchungsdistanz wurde hier für die Ferne nicht erwähnt und war für den intermediären Bereich 60 cm (statt 66 cm in unserer Studie). Der Unterschied der UIVA könnte am anderen untersuchten Abstand liegen. Die UNVA in dieser Studie war schließlich ähnlich wie bei unserer Studie (0.11 ± 0.04 logMAR vs. 0.10 ± 0.12 logMAR).

In einer anderen Studie von García-Perez et al. (2017) wurde bei einer bilateralen PanOptix-Gruppe eine UIVA von 0.12 ± 0.14 logMAR ermittelt - ein Ergebnis, das zwischen unserem Wert und dem von Lawless et al. (2017) liegt.

Die UDVA unserer bilateralen PanOptix-Gruppe entspricht etwa den Befunden der Studie von Escadon-Garcia et al. (2018) (0.07 ± 0.10 vs. 0.06 ± 0.09 logMAR). Diese Studie untersuchte leider nur den Fernvisus, sodass die entsprechenden Messungen im intermediären und Nahbereich fehlen. Die Studie von Mencucci et al. (2018) hat bei einer bilateralen PanOptix-Gruppe eine UIVA (0.07 ± 0.04 logMAR) und eine UNVA (0.15 ± 0.05 logMAR), die den Ergebnissen unserer Kontrollgruppe ähneln (siehe Tabelle 19).

Zusammenfassend ergeben all diese Studien, dass die Sehfunktion nach einer bilateralen PanOptix-Implantation zu einer guten binokularen Sehschärfe in allen Bereichen führt.

4.1.1 Fernvisus: Überlegenheit der unilateralen Gruppe?

In unseren Ergebnissen fällt vor allem auf, dass die Patienten mit unilateraler PanOptix-Implantation eine bessere (un)korrigierte Sehschärfe in der Ferne als die Patienten mit einer bilateralen PanOptix-Implantation zeigten. Der Unterschied der CDVA war sogar statistisch signifikant (siehe Tabelle 19).

Leider sind nicht viele Studien bekannt, die eine unilaterale mit einer bilateralen MIOL-Implantation vergleichen, bekannt. So geben Häring et al. (1999) in ihrer Studie mit der refraktiven Array MIOL bei der unilateralen MIOL-Gruppe lediglich die monokulare und nicht die binokulare Sehschärfe an. Ähnlich vergleichen Cionni et al. (2009) den Fernvisus der beiden unilateralen MIOL-Gruppen mit der AcrySof ReSTOR IOL mit keiner bilateralen MIOL-Gruppe.

Studien, deren Design unserer Studie ähnelt, verglichen eine Gruppe mit bilateraler MIOL-Implantation mit einer Gruppe mit einseitiger MIOL und einem phaken Partnerauge. Zwei dieser Studien sind uns bekannt und deren Ergebnisse zeigen - im Gegenteil zu unseren Ergebnissen - keine Überlegenheit der unilateralen Gruppe hinsichtlich der (un)korrigierten Fern-Sehschärfe.

Bei der ersten Studie verglichen Yoon et al. (2013), wie oben erwähnt, die unilaterale MIOL-Implantation mit der diffraktiven Tecnis ZM900 IOL (Abbott Medical Optics, Inc.) mit einer

bilateralen „Mix and Match“-Technik (diffraktive Tecnis ZM900 + refraktive Rezoom NXG1 IOL). Der UDVA war für die beiden Gruppen identisch (unilaterale Gruppe 0.10 ± 0.13 , bilaterale Gruppe 0.10 ± 0.18 , $p = .574$).

Bei der zweiten Studie fanden Liu et al. (2022) bei der refraktiven SBL-3-IOL (LensteC; +3.00D) MIOL im Vergleich zu unseren Ergebnissen sowohl für die unilaterale als auch für die bilaterale MIOL-Gruppe eine ähnliche Sehschärfe heraus. Bei dieser Studie zeigte sich allerdings kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der UDVA (0.05 ± 0.07 vs. 0.07 ± 0.07 logMAR, $p = .274$) und CDVA (0.02 ± 0.05 vs. 0.03 ± 0.05 logMAR, $p = .993$) zwischen den beiden Gruppen.

Hier gilt es sicher zu bedenken, dass das phake Partnerauge der unilateralen MIOL-Gruppe Einfluss auf den ermittelten postoperativen binokularen Fernvisus hat. Bei unserer Studie war das Partnerauge der unilateralen PanOptix-Gruppe pseudophak mit einer monofokalen IOL und zeigte vielleicht aus diesem Grund einen besseren Fernvisus als das phake Auge der beiden oben genannten Studien (Liu et al., 2022; Yoon et al., 2013). Außerdem hat keine dieser Studien die PanOptix-IOL untersucht. Unsere Ergebnisse können ein Hinweis darauf sein, dass vor allem bei der CDVA die unilaterale MIOL-Implantation in Kombination mit einer monofokalen IOL am Partnerauge mit einem besseren binokularen Fernvisus einhergeht - im Vergleich zur bilateralen MIOL-Implantation.

Anzumerken ist, dass die unilaterale PanOptix-Gruppe bei unserer Studie präoperativ einen statistisch signifikant besseren korrigierten Fernvisus im Vergleich zur bilateralen Gruppe zeigte (0.29 ± 0.15 vs. 0.38 ± 0.21 , $*p = .026$). Es könnte argumentiert werden, dass diese präoperative Überlegenheit die postoperative Sehschärfe zugunsten der unilateralen Gruppe beeinflusst hat. Jedoch war der präoperative Visus der unilateralen Gruppe auch bei anderen Messungen (UDVA, UIVA, CDVA, CIVA) überlegen und es zeigte sich kein signifikant besserer postoperativer Outcome.

Kim et al. (2020) in ihrer Studie der Tecnis ZMB00 MIOL formulierten eine unilaterale MIOL-Gruppe mit einer monofokalen IOL am Partnerauge. Dabei war das Partnerauge voroperiert. Diese Studie zeigte eine binokulare UDVA von 0.07 ± 0.11 logMAR und eine CDVA 0.02 ± 0.12 logMAR. Die Ergebnisse ähneln unseren - allerdings mit einem etwas schlechterem Mittelwert (siehe Tabelle 19). Hier wurde jedoch die binokulare Sehschärfe der unilateralen MIOL-Gruppe nicht mit einer Gruppe mit bilateralen MIOL verglichen.

Um das Ergebnis der CDVA unserer Studie weiter zu diskutieren, wird nun an Studien, die unilateral MIOL versus monofokalen IOL vergleichen, gewendet. In einer solchen Studie verglichen Law et al. (2020) die Bi-Flex 677MY MIOL mit der monofokalen Bi-Flex 677AB IOL. Sowohl die UDVA (0.09 ± 0.11 vs. 0.10 ± 0.09 logMAR) als auch die CDVA (0.01 ± 0.07 vs. 0.04 ± 0.06 logMAR) der monofokalen IOL-Gruppe waren besser im Vergleich zu der MIOL-Gruppe, aber statistisch nicht signifikant ($p > 0.05$).

Im Gegensatz zu den Befunden von Law et al. stellten Altemir-Gomez et al. (2020) in ihrer Studie keine Überlegenheit zugunsten der monofokalen IOL hinsichtlich des Fernvisus fest. Die UDVA betrug bei der monofokalen Gruppe (Tecnis ZCB00) 0.04 ± 0.11 logMAR und bei der multifokalen (ZMB00) 0.02 ± 0.10 logMAR. Die CDVA war -0.02 ± 0.06 und -0.02 ± 0.08 logMAR entsprechend. Es muss erwähnt werden, dass in dieser Studie die MIOL-Gruppe deutlich größer war als die monofokale (78 versus 44 Patienten). Eine Studie im Bereich der RLE mit der trifokalen AT Lisa 839M IOL (Brito et al., 2015) zeigte ebenso keine Überlegenheit zugunsten der monofokalen IOL in der Ferne.

Es ist von besonderem Interesse zu untersuchen, wie die Ergebnisse des Fernvisus bei Studien sind, die die PanOptix IOL binokular implantiert mit monofokalen IOL binokular vergleichen. Monaco et al. (2017) verglichen die bilaterale PanOptix IOL mit einer bilateralen monofokalen IOL-Implantation. Sie fanden vergleichbare UDVA und CDVA für beide Gruppen. Gleiche Ergebnisse zeigt die Studie von Imburgia et al. (2022), die monokular die PanOptix IOL mit der monofokalen asphärischen IQ SN60WF verglich. Bamdad et al. (2022) haben bei der PanOptix Gruppe sogar eine bessere UDVA im Vergleich zu der monofokalen IOL gemessen (0.00 ± 0.00 vs. 0.07 ± 0.04 logMAR).

Schlussfolgernd aus der Literatursuche, scheinen Studien mit binokularer MIOL-Implantation (sowohl von PanOptix als von anderen trifokalen Linsenmodellen) die monofokale IOL-Implantation hinsichtlich des Fernvisus nicht zu favorisieren. Die Metanalyse von Cao et al. (2019) erbrachte ebenso keinen Beweis für eine bessere UDVA und CDVA von monofokalen IOL im Vergleich zu refraktiven oder diffraktiven MIOL.

4.1.2 Nahvisus: Überlegenheit der bilateralen Gruppe?

Hinsichtlich der unkorrigierten postoperativen Sehschärfe in der Nähe zeigte unsere Kontrollgruppe eine bessere UIVA (0.07 ± 0.13 vs. 0.08 ± 0.14 logMAR) und eine bessere UNVA (0.10 ± 0.12 vs. 0.11 ± 0.09 logMAR) im Vergleich zur Studiengruppe. Die Ergebnisse

waren statistisch nicht signifikant, aber sie deuten darauf hin, dass die bilaterale im Vergleich zur unilateralen MIOL-Implantation eine bessere Funktion im Nahbereich ermöglicht.

Anderen Studien im Bereich der unilateralen MIOL-Implantation scheinen dieses Ergebnis zu stützen. Bei der oben genannten Studie von Liu et al. (2022) waren der (un)korrigierter intermediärer und der Nahvisus der bilateralen MIOL-Gruppe besser im Vergleich zu der unilateralen MIOL-Gruppe. Besonders die UNVA und CIVA waren statistisch signifikant besser ($p=.008$ und $p=.03$ entsprechend). Die Studie von Yoon et al. (2013) zeigte auch für die bilaterale MIOL-Gruppe eine bessere UIVA und UNVA, wenn auch statistisch nicht signifikant.

Die Überlegenheit einer bilateralen MIOL-Implantation verglichen mit monofokaler IOL bilateral hinsichtlich der intermediären und Nahsehschärfe wurde bereits in der Einleitung diskutiert. Studien mit der PanOptix IOL (Imburgia et al., 2022; Monaco et al., 2017) zeigen ebenso klar eine bessere Nahfunktion bei trifokalen MIOL versus monofokaler IOL.

4.2 Kontrastsehen und photopische Phänomene

Um den Wahrheitsgehalt der zweiten Hypothese zu untersuchen, wird diese in zwei Subthemen gespaltet. Zuerst wird das Kontrastsehen unserer beiden Gruppen miteinander verglichen und danach folgt der Vergleich der photopischen Phänomene.

4.2.1 Kontrastsehen

Tabelle 21 beschreibt die Ergebnisse der Messungen des Kontrastsehens mit dem CSV-1000-Gerät. Das Kontrastsehen der Studiengruppe ist in unserer Studie in allen Spatial-Frequenzen mit und ohne Blendung besser als das der Kontrollgruppe. Zudem ist dieser Unterschied bei allen Bedingungen, außer der photopischen Messung mit Blendung in 6 cpd, statistisch signifikant.

Zusammenfassend ist in unserer Studie das Kontrastsehen der Patienten nach einer unilateralen PanOptix-Implantation, gemessen mit dem CSV-1000-Gerät, signifikant besser als nach einer bilateralen PanOptix-Implantation. Somit können wir den ersten Teil der zweiten Hypothese verifizieren.

Andere Studien, die die bilaterale PanOptix-Implantation untersuchten, kommen zu ähnlichen Werten des Kontrastsehens mit uns. Escandon-Garcia et al. (2018) fanden in photopischen Bedingungen ohne Blendung in 3, 6, 12 und 18 cpd Werten von 1.7, 1.6, 1.45 und 0.96 (umgewandelt) in logCS. Diese Ergebnisse ähneln diese unserer unilateralen Gruppe. Die entsprechenden Ergebnisse von Vilar et al. (2017) waren etwas schlechter (1.6, 1.7, 1.2 und 0.65 logCS) und ähneln diese unserer Kontrollgruppe (für unsere Werte siehe Tabelle 21). Von diesen beiden Studien verwendeten allerdings nur Vilar et al. das CSV-1000-Vector-Vision-Gerät für die Messung des Kontrastsehens.

Alfonso et al. (2016) untersuchten zwar eine andere trifokale Linse binokular (AT Lisa tri 839 MP IOL), sie verwendeten aber das CSV-1000-Gerät für die Messung des Kontrastsehens in 3, 6, 12 und 18 cpd. Sie fanden etwas bessere Ergebnisse zum photopischen Kontrastsehen (1.75, 1.9, 1.55, 1.2 logCS) wie wir.

Befunde von anderen Studien mit unilateraler MIOL-Implantation fanden auch eine Überlegenheit ihrer unilateralen Gruppe hinsichtlich des Kontrastsehens im Vergleich zur bilateralen Gruppe. Liu et al. (2022) untersuchten das Kontrastsehen mit dem OPTEC 6500 Vision-Tester Gerät (Stereo Optical Co., Inc., Chicago, IL, USA) bei den gleichen mit uns Bedingungen. In dieser Studie zeigten die Patienten mit unilateraler SBL-3 MIOL-Implantation ein besseres Kontrastsehen im Vergleich zur bilateralen MIOL-Implantation, allerdings waren ihre Ergebnisse im Gegensatz zu den unseren nicht signifikant. Hier auch ähnelten die Werten des Kontrastsehens bei der unilateralen Gruppe (ohne Blendung 1.7, 1.6, 1.0 und 0.6 logCS – mit Blendung 1.75, 1.65, 1.1 und 0.6 logCS) unseren Werten.

In der Studie von Cionni et al. (2009) wurde das gleiche Gerät wie in unserer Studie (CSV-1000) für die Messung des Kontrastsehens verwendet. Damit wurden statistisch signifikante Unterschiede bei der Messung (teilweise zugunsten der unilateralen MIOL-Subgruppen im Vergleich zu der bilateralen Gruppe) bei photopischen Bedingungen und in mesopischen Bedingungen mit Blendung festgestellt.

Andere Studien mit unilateralen MIOL-Gruppen, die bereits erwähnt wurden, liefern keine zusätzlichen verwendbaren Informationen. Die Studie von Yoon et al. (2013) untersuchte lediglich das monokulare Kontrastsehen zwischen den beiden verschiedenen MIOL-Modellen und verglich nicht die unilaterale mit der bilateralen MIOL-Gruppe. Häring et al. (1999) und Jacobi et al. (2002) untersuchten das Kontrastsehen nicht.

Es fällt auf, dass die beiden Studien (Liu et al. 2022, Cionni et al. 2009), die das Kontrastsehen untersucht haben, sowie unsere Studie, zum selben Ergebnis kommen. Das Kontrastsehen scheint nach einer unilateralen MIOL-Implantation besser zu sein als nach einer bilateralen. Doch warum ist das so?

Vermutlich liegt dies am besseren Kontrastsehen des Auges mit der monofokalen IOL. De Vries und Nuijts (2013) erklärten den physikalischen Hintergrund für diesen Unterschied. In unserer Studie wurde lediglich das binokulare Kontrastsehen der Patienten postoperativ gemessen und nicht das monokulare Kontrastsehen von jedem Auge getrennt. Dieser monokulare Vergleich könnte die Ursache für den Unterschied erklären. Er wurde in anderen Studien angestellt.

So führten Mayer et al. (2008) einen Vergleich des Kontrastsehens zwischen einer monofokalen IOL und einer MIOL (Acrysof ReSTOR SA60D3 -Alcon) unilateral durch. Bei dieser Studie wurde das Kontrastsehen nur bei mesopischen Bedingungen gemessen. Der monokulare Vergleich nach zwei Monaten zeigte für die monofokale IOL ein statistisch signifikant besseres Kontrastsehen im Vergleich zur MIOL ($p < 0.05$).

Vingolo et al. (2007) verglichen monokular 100 Augen mit der bifokalen Acrysof Restor-IOL mit 40 Augen mit einer monofokalen IOL. Sie stellten (mit dem Vision Monitor MonCRS WIN800D-Metrovision-Gerät) ein statistisch signifikant schlechteres Kontrastsehen bei der Restor-IOL-Gruppe im dynamischen photopischen Programm fest ($p < .05$).

Kim et al. (2020) hingegen haben bei dem Vergleich der diffraktiven Tecnis ZMB00 MIOL mit der monofokalen IOL-Variante der gleichen Firma zwar ein besseres Kontrastsehen für das monofokale Auge gemessen, der Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant.

Beim Vergleich des Kontrastsehens zwischen MIOL und monofokalen IOL bilateral sprechen die Ergebnisse ebenfalls für eine Überlegenheit der monofokalen IOL. Imburgia et al. (2022) berichteten über ein signifikant besseres Kontrastsehen bei der monofokalen Acrysof-IOL im Vergleich zur multifokalen RayOne-T-IOL und PanOptix-IOL in allen getesteten Spatial-Frequenzen. Altermir-Gamez et al. (2020) weisen in einer Studie der Tecnis IOL (monofokale ZCB00 und multifokale ZMB00) ein besseres Kontrastsehen bei der monofokalen Gruppe nach. In dieser Studie war lediglich der Unterschied in 3 cpd bei der photopischen Messung statistisch signifikant.

Zusätzlich wurde in unserer Studie das mesopische Kontrastsehen (Dämmerungssehen) mit dem Oculus-Mesotest II gemessen (siehe Tabelle 22). Der Mittelwert der Messung ohne Blendung und mit Blendung war für beiden Gruppen wie folgt: Die unilaterale PanOptix-Gruppe zeigte bei der Messung ohne Blendung einen besseren Mittelwert als die bilaterale Gruppe (1.79 versus 1.59 – entspricht der Kontraststufe 1:5). Beide Gruppen zeigten bei der Messung mit Blendung den gleichen Mittelwert von 1.21. (entspricht der Kontraststufe 1:23). Außerdem zeigte sich sowohl ohne als auch mit Blendung, postoperativ kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .657$ und $p = .902$ entsprechend).

Anders als unter photopischen Bedingungen konnten wir also unter mesopischen Bedingungen (gemessen mit dem Oculus-Mesotest II) keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen messen - trotz den besseren Ergebnissen der unilateralen Gruppe ohne Blendung. Dies kann an der Verteilung der Daten des Mesotests liegen, da die große Mehrheit der Patienten bei diesem Test ernste Schwierigkeiten hatte, die Optotypen auch bei der höchsten Kontraststufe (1:23) zu erkennen. Sie wurden daher mit 0 bewertet (siehe Abb. 57, Anhang 2).

Nur wenige MIOL-Studien untersuchten das Kontrastsehen unter mesopischen Bedingungen mit dem Oculus-Mesotest-II. Eine Studie (Lenton, 2018) der trifokalen AT LISA tri 839MP (CZM, Jena, Germany) bei Piloten zeigte jedoch bei der MIOL-Gruppe ein signifikant schlechteres Kontrastsehen beim Mesotest II als bei einer monofokalen IOL-Gruppe ($p < .025$).

4.2.2 Photopische Phänomene

Die Auswertung unserer Fragebögen hinsichtlich der Blendung ergab, dass 78.1 % der unilateralen PanOptix-Gruppe keine oder minimale Blendung, 12.5 % eine mäßige und 9.4 % eine ernste Blendung wahrgenommen haben. Bei der bilateralen PanOptix-Gruppe haben 68.4 % keine oder minimale Blendung, 21.1 % eine mäßige und 10.5 % eine ernste Blendung wahrgenommen (siehe Tabelle 27). Damit ist der Anteil der Patienten ohne oder mit wenig Blendung bei der unilateralen Gruppe um 9.8 % größer als bei der bilateralen Gruppe. Scheinbar wurde die Studiengruppe weniger durch Blendung gestört, jedoch zeigen beide Gruppen den gleichen Mittelwert (1.03, Skala 0-3) und es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = .847$, siehe Tabelle 24).

Halos wurde bei der unilateralen PanOptix-Gruppe zu 87.9 % gar nicht oder minimal, zu 9.1 % mäßig und zu 3.0 % stark wahrgenommen. Bei der bilateralen PanOptix-Gruppe waren die

entsprechende Prozentsätze 78.4 %, 13.5 % und 8.1 % (siehe Tabelle 27). Insgesamt wurde stark störende Halos in beiden Gruppen selten angegeben. Die bilaterale PanOptix-Gruppe empfand subjektiv leicht mehr Halos (Mittelwert 0.78 versus 0.5, Skala 0-3). Es zeigte sich aber kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .329$, siehe Tabelle 24).

Schlussfolgend zeigte die unilaterale PanOptix-Gruppe in unserer Studie postoperativ zwar weniger photopische Phänomene als die bilaterale Gruppe, jedoch war dieser Unterschied nicht statistisch signifikanter. Der zweite Teil der zweiten Hypothesen wird also mithilfe des Fragebogens nicht bestätigt.

Eine unilaterale MIOL-Implantation scheint also nicht mit statistisch signifikant weniger photopischen Phänomenen als die bilaterale MIOL-Implantation verbunden zu sein. Auch viele Studien, die unilateral mit bilateral MIOL verglichen haben, kamen zu diesem Ergebnis (Liu et al., 2022; Yoon et al., 2013).

Andere Studien fanden hingegen weniger photopische Phänomene bei der unilateralen Gruppe. Bei der Studie von Cionni et al. (2009) gab die bilaterale Gruppe häufiger Halos an als die unilaterale Gruppe. Allerdings zeigte sich wie bei unserer Studie kein statistisch signifikanter Unterschied. Die bilaterale Gruppe äußerte aber signifikant häufiger mehr Schwierigkeiten mit Blendung zu haben ($p < .006$). Außerdem fanden Fernandez-Garcia et al. (2021) bei ihrem Vergleich einer unilateralen mit einer bilateralen MIOL in RLE mehr photopischen Phänomenen bei der bilateralen Gruppe. Hier war der Unterschied nicht signifikant.

In einem Vergleich zwischen unilateraler MIOL-Implantation mit unilateraler monofokalen IOL bei Patienten mit unilateraler Katarakt fanden Hayashi et al. (2013) bei der MIOL-Gruppe (mit Restor +3.0D unilateral) signifikant mehr Halos als bei der monofokalen IOL-Gruppe ($p < .0199$). Hinsichtlich der Blendung zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Zuletzt verglichen Ukai et al. (2021) in einer Studie die photopischen Phänomene (Halos, Blendung und *Starburst*) zwischen PanOptix, EDOF Symphony und monofokaler IOL. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich der Blendung und Starburst. Diese Studie widerspricht damit der bisher etablierten Ansicht (de Silva et al. 2016), dass MIOL mit mehr photopischen Phänomenen einhergehen als die monofokale IOL.

Schlussfolgernd aus der Literatursuche, bleibt das Thema umstritten, ob eine unilaterale MIOL-Implantation mit weniger photopischen Phänomenen als eine bilaterale MIOL-Implantation einhergeht.

4.3 Postoperative Zufriedenheit und Brillenunabhängigkeit

4.3.1 Postoperative Zufriedenheit

Laut den Ergebnissen des Fragebogens waren kumulativ 84.9 % der Patienten in der unilateralen PanOptix-Gruppe und 86.5 % der Patienten in der bilateralen PanOptix-Gruppe zufrieden oder sehr zufrieden (siehe Tabelle 25). Eine ähnliche postoperative Zufriedenheit (88 %) stellten Levinger et al. (2019) in ihrer Studie nach einer unilateralen MIOL-Implantation einer trifokalen diffractiven FineVision Micro-F-MIOL bei Patienten nach RLE fest.

Die postoperative Zufriedenheit in beiden Gruppen unserer Studie zeigte den gleichen Mittelwert 3.61 (Skala von 1- 4, Tabelle 24), ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen war nicht messbar ($p = .864$). Unsere Patienten waren also mit beiden Implantationsschemata ähnlich zufrieden.

Die anderen Studien, die eine unilaterale mit einer bilateralen MIOL-Implantation verglichen und zusätzlich die postoperative Zufriedenheit evaluiert haben, stimmen ebenfalls mit unseren Ergebnissen überein. Cionni et al. (2009) und Liu et al. (2022) sahen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der unilateralen und der bilateralen MIOL-Gruppe.

Bei der Studie von Fernandez-Garcia et al. (2021) waren 92 % der Patienten der unilateralen Gruppe und 93.5 % der bilateralen Gruppe nach der Operation zufrieden und würden die Operation gern wiederholen. Hier zeigte sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Ein Blick auf die Studien, in denen eine bilaterale PanOptix-Implantation untersucht wurde, zeigt ein vergleichbares Zufriedenheitsniveau zu unserer bilateralen Gruppe. Viele Studien testeten nicht die allgemeine postoperative Zufriedenheit, sondern die subjektive Störung der Patienten von verschiedenen Parametern, z.B. von photopischen Phänomenen und unscharfem Sehen, und zogen indirekte Schlussfolgerungen bezüglich der Zufriedenheit.

Hier seien zwei Studien genannt, die einen Vergleich zu unseren Werten ermöglichen. Bei der Studie von Imburgia et al. (2022) wurde die Zufriedenheit in verschiedenen Fragen gemessen (getrennt für Visus in jedem Abstand und für photopische Phänomene). Für die PanOptix-Gruppe lag die Zufriedenheit in diesen Fragen zwischen 91.5 % und 100 %. Und in der Studie von Garcia-Perez et al. (2017) waren insgesamt 96.6 % der Patienten nach bilateraler PanOptix sehr oder relativ zufrieden. Bei unserer Studie war die entsprechende Zufriedenheit etwas geringer. Sie lag bei 86.5 %.

Schlussfolgend aus unseren Ergebnissen und der Literatursuche, wird das erste Teil unserer dritten Hypothese verifiziert.

4.3.2 Postoperative Brillenunabhängigkeit

In unserer Studie brauchten 96.8 % der Gefragten der unilateralen PanOptix-Gruppe und 97.3 % der bilateralen PanOptix-Gruppe nie oder selten eine Fernbrille. Nur 3 % der unilateralen Gruppe und 2.7 % der bilateralen Gruppe benutzen manchmal eine Fernbrille und keiner nutzt immer eine Fernbrille (siehe Tabelle 26). Somit lässt sich feststellen, dass sowohl die unilaterale als auch die bilaterale PanOptix Implantation eine sehr hohe Abhängigkeit von einer Fernbrille bieten. Der Unterschied zwischen unseren beiden Gruppen war nicht signifikant ($p = .562$).

Liu et al. (2022) fanden auch eine hohe Unabhängigkeit von einer Fernbrille für die unilaterale (84.3 %) und die bilaterale SBL-3-MIOL-Gruppe (85.7 %). Sie erreichte aber nicht das Niveau unserer Studie.

Hinsichtlich des Gebrauches einer Computerbrille scheint die bilaterale PanOptix-Gruppe der unilateralen überlegen zu sein. Bei der unilateralen PanOptix-Gruppe brauchen kumulativ 75.8 % der Patienten nie oder selten, 12.1 % manchmal und 12.1 % oft eine Computerbrille. Kein Patient dieser Gruppe muss immer eine Computerbrille tragen. Bei der bilateralen Gruppe brauchen kumulativ 91,9 % der Patienten nie oder selten, nur 2.7 % manchmal, 2.7 % oft und 2.7 % immer eine Computerbrille (siehe Tabelle 26). Beide Implantationsschemata bieten also eine hohe Brillenunabhängigkeit im intermediären Bereich (75.8 % der Patienten mit unilateraler PanOptix und 91.9 % der Patienten mit bilateraler PanOptix). Ein Vergleich zwischen den beiden Gruppen zeigte, dass die unilaterale Gruppe häufiger eine Computerbrille braucht als die bilaterale Gruppe. Der Unterschied ist statistisch signifikant ($p = .018$, siehe Tabelle 24).

Die Ergebnisse der Studie von Liu et al. (2022) ähneln hinsichtlich der Brillenunabhängigkeit im intermediären Bereich (78 % für die unilaterale versus 83.7 % für die bilaterale Gruppe) unseren Ergebnissen. Unsere bilaterale MIOL-Gruppe zeigte allerdings eine höhere Brillenunabhängigkeit (91.9%). Bei Fernandez-Garcia et al. (2021) gaben hingegen nur 2% der Patienten mit unilateraler Fine-Vision-MIOL eine Brillennotwendigkeit im intermediären Bereich an. Diese Ergebnisse unterscheiden sich deutlich von unseren.

Die Überlegenheit der bilateralen PanOptix-Implantation wird bei der Verwendung einer Nahbrille postoperativ in unserer Studie noch deutlicher. Bei der unilateralen Gruppe brauchen über die Hälfte der Patienten (60.6 %) kumulativ nie oder selten eine Nahbrille, ein Fünftel (21.2 %) braucht manchmal und etwa ein Fünftel (18.2 %) oft eine Nahbrille. Bei der bilateralen Gruppe benötigt die große Mehrheit der Patienten (89.2 %) kumulativ nie oder selten eine Nahbrille und nur ein Zehntel (10.2 %) manchmal, oft oder immer eine Nahbrille (siehe Tabelle 26). Die Ergebnisse nach einer bilateralen PanOptix-Implantation sprechen für eine höhere Unabhängigkeit von einer Brille im Nahbereich als bei der unilateralen Implantation und auch dieser Unterschied ist statistisch signifikant ($p < .001$).

Liu et al. (2022) bewiesen eine höhere Brillenunabhängigkeit für die Nähe für die unilaterale SBL-3-MIOL-Gruppe im Vergleich zu unserer Studie (75 %). Bei der Studie von Fernandez-Garcia et al. (2021) benötigen nur 6 % der Patienten nach unilateraler Fine-Vision-MIOL-Implantation eine Nahbrille. Die höhere Brillenunabhängigkeit für die Nähe in diesen zwei Studien könnte durch das zweite nicht-operierte (pseudophake) Auge der Patienten, das eine entsprechende Akkommodationsleistung hat, begründet sein. In unserer Studie war das zweite Auge der Patienten pseudophak und hatte deswegen keine Akkommodationsfähigkeit mehr.

Allerdings stehen die Ergebnisse von Studien mit einer Kombination von MIOL und monofokalen IOL für die unilaterale Gruppe in Einklang mit unseren Befunden. Cionni et al. (2009) belegten eine allgemeine Brillenunabhängigkeit von 56 % für die unilaterale Acrysof ReSTOR-MIOL-Gruppe und 77 % für die bilaterale ReSTOR-Gruppe. Ähnliche Ergebnisse zeigte die Studie von Yoon et al. (2013). Hier 57 % der Patienten der unilateralen Gruppe mit der Tecnis ZM900-IOL tragen nie eine Brille und 43 % nur manchmal.

Allerdings wurden bei einer Studie mit einer unilateralen ReSTOR MIOL-Implantation und einem pseudophaken Partnerauge (Mayer et al., 2008) bei 67 % der Patienten eine Nahbrille

verschrieben. Die Patienten dieser Studie gaben aber zu, dass sie diese Brille nur gelegentlich (zum längeren Lesen) benutzen.

Hinsichtlich der Brillenunabhängigkeit nach bilateraler PanOptix-Implantation (in unserer Studie kumulativ 97.3% für die Ferne, 91.9% für den intermediären Bereich und 89.2% für die Nähe) zeigte die Studie von Monaco et al. (2017) vergleichbare Ergebnisse (90% für die Ferne, 100% für den intermediären Bereich und 90% für die Nähe) zu unseren.

Einige Studien zeigten jedoch eine niedrigere Brillenunabhängigkeit. Bei der Studie von Kohnen et al. (2020) waren 80 % der Patienten nach bilateraler PanOptix-Implantation brillenfrei, bei der Studie von Cochener et al. (2018) waren 85 % der bilateralen PanOptix-Gruppe brillenunabhängig. Chang et al. (2014) stellten fest, dass die bilaterale Implantation von ZMBOO (Tecnis) MIOL bei 82 % der Patienten mit einer allgemeinen Brillenfreiheit einhergeht.

Die höhere Brillenunabhängigkeit unserer bilateralen PanOptix-Gruppe im Vergleich zur unilateralen PanOptix-Gruppe steht im Zusammenhang mit den Ergebnissen der unkorrigierten Sehschärfe der beiden Gruppen, die vorher diskutiert wurden. Die bilaterale PanOptix-Gruppe zeigte eine bessere UIVA und UNVA im Vergleich zur unilateralen Gruppe. Der Unterschied war hier statistisch nicht signifikant, wie es beim Brillengebrauch (Computer- und Nahbrille) der Fall ist. Diese zwei Parameter (Sehschärfe und Brillengebrauch) kombiniert sprechen für eine Überlegenheit der bilateralen PanOptix-Implantation im intermediären und Nahbereich.

Darüber hinaus gibt es in unserer Studie auch andere Daten, die auf das gleiche Resultat hindeuten. Erstens haben die Patienten der unilateralen Gruppe bei der postoperativen Beurteilung der Alltagstätigkeiten eine signifikant höhere Störung durch unscharfes Sehen in der Nähe im Vergleich zur bilateralen Gruppe ($p = 0.04$). Zweitens haben die Patienten der unilateralen Gruppe postoperativ signifikant häufiger Schwierigkeiten beim Lesen im Vergleich zur bilateralen Gruppe ($p = .007$).

Schlussfolgernd wurde die dritte Hypothese mithilfe der oben genannten Ergebnisse verifiziert. Die Patientenzufriedenheit war postoperativ sehr hoch und auch vergleichbar bei den beiden Gruppen der Studie. Außerdem zeigt die Patienten beider Gruppen eine hohe Brillenunabhängigkeit. Allerdings war die Brillenunabhängigkeit bei der bilateralen PanOptix-Gruppe für den intermediären Bereich und Nahbereich signifikant höher.

4.4 Alltagstätigkeiten

In unserer Studie gaben beide Gruppen eine ähnliche subjektive Bewertung bei den meisten Alltagstätigkeiten an. Hinsichtlich der Tätigkeiten: Fernsehen, Spielen oder Arbeiten draußen, Spielen mit Kindern, Ablesen der Uhrzeit an der Armbanduhr oder an der Wanduhr, Ausführen von Hobbys, Ausführen des Jobs, Teilnahme an sozialen Veranstaltungen, Autofahren (allgemein, nachts und beim Regen), Computerarbeit, Umgang mit dem Handy, Schminken, Rasieren, Kochen und Einkaufen zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied.

Die einzigen beiden Tätigkeiten, die einen Unterschied zeigten, waren das Lesen und Naharbeiten und der Sport. Die Patienten der unilateralen Gruppe PanOptix hatten postoperativ signifikant öfter Schwierigkeiten beim Lesen und beim Naharbeiten im Vergleich zur bilateralen PanOptix-Gruppe ($p = .007$). Unsere Ergebnisse stimmen den Befunden von Akman et al. (2019) zu. Und umgekehrt hatten die Patienten der bilateralen PanOptix-Gruppe postoperativ signifikant öfter Schwierigkeiten beim Sport im Vergleich zu der unilateralen PanOptix-Gruppe ($p = .04$).

4.5 Titmus-Test

Der Mittelwert des Stereosehens war in unserer Studie 267.88 Winkelsekunden für die unilaterale und 244.67 für die bilaterale Gruppe. Andere Studien stellten ein besseres Ergebnis des Stereosehens fest. Cionni et al. (2009) fanden ein Stereosehen von 60 Winkelsekunden bei der bilateralen ReSTOR und 80 Winkelsekunden bei der unilateralen ReSTOR-Gruppe. Varon et al. (2014) stellten bei ihren MIOL-Gruppen ein Stereosehen von 40-60 Winkelsekunden fest.

Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied könnte der unterschiedliche Untersuchungsabstand bei der Durchführung des Tests sein. Bei unserer Studie führten die Patienten den Titmus-Test in einem präferierten Abstand – und nicht in einem festen Abstand vom 40 cm wie bei den anderen Studien - durch. Ferrer-Blanco et al. (2011) argumentieren, dass der Test des Stereosehens strikt in einem Abstand von 40cm durchgeführt werden sollte und dass bereits eine leichte Abweichung des Untersuchungsabstandes zu stark unterschiedlichen Werten führt.

Hinsichtlich des Stereosehens zeigte in unserer Studie die bilaterale PanOptix-Gruppe bessere Ergebnisse in Titmus-Test im Vergleich zur unilateralen Gruppe (siehe Tabelle 23). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war allerdings statistisch nicht signifikant ($p = .65$).

Andere Studien mit unilateraler MIOL-Implantation passen zu unseren Ergebnissen. Haring et al. (1999) fanden ähnliche Werten für die beiden Gruppen (unilaterale versus bilaterale Array MPC 26 MB-MIOL) beim Titmus-Test heraus. Die Studie von Liu et al. (2022) zeigte ebenso keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Stereosehen zwischen unilaterale und bilaterale SBL-3-MIOL-Implantation.

Außerdem wurden die Patienten in unserer Studie gezielt im Fragebogen nach ihrer subjektiven Störung bei der Tiefenwahrnehmung gefragt. Auch hier zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = .613$, siehe Tabelle 24). Dank dieser Ergebnisse lässt sich feststellen, dass die unilaterale PanOptix-Implantation, hinsichtlich des Stereosehens, im Vergleich zur bilateralen Implantation nicht benachteiligt wird.

Ein signifikanter Unterschied wäre vielleicht zu vermuten aufgrund des schlechten Nahsehens des Auges mit der monofokalen IOL (keine Akkommodationsfähigkeit). Chen et al. (2011) fanden tatsächlich bei ihrer MIOL-Gruppe (ReZoom-NXG1-IOL und Tecnis ZM900-IOL) ein besseres Stereosehen als bei der monofokalen Gruppe (AR40e-IOL bilateral). Und Cionni et al. (2009) belegten bei ihrer unilateralen MIOL-Gruppe (mit einseitiger Acrysof ReSTOR-IOL) ein signifikant schlechteres Stereosehen ($p = .0005$) im Vergleich zu der bilateralen ReSTOR-IOL-Gruppe.

4.6 Nanosekundenlaser

Als letztes Thema der Diskussion wird kurz der Einfluss der Operationstechnik (Phakoemulsifikation versus Nanosekunden-Laser) auf den Endothelzellverlust postoperativ diskutiert. Es wurde angegeben, dass die Katarakt-Extraktion mit der Nanosekundenlaser-Technologie mit einer protektiven Wirkung auf das Hornhautendothel, im Vergleich zu der klassischen Phakoemulsifikation, einhergeht (Tanev et al., 2016).

Bei unseren Probanden wurde im Rahmen der Katarakt-Behandlung die Endothelzellzahl mittels EZM prä- und postoperativ gemessen. Von diesen zwei Messungen konnte prozentuell der Zellverlust kalkuliert und zwischen den beiden Operationstechniken verglichen werden (siehe Tabelle 35). Der Endothelzellverlust lag bei der Nanosekunden-Laser-Gruppe (33 Patienten) bei $8.98\% \pm 11.27\%$ und bei der Phakoemulsifikations-Gruppe (39 Patienten) bei $8.01\% \pm 11.1\%$. Der gemessene Verlust war in beiden Gruppen identisch und es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = .526$).

Unsere Daten konnten keinen Einfluss der Operationstechnik auf den Endothelzellverlust zeigen. Die Studie von Juhas et al. (2019) zeigte auch keinen Unterschied zwischen den beiden Techniken hinsichtlich des Zustandes des postoperativen Hornhautendothels. Um eine sichere Schlussfolgerung ziehen zu können, werden allerdings langfristige Ergebnisse zum Endothelverlust (6 Monaten, 12 Monaten, 24 Monaten) benötigt, die bei unserer Studie fehlen. Außerdem argumentieren Tanev et al. (2016), dass eine Formanalyse der Endothelzellen und nicht ihre Zahl ein sensitiverer Indikator der Endothelschädigung ist. Es sollten also, laut der Autoren, eher die Größe und die Morphologie der Endothelzellen betrachtet werden, was die Ziele unserer Studie überschreitet.

4.7 Schlussfolgerung

In unserer Studie stellt sich das Prinzip der unilateralen MIOL-Implantation (mit der trifokalen PanOptix-IOL) bei Patienten mit bilateraler Katarakt vor. Bei der Studie wurden alle wichtigen Parameter der Sehfunktion untersucht, wie Sehschärfe, Kontrastsehen, Dämmerungssehen, dreidimensionales Sehen, photopische Phänomene, Brillengebrauch und subjektive Zufriedenheit.

Unsere Ergebnisse zeigen eine gute binokulare Sehschärfe (korrigiert und unkorrigiert) bei der unilateralen PanOptix-Gruppe in allen Bereichen des Sehens, die auch vergleichbar mit der entsprechenden Sehschärfe der bilateralen PanOptix-Gruppe ist. Insbesondere war bei der CDVA die Messung bei der unilateralen Gruppe statistisch signifikant besser.

Beim photopischen Kontrastsehen zeigte die unilaterale PanOptix-Gruppe klare Vorteile gegenüber der bilateralen Gruppe und die Ergebnisse in fast allen Bedingungen waren statistisch signifikant. Diese Überlegenheit der unilateralen Gruppe gilt allerdings für das Dämmerungssehen und das dreidimensionale Sehen nicht. Bei diesen beiden Tests zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

Im Bereich der postoperativen photopischen Phänomenen gaben die Patienten beider Gruppen ein vergleichbares und niedriges Niveau von Störungen an. Die unilaterale Gruppe gab etwas seltener Halo und Blendung an, der Unterschied war allerdings statistisch nicht signifikant. Das Erledigen von übrigen Alltagstätigkeiten mit den neuen Linsen war ähnlich einfach für beide Gruppen.

Darüber hinaus war die Mehrheit der Patienten der unilateralen PanOptix-Gruppe im Alltag brillenunabhängig. Der Anteil dieser Unabhängigkeit (nie oder selten eine Brille) erreicht für die Ferne 96.1 %, für den intermediären Bereich 75.8 % und für den Nahbereich 60.6 %. Die Brillenunabhängigkeit für den intermediären Bereich und den Nahbereich war zwar bei der bilateralen PanOptix-Gruppe signifikant höher, trotzdem genießen laut unserer Studie auch Patienten nach einer unilateralen trifokalen IOL-Implantation postoperativ eine hohe Brillenunabhängigkeit.

Die oben genannten Ergebnisse sprechen für eine sehr gute postoperative Sehfunktion bei Patienten nach einer unilateralen PanOptix-Implantation. Die Patienten zeigen zudem eine sehr hohe allgemeine postoperative Zufriedenheit (84.9 %), die vergleichbar mit der der bilateralen Implantation (86.5 %) ist.

Schlussfolgernd stellt sich die einseitige PanOptix-Implantation als eine gute Alternative zu anderen Implantationsschemata vor, wie zum Beispiel die Monovision und die Implantation von EDOF-Linsen. Die einseitige PanOptix-Implantation kann auch in manchen Aspekten, wie die UNVA, diesen anderen Implantationsschemata überlegen sein.

Bei der Studie von Hayashi et al. (2018) zeigte die Monovision-Gruppe eine UNVA von 0.64 logMAR. Unsere unilaterale PanOptix-Implantation belegte eine deutlich bessere Sehschärfe in der Nähe von 0.11 ± 0.09 logMAR.

Im Bereich der EDOF-IOL zeigte die Studie von Jeon et al. (2021) bei der Tecnis Symphony ZXR00 IOL der Firma Johnson and Johnson eine UNVA von 0.32 ± 0.11 logMAR. Kohnen et al. (2022) maßen bei der nicht diffraktiven Vivity EDOF-IOL der Firma Alcon eine UNVA von 0.25 ± 11 logMAR. Unsere unilaterale PanOptix-Gruppe zeigte im Vergleich zu diesen beiden EDOF-IOL eine bessere UNVA (0.11 ± 0.09 logMAR).

Die Ergebnisse unserer Studie können Katarakt-Chirurgen im klinischen Alltag mit der Entscheidung unterstützen, welches IOL-Model für ihren Patienten geeignet ist. Diese klinische Anwendung bezieht sich besonders auf spezielle Fälle, wie Patienten mit einseitiger Katarakt und Patienten, die unilateral mit einer monofokalen IOL voroperiert sind und aktuell eine Katarakt am nicht operierten Auge entwickelt haben. Wenn diese Patienten hohe Motivation für Brillenunabhängigkeit haben, kommt die unilaterale PanOptix-Implantation ebenfalls infrage. Andere Kandidaten für eine unilaterale PanOptix IOL sind Patienten mit einer hohen Motivation für Brillenunabhängigkeit und gleichzeitig gutem postoperativen Kontrastsehen, wie zum Beispiel die Berufskraftfahrer.

Unsere Studie hat allerdings Limitationen. Die Studie war keine blinde randomisierte Studie, weil die unterschiedlichen Patientenwünsche die Entscheidung des Implantationsschemas präoperativ beeinflusst haben. Die Ergebnisse der unilateralen PanOptix-Gruppe wurden

zudem in unserer Studie nur mit einer bilateralen PanOptix-Gruppe und nicht mit einer EDOF-Gruppe verglichen. Außerdem fehlt bei unserer Studie ein langfristiger (12 Monaten, 24 Monaten) Vergleich zwischen den beiden Gruppen.

Um die Schlussfolgerung der Studie verallgemeinern zu können, sind weitere Studien notwendig. Diese zukünftigen Studien können das Prinzip der unilateralen MIOL mit anderen MIOL-Modellen - außer der PanOptix-IOL - untersuchen, einen Vergleich zwischen Gruppen, die blind und randomisiert formuliert sind, durchführen und die unilaterale MIOL-Implantation gezielt mit EDOF-Linsen und mit der Monovision vergleichen.

5 Literatur- und Quellenverzeichnis

5.1 Originalarbeiten - Übersichtsarbeiten

- Akman, A., Asena, L., Ozturk, C., & Gur Gungor, S. (2019). Evaluation of quality of life after implantation of a new trifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 45(2), 130-134. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.12.003>
- Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turk J Emerg Med*, 18(3), 91-93. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
- Alfonso, J. F., Fernandez-Vega Cueto, L., Belda-Salmeron, L., Montes-Mico, R., & Fernandez-Vega, L. (2016). Visual function after implantation of a diffractive aspheric trifocal intraocular lens. *Eur J Ophthalmol*, 26(5), 405-411. <https://doi.org/10.5301/ejo.5000741>
- Alfonso, J. F., Fernandez-Vega, L., Puchades, C., & Montes-Mico, R. (2010). Intermediate visual function with different multifocal intraocular lens models. *J Cataract Refract Surg*, 36(5), 733-739. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.11.018>
- Alio, J. L., Yebana, P., Canto, M., Plaza, A. B., Vega, A., Alio Del Barrio, J. L., & Lugo, F. (2020). Clinical outcomes with a new design in multifocal intraocular lens: a pilot study. *Eye Vis (Lond)*, 7, 38. <https://doi.org/10.1186/s40662-020-00205-3>
- Altemir-Gomez, I., Millan, M. S., Vega, F., Bartol-Puyal, F., Gimenez-Calvo, G., Larrosa, J. M., Polo, V., Pablo, L. E., & Garcia-Martin, E. (2020). Comparison of visual and optical quality of monofocal versus multifocal intraocular lenses. *Eur J Ophthalmol*, 30(2), 299-306. <https://doi.org/10.1177/1120672119827858>
- Ang, M., Evans, J. R., & Mehta, J. S. (2014). Manual small incision cataract surgery (MSICS) with posterior chamber intraocular lens versus extracapsular cataract extraction (ECCE) with posterior chamber intraocular lens for age-related cataract. *Cochrane Database Syst Rev*(11), CD008811. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008811.pub3>
- Apple, D. J., Mamalis, N., Loftfield, K., Googe, J. M., Novak, L. C., Kavka-Van Norman, D., Brady, S. E., & Olson, R. J. (1984). Complications of intraocular lenses. A historical and histopathological review. *Surv Ophthalmol*, 29(1), 1-54. [https://doi.org/10.1016/0039-6257\(84\)90113-9](https://doi.org/10.1016/0039-6257(84)90113-9)
- Asare, F. A., Anderson, R. S., Mulholland, P. J., & Little, J. A. (2022). Mesopic conditions optimise the detection of visual function loss in drivers with simulated media opacity. *Sci Rep*, 12(1), 13165. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17448-w>
- Asbell, P. A., Dualan, I., Mindel, J., Brocks, D., Ahmad, M., & Epstein, S. (2005). Age-related cataract. *Lancet*, 365(9459), 599-609. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)17911-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)17911-2)
- Auffarth, G. U., Hunold, W., Breitenbach, S., Wesendahl, T. A., & Mehdorn, E. (1993). [Long-term results of contrast perception and glare sensitivity in patients with diffraction multifocal lenses]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 203(5), 336-340. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1045687> (Langzeitergebnisse für Kontrastsehvermögen und Blendungsempfindlichkeit bei Patienten mit diffraktiven Multifokallinsen.)
- Auffarth, G. U., Rabsilber, T. M., Kohnen, T., & Holzer, M. P. (2008). [Design and optical principles of multifocal lenses]. *Ophthalmologe*, 105(6), 522-526. <https://doi.org/10.1007/s00347-008-1744-9> (Design und optische Prinzipien von Multifokallinsen.)

- Bamdad, S., Ahmad Razavizadegan, S., Farvardin, M., & Mohaghegh, S. (2022). Vision-related Quality of Life after Bilateral Implantation of Monofocal and Multifocal Intraocular Lenses. *J Ophthalmic Vis Res*, 17(1), 19-26. <https://doi.org/10.18502/jovr.v17i1.10166>
- Baumeister, M., & Kohnen, T. (2008). [Accommodation and presbyopia : part 1: physiology of accommodation and development of presbyopia]. *Ophthalmologie*, 105(6), 597-608; quiz 609-510. <https://doi.org/10.1007/s00347-008-1761-8> (Akkommodation und Presbyopie : Teil 1: Physiologie der Akkommodation und Entwicklung der Presbyopie.)
- Bilbao-Calabuig, R., Gonzalez-Lopez, F., Amparo, F., Alvarez, G., Patel, S. R., & Llovet-Osuna, F. (2016). Comparison Between Mix-and-Match Implantation of Bifocal Intraocular Lenses and Bilateral Implantation of Trifocal Intraocular Lenses. *J Refract Surg*, 32(10), 659-663. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20160630-01>
- Blindness, G. B. D., Vision Impairment, C., & Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease, S. (2021). Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health*, 9(2), e144-e160. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7)
- Boerner, C. F., & Thrasher, B. H. (1984). Results of monovision correction in bilateral pseudophakes. *J Am Intraocul Implant Soc*, 10(1), 49-50. [https://doi.org/10.1016/s0146-2776\(84\)80077-4](https://doi.org/10.1016/s0146-2776(84)80077-4)
- Bohm, M., Petermann, K., Hemkepler, E., & Kohnen, T. (2019). Defocus curves of 4 presbyopia-correcting IOL designs: Diffractive panfocal, diffractive trifocal, segmental refractive, and extended-depth-of-focus. *J Cataract Refract Surg*, 45(11), 1625-1636. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2019.07.014>
- Breyer, D. R. H., Beckers, L., Ax, T., Kaymak, H., Klabe, K., & Kretz, F. T. A. (2020). [Current Review: Multifocal Intraocular Lenses and Extended Depth of Focus Intraocular Lenses]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 237(8), 943-957. <https://doi.org/10.1055/a-1111-9380> (Aktuelle Übersicht: multifokale Linsen und Extended-Depth-of-Focus-Intraokularlinsen.)
- Brito, P., Salgado-Borges, J., Neves, H., Gonzalez-Mejome, J., & Monteiro, M. (2015). Light-distortion analysis as a possible indicator of visual quality after refractive lens exchange with diffractive multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 41(3), 613-622. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.07.033>
- Cao, K., Friedman, D. S., Jin, S., Yusufu, M., Zhang, J., Wang, J., Hou, S., Zhu, G., Wang, B., Xiong, Y., Li, J., Li, X., He, H., Chai, L., & Wan, X. H. (2019). Multifocal versus monofocal intraocular lenses for age-related cataract patients: a system review and meta-analysis based on randomized controlled trials. *Surv Ophthalmol*, 64(5), 647-658. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2019.02.012>
- Carson, D., Hill, W. E., Hong, X., & Karakelle, M. (2014). Optical bench performance of AcrySof((R)) IQ ReSTOR((R)), AT LISA((R)) tri, and FineVision((R)) intraocular lenses. *Clin Ophthalmol*, 8, 2105-2113. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S66760>
- Cervino, A., Hosking, S. L., Montes-Mico, R., & Alio, J. L. (2008). Retinal straylight in patients with monofocal and multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 34(3), 441-446. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.11.021>
- Chang, J. S., Ng, J. C., Chan, V. K., & Law, A. K. (2014). Visual outcomes and patient satisfaction after refractive lens exchange with a single-piece diffractive multifocal intraocular lens. *J Ophthalmol*, 2014, 458296. <https://doi.org/10.1155/2014/458296>

- Chen, M., & Chen, M. (2010). A study of monofocal intraocular lens (Acrysof) in mini-monovision (MMV) and premium multifocal implantation of ResTOR. *Clin Optom*, 2, 1-3.
- Chen, W., Meng, Q., Ye, H., & Liu, Y. (2011). Reading ability and stereoacuity with combined implantation of refractive and diffractive multifocal intraocular lenses. *Acta Ophthalmol*, 89(4), 376-381. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2009.01702.x>
- Chiam, P. J., Chan, J. H., Haider, S. I., Karia, N., Kasaby, H., & Aggarwal, R. K. (2007). Functional vision with bilateral ReZoom and ReSTOR intraocular lenses 6 months after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 33(12), 2057-2061. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.07.029>
- Chua, B. E., Mitchell, P., & Cumming, R. G. (2004). Effects of cataract type and location on visual function: the Blue Mountains Eye Study. *Eye (Lond)*, 18(8), 765-772. <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6701366>
- Chylack, L. T., Jr., Wolfe, J. K., Singer, D. M., Leske, M. C., Bullimore, M. A., Bailey, I. L., Friend, J., McCarthy, D., & Wu, S. Y. (1993). The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol*, 111(6), 831-836. <https://doi.org/10.1001/archopht.1993.01090060119035>
- Cionni, R. J., Osher, R. H., Snyder, M. E., & Nordlund, M. L. (2009). Visual outcome comparison of unilateral versus bilateral implantation of apodized diffractive multifocal intraocular lenses after cataract extraction: prospective 6-month study. *J Cataract Refract Surg*, 35(6), 1033-1039. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.02.018>
- Claessen, H., Genz, J., Bertram, B., Trautner, C., Giani, G., Zollner, I., & Icks, A. (2012). Evidence for a considerable decrease in total and cause-specific incidences of blindness in Germany. *Eur J Epidemiol*, 27(7), 519-524. <https://doi.org/10.1007/s10654-012-9705-7>
- Claessen, H., Kvitkina, T., Narres, M., Trautner, C., Bertram, B., & Icks, A. (2020). Markedly decreasing incidence of cause-specific blindness in Saxony (Eastern Germany). *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-04885-4>
- Cochener, B., Boutillier, G., Lamard, M., & Auberger-Zagnoli, C. (2018). A Comparative Evaluation of a New Generation of Diffractive Trifocal and Extended Depth of Focus Intraocular Lenses. *J Refract Surg*, 34(8), 507-514. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20180530-02>
- Daniel, M. C., Bohringer, D., Reinhard, T., & Lang, S. J. (2019). [The Role of Hospitals in the Treatment of Patients with Cataract in Germany: Systematic Analysis of the Quality Reports of German Hospitals for the Years 2006 to 2016]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 236(8), 964-968. <https://doi.org/10.1055/a-0838-5734> (Die Bedeutung der Krankenhauser für die Versorgung von Patienten mit Katarakt in Deutschland: Systematische Auswertung der Krankenhausqualitätsberichte der Jahre 2006 bis 2016.)
- Davison, J. A., & Simpson, M. J. (2006). History and development of the apodized diffractive intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 32(5), 849-858. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.02.006>
- Day, A. C., Gore, D. M., Bunce, C., & Evans, J. R. (2016). Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound phacoemulsification cataract surgery. *Cochrane Database Syst Rev*, 7, CD010735. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010735.pub2>
- de Silva, S. R., Evans, J. R., Kirthi, V., Ziaei, M., & Leyland, M. (2016). Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction. *Cochrane Database Syst Rev*, 12, CD003169. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003169.pub4>

- de Vries, N. E., & Nuijts, R. M. (2013). Multifocal intraocular lenses in cataract surgery: literature review of benefits and side effects. *J Cataract Refract Surg*, 39(2), 268-278. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.12.002>
- de Vries, N. E., Webers, C. A., Touwslager, W. R., Bauer, N. J., de Brabander, J., Berendschot, T. T., & Nuijts, R. M. (2011). Dissatisfaction after implantation of multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 37(5), 859-865. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.11.032>
- Dias Costa, F., Ferdinandusse, S., Pinto, C., Dias, A., Keldermans, L., Quelhas, D., Matthijs, G., Mooijer, P. A., Diogo, L., Jaeken, J., & Garcia, P. (2017). Galactose Epimerase Deficiency: Expanding the Phenotype. *JIMD Rep*, 37, 19-25. https://doi.org/10.1007/8904_2017_10
- Dodick, J. M. (1991). Laser phacolysis of the human cataractous lens. *Dev Ophthalmol*, 22, 58-64. <https://doi.org/10.1159/000419901>
- Drexler, W., Baumgartner, A., Findl, O., Hitzenberger, C. K., & Fercher, A. F. (1997). Biometric investigation of changes in the anterior eye segment during accommodation. *Vision Res*, 37(19), 2789-2800. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(97\)00066-7](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(97)00066-7)
- Escandon-Garcia, S., Ribeiro, F. J., McAlinden, C., Queiros, A., & Gonzalez-Meijome, J. M. (2018). Through-Focus Vision Performance and Light Disturbances of 3 New Intraocular Lenses for Presbyopia Correction. *J Ophthalmol*, 2018, 6165493. <https://doi.org/10.1155/2018/6165493>
- Evans, B. J. (2007). Monovision: a review. *Ophthalmic Physiol Opt*, 27(5), 417-439. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2007.00488.x>
- Fan, C., Zhang, D., & Zhang, C. H. (2011). On sample size of the kruskal-wallis test with application to a mouse peritoneal cavity study. *Biometrics*, 67(1), 213-224. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2010.01407.x>
- Fernandez-Garcia, J. L., Llovet-Rausell, A., Ortega-Usobiaga, J., Bilbao-Calabuig, R., Llovet-Osuna, F., Druchkiv, V., & Arias-Puente, A. (2021). Unilateral Versus Bilateral Refractive Lens Exchange With a Trifocal Intraocular Lens in Emmetropic Presbyopic Patients. *Am J Ophthalmol*, 223, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.09.044>
- Ferrer-Blasco, T., Madrid-Costa, D., Garcia-Lazaro, S., Cervino, A., & Montes-Mico, R. (2011). Stereopsis in bilaterally multifocal pseudophakic patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 249(2), 245-251. <https://doi.org/10.1007/s00417-010-1558-8>
- Finkelman, Y. M., Ng, J. Q., & Barrett, G. D. (2009). Patient satisfaction and visual function after pseudophakic monovision. *J Cataract Refract Surg*, 35(6), 998-1002. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.01.035>
- Foster, G. J. L., Allen, Q. B., Ayres, B. D., Devgan, U., Hoffman, R. S., Khandelwal, S. S., Snyder, M. E., Vasavada, A. R., Yeoh, R., Ascrs Cataract Clinical Committee, C., & Complex Cataract Surgery, S. (2018). Phacoemulsification of the rock-hard dense nuclear cataract: Options and recommendations. *J Cataract Refract Surg*, 44(7), 905-916. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.03.038>
- Franco, S., Silva, A. C., Carvalho, A. S., Macedo, A. S., & Lira, M. (2010). Comparison of the VCTS-6500 and the CSV-1000 tests for visual contrast sensitivity testing. *Neurotoxicology*, 31(6), 758-761. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2010.06.004>
- Garcia-Perez, J. L., Gros-Otero, J., Sanchez-Ramos, C., Blazquez, V., & Contreras, I. (2017). Short term visual outcomes of a new trifocal intraocular lens. *BMC Ophthalmol*, 17(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s12886-017-0462-y>

- Gatinel, D., & Houbrechts, Y. (2013). Comparison of bifocal and trifocal diffractive and refractive intraocular lenses using an optical bench. *J Cataract Refract Surg*, 39(7), 1093-1099. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.01.048>
- Greenbaum, S. (2002). Monovision pseudophakia. *J Cataract Refract Surg*, 28(8), 1439-1443. [https://doi.org/10.1016/s0886-3350\(02\)01218-x](https://doi.org/10.1016/s0886-3350(02)01218-x)
- Hamdi, I. M. (2019). Subjective Perception Of Trifocal IOL Performance, Including Toric Models. *Clin Ophthalmol*, 13, 1955-1961. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S223062>
- Haring, G., Dick, H. B., Krummenauer, F., Weissmantel, U., & Kroncke, W. (2001). Subjective photic phenomena with refractive multifocal and monofocal intraocular lenses. results of a multicenter questionnaire. *J Cataract Refract Surg*, 27(2), 245-249. [https://doi.org/10.1016/s0886-3350\(00\)00540-x](https://doi.org/10.1016/s0886-3350(00)00540-x)
- Haring, G., Gronemeyer, A., Hedderich, J., & de Decker, W. (1999). Stereoacuity and aniseikonia after unilateral and bilateral implantation of the Array refractive multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 25(8), 1151-1156. [https://doi.org/10.1016/s0886-3350\(99\)00136-4](https://doi.org/10.1016/s0886-3350(99)00136-4)
- Hasche, H., Gockeln, R., & de Decker, W. (2001). [The Titmus Fly Test--evaluation of subjective depth perception with a simple finger pointing trial. Clinical study of 73 patients and probands]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 218(1), 38-43. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11259> (Die Titmus-Fliege--Beurteilung der subjektiven Sehtiefe mit einem einfachen Fingerzeigeversuch. Klinische Studie an 73 Patienten und Probanden.)
- Hayashi, K., Manabe, S., Yoshimura, K., & Hirata, A. (2013). Binocular visual function with a diffractive multifocal intraocular lens in patients with unilateral cataract. *J Cataract Refract Surg*, 39(6), 851-858. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.01.030>
- Hayashi, K., Yoshida, M., Sasaki, H., & Hirata, A. (2018). Binocular visual function of myopic pseudophakic monovision. *Jpn J Ophthalmol*, 62(3), 357-364. <https://doi.org/10.1007/s10384-018-0564-y>
- Hoffer, K. J., & Savini, G. (2016). Comparison of AL-Scan and IOLMaster 500 Partial Coherence Interferometry Optical Biometers. *J Refract Surg*, 32(10), 694-698. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20160712-03>
- Holladay, J. T., Piers, P. A., Koranyi, G., van der Mooren, M., & Norrby, N. E. (2002). A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. *J Refract Surg*, 18(6), 683-691. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12458861>
- Imburgia, A., Gaudenzi, F., Mularoni, K., Mussoni, G., & Mularoni, A. (2022). Comparison of clinical performance and subjective outcomes between two diffractive trifocal intraocular lenses (IOLs) and one monofocal IOL in bilateral cataract surgery. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 27(2), 41. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2702041>
- Ito, M., & Shimizu, K. (2009). Reading ability with pseudophakic monovision and with refractive multifocal intraocular lenses: comparative study. *J Cataract Refract Surg*, 35(9), 1501-1504. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.03.051>
- Jaanus, S. D. (1991). Drug-related cataract. *Optom Clin*, 1(2), 143-157. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1799824>
- Jacobi, P. C., Dietlein, T. S., Luke, C., & Jacobi, F. K. (2002). Multifocal intraocular lens implantation in presbyopic patients with unilateral cataract. *Ophthalmology*, 109(4), 680-686. [https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(01\)01029-6](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(01)01029-6)
- Javitt, J. C., & Steinert, R. F. (2000). Cataract extraction with multifocal intraocular lens implantation: a multinational clinical trial evaluating clinical, functional, and quality-of-life outcomes. *Ophthalmology*, 107(11), 2040-2048. [https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(00\)00368-7](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(00)00368-7)

- Jeon, Y. J., Yoon, Y., Kim, T. I., & Koh, K. (2021). Comparison Between an Intraocular Lens With Extended Depth of Focus (Tecnis Symphony ZXR00) and a New Monofocal Intraocular Lens With Enhanced Intermediate Vision (Tecnis Eyhance ICB00). *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 10(6), 542-547.
<https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000439>
- Joo, J. H., & Kim, T. G. (2021). Comparison of corneal endothelial cell changes after phacoemulsification between type 2 diabetic and nondiabetic patients. *Medicine (Baltimore)*, 100(35), e27141. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000027141>
- Juhas, T., & Juhas MI, T. (2019). Nanolaser in cataract surgery and its impact on corneal endothelium. *Cesk Slov Oftalmol*, 75(5), 268-271. <https://doi.org/10.31348/2019/5/4> (Nanolaser v chirurgii katarakty a jeho vplyv na endotel rohovky.)
- Kanclerz, P., Toto, F., Grzybowski, A., & Alio, J. L. (2020). Extended Depth-of-Field Intraocular Lenses: An Update. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 9(3), 194-202.
<https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000296>
- Kanellopoulos, A. J., Dodick, J. M., Brauweiler, P., & Alzner, E. (1999). Dodick photolysis for cataract surgery: early experience with the Q-switched neodymium: YAG laser in 100 consecutive patients. *Ophthalmology*, 106(11), 2197-2202.
[https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(99\)90505-5](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(99)90505-5)
- Kayukawa, K., Kitazawa, K., Wakimasu, K., Patel, S. V., Bush, J., Sotozono, C., & Kinoshita, S. (2020). Long-Term Maintenance of Corneal Endothelial Cell Density After Corneal Transplantation. *Cornea*, 39(12), 1510-1515.
<https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000002386>
- Keates, R. H., Pearce, J. L., & Schneider, R. T. (1987). Clinical results of the multifocal lens. *J Cataract Refract Surg*, 13(5), 557-560. [https://doi.org/10.1016/s0886-3350\(87\)80114-1](https://doi.org/10.1016/s0886-3350(87)80114-1)
- Khairallah, M., Kahloun, R., Bourne, R., Limburg, H., Flaxman, S. R., Jonas, J. B., Keeffe, J., Leasher, J., Naidoo, K., Pesudovs, K., Price, H., White, R. A., Wong, T. Y., Resnikoff, S., Taylor, H. R., & Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease, S. (2015). Number of People Blind or Visually Impaired by Cataract Worldwide and in World Regions, 1990 to 2010. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 56(11), 6762-6769. <https://doi.org/10.1167/iovs.15-17201>
- Kim, J. Y., Lee, Y., Won, H. J., Jeong, H., Park, J. H., Kim, M. J., & Tchah, H. (2020). Diffractive multifocal intraocular lens implantation in patients with monofocal intraocular lens in the contralateral eye. *Int J Ophthalmol*, 13(5), 737-743.
<https://doi.org/10.18240/ijo.2020.05.07>
- Kim, M. J., Zheleznyak, L., Macrae, S., Tchah, H., & Yoon, G. (2011). Objective evaluation of through-focus optical performance of presbyopia-correcting intraocular lenses using an optical bench system. *J Cataract Refract Surg*, 37(7), 1305-1312.
<https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.03.033>
- Kim, T. K., & Park, J. H. (2019). More about the basic assumptions of t-test: normality and sample size. *Korean J Anesthesiol*, 72(4), 331-335.
<https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00292>
- Knorz, M. C. (2020). [Presbyopia Correction with Intraocular Lenses]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 237(2), 213-223. <https://doi.org/10.1055/a-1023-9859> (Presbyopiekorrektur mittels Linsensystemen.)
- Koelbing, H. M. (1985). [Boldness and caution: Jacques Daviel's approach to cataract extraction (1745-1752)]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 186(3), 235-238.
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1050913> (Kuhnheit und Umsicht: Jacques Daviels Weg zur Star-Extraktion (1745-1752).)

- Kohnen, T. (2015). First implantation of a diffractive quadrafocal (trifocal) intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 41(10), 2330-2332. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2015.11.012>
- Kohnen, T., Herzog, M., Hemkepler, E., Schonbrunn, S., De Lorenzo, N., Petermann, K., & Bohm, M. (2017). Visual Performance of a Quadrifocal (Trifocal) Intraocular Lens Following Removal of the Crystalline Lens. *Am J Ophthalmol*, 184, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.09.016>
- Kohnen, T., & Klaproth, O. K. (2008). [Aspheric intraocular lenses]. *Ophthalmologe*, 105(3), 234-240. <https://doi.org/10.1007/s00347-008-1718-y> (Aspharische intraokularlinsen.)
- Kohnen, T., Lwowski, C., Hinzelmann, L., Ahmad, W., Petermann, K., Hemkepler, E., Pawlowicz, K., & Bohm, M. (2020). Presbyopia Correction in Astigmatic Eyes Using a Toric Trifocal Intraocular Lens With Quadrifocal Technology. *J Refract Surg*, 36(10), 638-644. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20200729-04>
- Kohnen, T., Marchini, G., Alfonso, J. F., Bala, C., Cochener, B., Martinez, A., & Carreno, E. (2020). Innovative trifocal (quadrifocal) presbyopia-correcting IOLs: 1-year outcomes from an international multicenter study. *J Cataract Refract Surg*, 46(8), 1142-1148. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000232>
- Kohnen, T., Nuijts, R., Levy, P., Haefliger, E., & Alfonso, J. F. (2009). Visual function after bilateral implantation of apodized diffractive aspheric multifocal intraocular lenses with a +3.0 D addition. *J Cataract Refract Surg*, 35(12), 2062-2069. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.08.013>
- Kohnen, T., Petermann, K., Bohm, M., Hemkepler, E., Ahmad, W., Hinzelmann, L., Pawlowicz, K., Jandewerth, T., & Lwowski, C. (2022). Nondiffractive wavefront-shaping extended depth-of-focus intraocular lens: visual performance and patient-reported outcomes. *J Cataract Refract Surg*, 48(2), 144-150. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000826>
- Kohnen, T., & Suryakumar, R. (2020a). Extended depth-of-focus technology in intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 46(2), 298-304. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000109>
- Kohnen, T., & Suryakumar, R. (2020b). Measures of visual disturbance in patients receiving extended depth-of-focus or trifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000364>
- Krishnacharya, P. S. (2014). Study on accommodation by autorefraction and dynamic refraction in children. *J Optom*, 7(4), 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2014.07.001>
- Law, E. M., Aggarwal, R. K., Buckhurst, H., Kasaby, H. E., Marsden, J., Shum, G., & Buckhurst, P. J. (2020). Visual function and subjective perception of vision after bilateral implantation of monofocal and multifocal IOLs: a randomized controlled trial. *J Cataract Refract Surg*, 46(7), 1020-1029. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000210>
- Lawless, M., Hodge, C., Reich, J., Levitz, L., Bhatt, U. K., McAlinden, C., Roberts, K., & Roberts, T. V. (2017). Visual and refractive outcomes following implantation of a new trifocal intraocular lens. *Eye Vis (Lond)*, 4, 10. <https://doi.org/10.1186/s40662-017-0076-8>
- Lee, C. M., & Afshari, N. A. (2017). The global state of cataract blindness. *Curr Opin Ophthalmol*, 28(1), 98-103. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000340>
- Lenton, L. (2018). Visual performance in a flight simulator: multifocal intraocular lenses in pilots. *BMJ Open Ophthalmol*, 3(1), e000139. <https://doi.org/10.1136/bmjophth-2017-000139>
- Levinger, E., Levinger, S., Mimouni, M., Trivizki, O., Levinger, N., Barequet, I. S., & Rabina, G. (2019). Unilateral Refractive Lens Exchange with a Multifocal Intraocular

- Lens in Emmetropic Presbyopic Patients. *Curr Eye Res*, 44(7), 726-732.
<https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1591460>
- Leyland, M., & Zinicola, E. (2003). Multifocal versus monofocal intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review. *Ophthalmology*, 110(9), 1789-1798.
[https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(03\)00722-X](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(03)00722-X)
- Li, J., Tripathi, R. C., & Tripathi, B. J. (2008). Drug-induced ocular disorders. *Drug Saf*, 31(2), 127-141. <https://doi.org/10.2165/00002018-200831020-00003>
- Lian, H., Ma, W., Wei, Q., & Yuan, X. (2020). A comparative study on early vision quality after implantation of refractive segmental and diffractive multifocal intraocular lens. *Pak J Med Sci*, 36(7), 1607-1612. <https://doi.org/10.12669/pjms.36.7.3364>
- Lindstrom, R. L. (1993). Food and Drug Administration study update. One-year results from 671 patients with the 3M multifocal intraocular lens. *Ophthalmology*, 100(1), 91-97.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8433834>
- Liu, J. P., Zhang, F., Zhao, J. Y., Ma, L. W., & Zhang, J. S. (2013). Visual function and higher order aberration after implantation of aspheric and spherical multifocal intraocular lenses: a meta-analysis. *Int J Ophthalmol*, 6(5), 690-695.
<https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2013.05.27>
- Liu, Y., Lan, Q., Sun, T., Tang, C., Yang, T., Duan, H., Liu, R., & Qi, H. (2022). Binocular visual function after unilateral versus bilateral implantation of segmented refractive multifocal intraocular lenses: a pilot study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 260(4), 1205-1213. <https://doi.org/10.1007/s00417-021-05496-3>
- Loffing, F. (2022). Raw Data Visualization for Common Factorial Designs Using SPSS: A Syntax Collection and Tutorial. *Front Psychol*, 13, 808469.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.808469>
- Lundstrom, M., Barry, P., Henry, Y., Rosen, P., & Stenevi, U. (2012). Evidence-based guidelines for cataract surgery: guidelines based on data in the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery database. *J Cataract Refract Surg*, 38(6), 1086-1093. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.03.006>
- Mangione, C. M., Lee, P. P., Gutierrez, P. R., Spritzer, K., Berry, S., Hays, R. D., & National Eye Institute Visual Function Questionnaire Field Test, I. (2001). Development of the 25-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire. *Arch Ophthalmol*, 119(7), 1050-1058. <https://doi.org/10.1001/archophth.119.7.1050>
- Martens, J. B. (2021). Comparing experimental conditions using modern statistics. *Behav Res Methods*, 53(3), 1240-1261. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01471-8>
- Mauschitz, M. M., Li, J. Q., Larsen, P. P., Koberlein-Neu, J., Holz, F. G., Breteler, M. M. B., & Finger, R. P. (2019). [Epidemiology of severe visual impairment and blindness of old people in Germany]. *Ophthalmologe*, 116(2), 201-212.
<https://doi.org/10.1007/s00347-019-0853-y> (Epidemiologie hochgradiger Sehbehinderungen und Blindheit alterer Menschen in Deutschland.)
- Mautner, V. F., Hazim, W., Pohlmann, K., Berger, R., Kluwe, L., & Haase, W. (1996). [Ophthalmologic spectrum of neurofibromatosis type 2 in childhood]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 208(1), 58-62. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1035169>
(Ophthalmologisches Spektrum der Neurofibromatose Typ 2 im Kindesalter.)
- Mayer, S., Bohm, T., Haberle, H., Pham, D. T., & Wirbelauer, C. (2008). [Combined implantation of monofocal and multifocal intraocular lenses for presbyopia correction in cataract patients]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 225(9), 812-817.
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1027604> (Kombinierte Implantation einer Mono- und einer Multifokallinse zur Presbyopiekorrektur bei Kataraktpatienten.)
- McNeely, R. N., Moutari, S., Palme, C., & Moore, J. E. (2020). Visual Outcomes and Subjective Experience After Combined Implantation of Extended Depth of Focus and

- Trifocal IOLs. *J Refract Surg*, 36(5), 326-333. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20200318-01>
- 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(6), 1033-1040. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.02.037>
- Monaco, G., Gari, M., Di Censo, F., Poscia, A., Ruggi, G., & Scialdone, A. (2017). Visual performance after bilateral implantation of 2 new presbyopia-correcting intraocular lenses: Trifocal versus extended range of vision. *J Cataract Refract Surg*, 43(6), 737-747. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.03.037>
- Montes-Mico, R., Ferrer-Blasco, T., & Cervino, A. (2009). Analysis of the possible benefits of aspheric intraocular lenses: review of the literature. *J Cataract Refract Surg*, 35(1), 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.09.017>
- Nongpiur, M. E., & Sharma, P. (2010). Horizontal Lang two-pencil test as a screening test for stereopsis and binocularity. *Indian J Ophthalmol*, 58(4), 287-290. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.64125>
- Ono, T., Mori, Y., Nejima, R., Iwasaki, T., Miyai, T., & Miyata, K. (2021). Corneal endothelial cell density and morphology in ophthalmologically healthy young individuals in Japan: An observational study of 16842 eyes. *Sci Rep*, 11(1), 18224. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97776-5>
- Papadopoulos, C., Kekou, K., Xirou, S., Kitsiou-Tzeli, S., Kararizou, E., & Papadimas, G. K. (2018). Early onset posterior subcapsular cataract in a series of myotonic dystrophy type 2 patients. *Eye (Lond)*, 32(3), 622-625. <https://doi.org/10.1038/eye.2017.280>
- Pascolini, D., & Mariotti, S. P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *Br J Ophthalmol*, 96(5), 614-618. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2011-300539>
- Pedrotti, E., Chierogo, C., Talli, P. M., Selvi, F., Galzignato, A., Neri, E., Barosco, G., Montresor, A., Rodella, A., & Marchini, G. (2020). Extended Depth of Focus Versus Monofocal IOLs: Objective and Subjective Visual Outcomes. *J Refract Surg*, 36(4), 214-222. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20200212-01>
- Percival, P. (1992). An update on multifocal lens implants. *Doc Ophthalmol*, 81(3), 285-292. <https://doi.org/10.1007/BF00161766>
- Percival, S. P. (1989). Prospective study of the new diffractive bifocal intraocular lens. *Eye (Lond)*, 3 (Pt 5), 571-575. <https://doi.org/10.1038/eye.1989.89>
- Peterson, S. R., Silva, P. A., Murtha, T. J., & Sun, J. K. (2018). Cataract Surgery in Patients with Diabetes: Management Strategies. *Semin Ophthalmol*, 33(1), 75-82. <https://doi.org/10.1080/08820538.2017.1353817>
- Plaza-Puche, A. B., Alio, J. L., MacRae, S., Zheleznyak, L., Sala, E., & Yoon, G. (2015). Correlating optical bench performance with clinical defocus curves in varifocal and trifocal intraocular lenses. *J Refract Surg*, 31(5), 300-307. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20150423-03>
- Popov, I., Jurenova, D., Valaskova, J., Sanchez-Chicharro, D., Stefanickova, J., Waczulikova, I., & Krasnik, V. (2021). Effect of Blue Light Filtering Intraocular Lenses on Visual Perception. *Medicina (Kaunas)*, 57(6). <https://doi.org/10.3390/medicina57060559>
- Rho, C. R., Kim, J. H., Chung, I. K., Kim, E. C., Han, Y. K., Han, S. Y., Eom, Y., Chung, T. Y., & Lee, D. H. (2021). Cataract Surgery Practice in the Republic of Korea: A Survey of the Korean Society of Cataract and Refractive Surgery 2020. *Korean J Ophthalmol*, 35(4), 272-279. <https://doi.org/10.3341/kjo.2020.0001>
- Riaz, Y., Mehta, J. S., Wormald, R., Evans, J. R., Foster, A., Ravilla, T., & Snellingen, T. (2006). Surgical interventions for age-related cataract. *Cochrane Database Syst Rev*(4), CD001323. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001323.pub2>

- Ribeiro, F., & Ferreira, T. B. (2020). Comparison of clinical outcomes of 3 trifocal IOLs. *J Cataract Refract Surg*, 46(9), 1247-1252. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000212>
- Ribeiro, F. J., & Ferreira, T. B. (2020). Comparison of visual and refractive outcomes of 2 trifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 46(5), 694-699. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000118>
- Sauder, G., Ruf, E., Moedl, S., & Thyzel, R. (2017). Nanosecond Laser Cataract Surgery in LOCS III Grade 4 and 5: A Case Series. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 6(5), 425-428. <https://doi.org/10.22608/APO.2017123>
- Schroder, S., Wagenpfeil, S., Leydolt, C., Menapace, R., & Langenbacher, A. (2017). [Interpretation of the Intraocular Lens Constants for the Haigis Formula]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 234(8), 975-978. <https://doi.org/10.1055/s-0043-110569> (Interpretation der Intraokularlinsenkonstanten für die Haigis-Formel.)
- Shi, Q., Wang, G. Y., Cheng, Y. H., & Pei, C. (2021). Comparison of IOL-Master 700 and IOL-Master 500 biometers in ocular biological parameters of adolescents. *Int J Ophthalmol*, 14(7), 1013-1017. <https://doi.org/10.18240/ijo.2021.07.08>
- Steinert, R. F., Aker, B. L., Trentacost, D. J., Smith, P. J., & Tarantino, N. (1999). A prospective comparative study of the AMO ARRAY zonal-progressive multifocal silicone intraocular lens and a monofocal intraocular lens. *Ophthalmology*, 106(7), 1243-1255. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(99\)00704-6](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(99)00704-6)
- Sudhir, R. R., Dey, A., Bhattacharyya, S., & Bahulayan, A. (2019). AcrySof IQ PanOptix Intraocular Lens Versus Extended Depth of Focus Intraocular Lens and Trifocal Intraocular Lens: A Clinical Overview. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 8(4), 335-349. <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000253>
- Tanev, I., Tanev, V., & Kanellopoulos, A. J. (2016). Nanosecond laser-assisted cataract surgery: Endothelial cell study. *J Cataract Refract Surg*, 42(5), 725-730. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.02.039>
- Tarib, I., Kasier, I., Herbers, C., Hagen, P., Breyer, D., Kaymak, H., Klabe, K., Lucchesi, R., Teisch, S., Diakonis, V. F., Hahn, U., Fabian, H., & Kretz, F. T. A. (2019). Comparison of Visual Outcomes and Patient Satisfaction After Bilateral Implantation of an EDOF IOL and a Mix-and-Match Approach. *J Refract Surg*, 35(7), 408-416. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20190417-02>
- Taylor, H. R. (1999). Epidemiology of age-related cataract. *Eye (Lond)*, 13 (Pt 3b), 445-448. <https://doi.org/10.1038/eye.1999.119>
- Thompson, J., & Lakhani, N. (2015). Cataracts. *Prim Care*, 42(3), 409-423. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2015.05.012>
- Told, R., Baratsits, M., Garhofer, G., & Schmetterer, L. (2013). [Early treatment diabetic retinopathy study (ETDRS) visual acuity]. *Ophthalmologie*, 110(10), 960-965. <https://doi.org/10.1007/s00347-013-2813-2> (ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study)-Visus.)
- Tsaousis, K. T., Dermenoudi, M., & Tsinopoulos, I. T. (2018). Short-term visual outcome after unilateral implantation of a trifocal diffractive presbyopia-correcting intraocular lens. *Clin Exp Optom*, 101(3), 416-417. <https://doi.org/10.1111/cxo.12591>
- Ukai, Y., Okemoto, H., Seki, Y., Nakatsugawa, Y., Kawasaki, A., Shibata, T., Mito, T., Kubo, E., & Sasaki, H. (2021). Quantitative assessment of photic phenomena in the presbyopia-correcting intraocular lens. *PLoS One*, 16(12), e0260406. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260406>
- Varon, C., Gil, M. A., Alba-Bueno, F., Cardona, G., Vega, F., Millan, M. S., & Buil, J. A. (2014). Stereo-acuity in patients implanted with multifocal intraocular lenses: is the

- choice of stereotest relevant? *Curr Eye Res*, 39(7), 711-719.
<https://doi.org/10.3109/02713683.2013.865758>
- Vilar, C., Hida, W. T., de Medeiros, A. L., Magalhaes, K. R. P., de Moraes Tzelikis, P. F., Chaves, M., Motta, A. F. P., Carricondo, P. C., Alves, M. R., & Nose, W. (2017). Comparison between bilateral implantation of a trifocal intraocular lens and blended implantation of two bifocal intraocular lenses. *Clin Ophthalmol*, 11, 1393-1397.
<https://doi.org/10.2147/OPTH.S139909>
- Vingolo, E. M., Grenga, P., Iacobelli, L., & Grenga, R. (2007). Visual acuity and contrast sensitivity: AcrySof ReSTOR apodized diffractive versus AcrySof SA60AT monofocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 33(7), 1244-1247.
<https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.03.052>
- Wilhelm, H., Peters, T., Durst, W., Roelcke, S., Quast, R., Hutten, M., & Wilhelm, B. (2013). [Assessment of mesopic and contrast vision for driving licences: which cut-off values, which methods are appropriate?]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 230(11), 1106-1113.
<https://doi.org/10.1055/s-0033-1351030> (Untersuchung des Dämmerungs- und Kontrastsehens nach Fahrerlaubnisverordnung: Welche Grenzwerte, welche Verfahren sind geeignet?)
- Woodward, M. A., Randleman, J. B., & Stulting, R. D. (2009). Dissatisfaction after multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 35(6), 992-997.
<https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.01.031>
- Wylomanska, A., Iskander, D. R., & Burnecki, K. (2020). Omnibus test for normality based on the Edgeworth expansion. *PLoS One*, 15(6), e0233901.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233901>
- Xiao, J., Jiang, C., & Zhang, M. (2011). Pseudophakic monovision is an important surgical approach to being spectacle-free. *Indian J Ophthalmol*, 59(6), 481-485.
<https://doi.org/10.4103/0301-4738.86318>
- Xu, J., Zheng, T., & Lu, Y. (2020). Comparative Analysis of Visual Performance and Astigmatism Tolerance with Monofocal, Bifocal, and Extended Depth-of-Focus Intraocular Lenses Targeting Slight Myopia. *J Ophthalmol*, 2020, 9283021.
<https://doi.org/10.1155/2020/9283021>
- Xu, X., Zhu, M. M., & Zou, H. D. (2014). Refractive versus diffractive multifocal intraocular lenses in cataract surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Refract Surg*, 30(9), 634-644. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20140814-04>
- Yoon, S. Y., Song, I. S., Kim, J. Y., Kim, M. J., & Tchah, H. (2013). Bilateral mix-and-match versus unilateral multifocal intraocular lens implantation: long-term comparison. *J Cataract Refract Surg*, 39(11), 1682-1690. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.04.043>
- Zeng, J., Lan, G., Zhu, M., Sun, K., Shi, Q., Ma, G., & Liu, Q. (2021). Factors associated with corneal high-order aberrations before and after femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis. *Ann Transl Med*, 9(12), 989. <https://doi.org/10.21037/atm-21-2367>

5.2 Bücher

- Kohnen, T. (2011). *Refraktive Chirurgie*. Springer Berlin, Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-05406-8>

Anhang 1 - Fragebogen

A) Schleistung in Alltagstätigkeiten	
<i>Wie einfach können Sie die folgenden Tätigkeiten erledigen? (ohne Brille oder Kontaktlinsen)</i>	<i>Antwort</i>
(0 = keine Schwierigkeiten, 1 = minimale Schwierigkeiten, 2 = mäßige Schwierigkeiten, 3 = ernste Schwierigkeiten, n.z. = nichtzutreffend)	
1. Fernsehen	
2. Draußen Spielen or Arbeiten	
3. Spielen mit Kinder	
4. Die Uhrzeit an der Armbanduhr lesen	
5. Die Uhrzeit an der Wanduhr lesen	
6. Ihre Hobbys ausführen	
7. Ihren Job ausführen	
8. Teilnahme am Sport	
9. Teilnahme an sozialen Veranstaltungen	
10. Lesen und Naharbeiten	
11. Autofahren (allgemein)	
12. Autofahren nachts	
13. Autofahren wenn es regnet	
14. Komputerarbeit	
15. Handy	
16. Schminken/Rasieren	
17. Kochen	
18. Einkaufen	
B) Visuelle Störung	
<i>Wie stark sind Sie von den Folgenden betroffen/gestört?</i>	
(0 = keine Schwierigkeiten, 1 = minimale Schwierigkeiten, 2 = mäßige Schwierigkeiten, 3 = ernste Schwierigkeiten, n.z. = nichtzutreffend)	
1. Blendung (Schwierigkeit die Straßenschilder zu erkennen, wegen grellen Lichts oder Vorderlicht von anderen Autos)	
2. Nachtsicht	
3. Farbsehen (Schwierigkeiten spezielle Farben zu erkennen)	
4. Tiefenwahrnehmung (z.B. Treppe hinuntergehen, Gießen von Flüssigkeiten)	
5. Halos (Ring um eine Lichtquelle)	
6. Verzernte Nahsicht (gerade Linien sind im Nahbereich krumm)	
7. Verzernte Fernsicht (gerade Linien sind in die Ferne krumm)	
8. Unscharfes Nahsehen	
9. Unscharfes Weitsehen	
10. Doppeltsehen	
C) Brillengebrauch	
<i>Wie oft müssen Sie Brille oder Kontaktlinsen bei den Folgenden tragen?</i>	
(0 = nie, 1 = selten, 2 = manchmal, 3 = oft, 4 = immer)	
1. Sehen in die Ferne	

2. Sehen im intermediären Bereich (z.B. Computer, Tablet, Kochen)	
3. Sehen im Nahbereich (z.B. Lesen, Handy)	
D) Zufriedenheit	
<i>Wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Sehen (in einer Skala zw. 1 und 10)</i>	
(1 = am wenigsten, 10 = am meisten)	

Vorname:

Nachname:

Ort, Datum

Anhang 2 - Prüfung der Normalverteilung der Daten

Zur Prüfung, ob die numerischen Daten der intervall skalierten Variablen normal verteilt sind, wurden das Kolmogorov-Smirnov Test und das Shapiro-Wilk Test durchgeführt. Für beide Tests vermutet die „Null-Hypothese“ (H0), dass die Daten normal verteilt sind. Die Hypothese-Eins (H1) vermutet, dass diese Daten nicht normal verteilt sind. Wenn die Signifikanz dieser beiden Tests größer als die das festgelegte Signifikanzniveau ($p > .05$) ist, dann wird die H0 akzeptiert, und die Daten sind als normal verteilt gezeichnet. Wenn die Signifikanz der beiden Tests kleiner als das festgelegte Signifikanzniveau ($p < .05$) ist, dann wird die H0 abgelehnt und wird die Hypothese-Eins (H1) eingenommen - die Daten sind dann nicht normal verteilt - (Kim & Park, 2019).

Bevor ein statistischer Vergleich zwischen Daten durchgeführt wird, ist die Prüfung ihrer Normalverteilung notwendig. Dadurch lässt sich entscheiden, ob für den statistischen Vergleich parametrische oder nicht-parametrische Tests verwendet werden. Wenn die Daten normal verteilt sind, dann werden parametrische Tests verwendet (wie der T-Test). Wenn die Daten nicht normal verteilt sind, dann werden non-parametrische Tests verwendet (wie der Mann-Whitney-U-Test).

In unserer Studie wurde die Normalverteilung aller Daten, die zwischen den beiden Gruppen verglichen wurden, überprüft. Parallel mit den zwei oben genannten Tests (Kolmogorov-Smirnov-Test, Shapiro-Wilk-Test) wurde für jede Variable ein Histogramm, zur schematischen Prüfung der Verteilung der Daten, formuliert. Die Ergebnisse werden in Folge präsentiert.

Präoperative Daten

<i>Variable</i>	<i>Kolmogorov-Smirnov-Test</i>			<i>Shapiro-Wilk-Test</i>		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
<i>Refraktion</i>	.111	144	<.001	.970	144	.003
<i>UDVA</i>	.124	72	.008	.956	72	.013
<i>UIVA</i>	.117	72	.016	.943	72	.003
<i>UNVA</i>	.109	72	.034	.931	72	<.001
<i>CDVA</i>	.143	72	<.001	.955	72	.012
<i>CIVA</i>	.168	72	<.001	.925	72	<.001
<i>CNVA</i>	.146	72	<.001	.959	72	.020
<i>Titmus</i>	.376	72	<.001	.609	72	<.001

<i>Mesotest</i>	.454	72	<.001	.556	72	<.001
<i>Mesotest+Blendung</i>	.496	72	<.001	.463	72	<.001

Tabelle 36: Test der Normalverteilung der präoperativen Daten. Sig. = Signifikanz. Für Erklärung der Abkürzungen der Variablen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Die Tabelle 36 zeigt die Ergebnisse der Tests der Normalverteilung der präoperativen Daten. Alle Daten sind nicht normal verteilt, weil die Signifikanz kleiner als .05 ist.

Die Histogramme der in der Tabelle 36 erwähnten Parameter sind in den folgenden Abbildungen 32 bis 40 präsentiert:

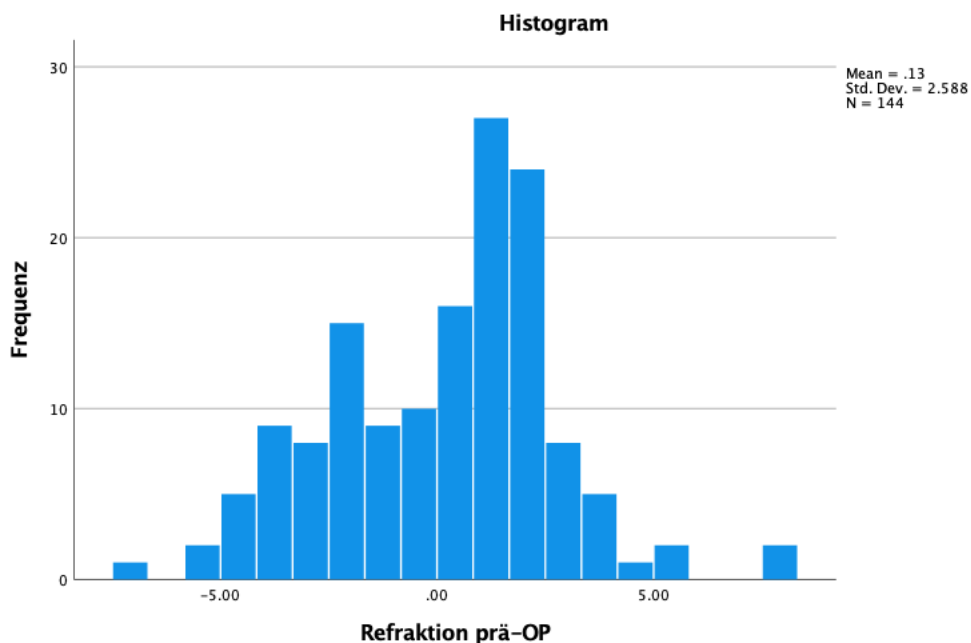


Abb. 32: Präoperative Refraktion in Dioptrien (X-Achse), Verteilung der Daten.

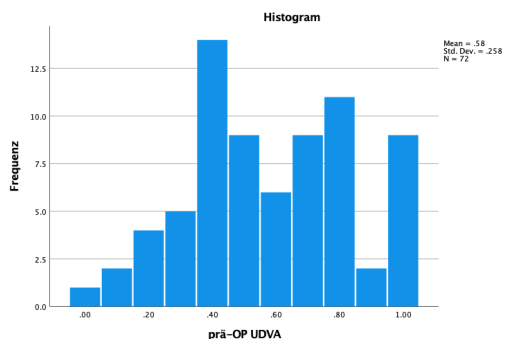


Abb. 33: Präoperative UDVA in logMAR. Verteilung der Daten.

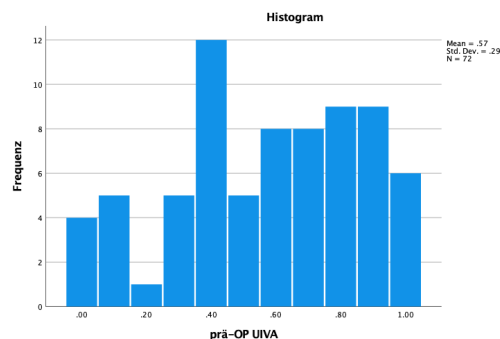


Abb. 34: Präoperative UIVA in logMAR. Verteilung der Daten.

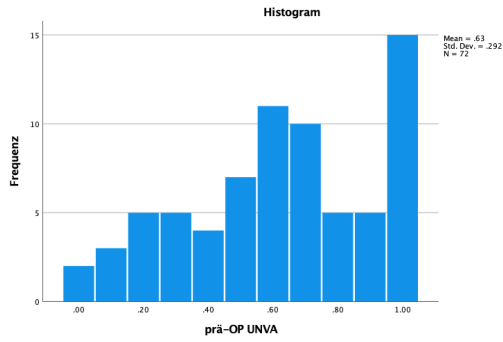


Abb. 35: Präoperative UNVA in logMAR. Verteilung der Daten.

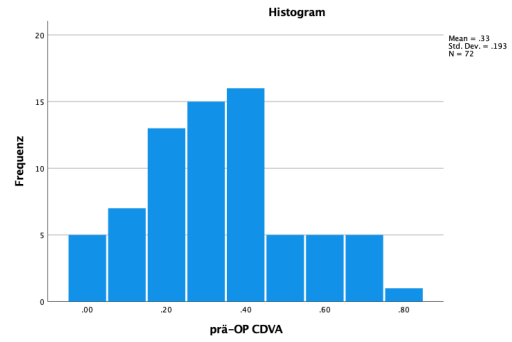


Abb. 36: Präoperative CDVA in logMAR. Verteilung der Daten.

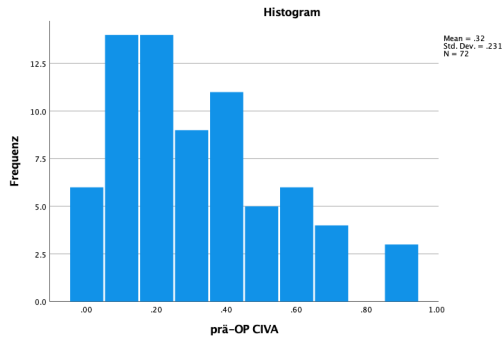


Abb. 37: Präoperative CIVA in logMAR. Verteilung der Daten.

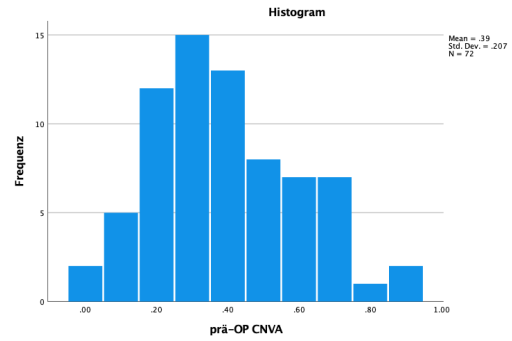


Abb. 38: Präoperative CNVA in logMAR. Verteilung der Daten.

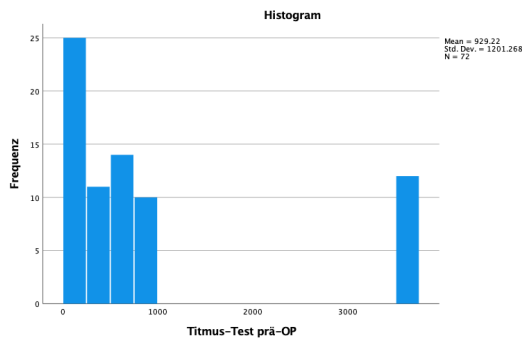


Abb. 39: Präoperativer Titmus-Test in Winkelsekunden. Verteilung der Daten.

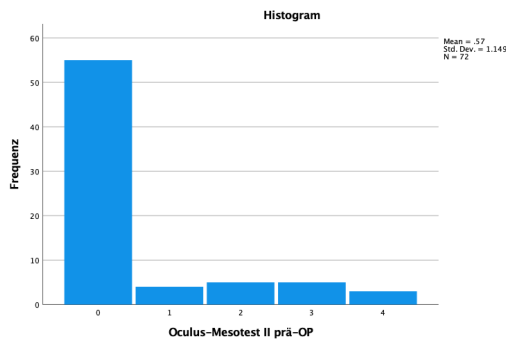
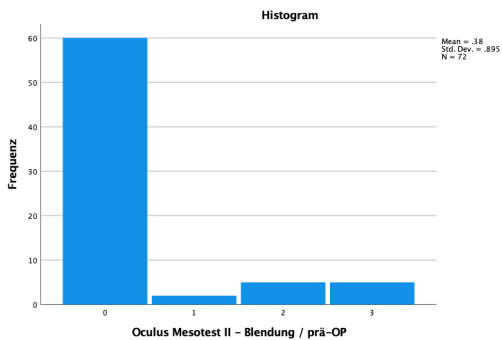


Abb. 40: Oculus Mesotest. Verteilung der präoperativen Daten. Links: ohne Blendung. Rechts: mit Blendung. 0=das gemessene Kontrastsehen ist weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts (1:23), 1= Kontraststufe 1:23, 2= Kontraststufe 1:5, 3= Kontraststufe 1:2.7, 4= Kontraststufe 1:2



Die Histogramme stimmen den Ergebnissen der zwei Tests (Kolmogorov-Smirnov-Test, Shapiro-Wilk-Test) zu und zeigen nicht normal verteilten Daten.

Nun wird die Verteilung des präoperativen Kontrastsehens geprüft.

Untersuchungsbedingung	Kolmogorov-Smirnov Test			Shapiro-Wilk Test		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
3 cpd	.136	72	.002	.949	72	.005
6 cpd	.188	72	<.001	.902	72	<.001
12 cpd	.251	72	<.001	.849	72	<.001
18 cpd	.290	72	<.001	.819	72	<.001
3 cpd + Blendung	.177	72	<.001	.927	72	<.001
6 cpd + Blendung	.206	72	<.001	.886	72	<.001
12 cpd + Blendung	.302	72	<.001	.784	72	<.001
18 cpd + Blendung	.423	72	<.001	.651	72	<.001

Tabelle 37: Tests der Normalverteilung des präoperativen Kontrastsehens. Sig. = Signifikanz. Cpd=cycles pro degree.

Die Signifikanz der zwei Tests liegt bei allen Parametern des Kontrastsehens unterhalb des Signifikanzniveaus (.05). Aus diesem Grund sind diese Daten auch nicht normal verteilt. Die Histogramme der oben genannten Daten werden in den Abbildungen 41 bis 48 präsentiert und zeigen auch nicht normal verteilte Daten.

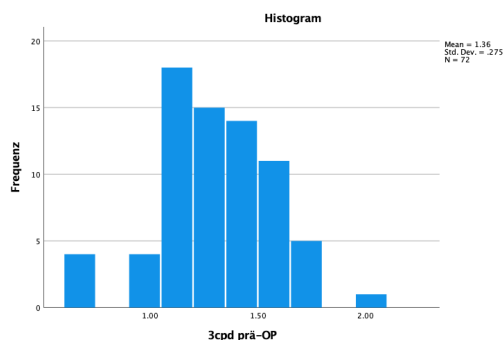


Abb. 41: Kontrastsehen in 3cpd, Verteilung der Daten in logCS.

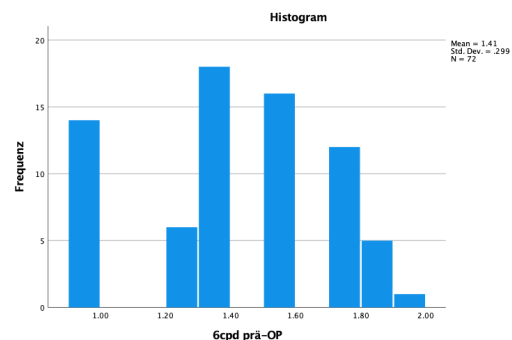


Abb. 42: Kontrastsehen in 6cpd, Verteilung der Daten in logCS.

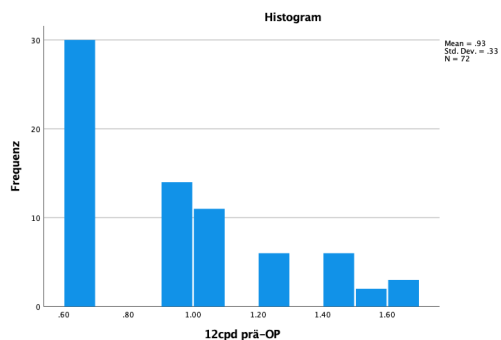


Abb. 43: Kontrastsehen in 12cpd, Verteilung der Daten in logCS.

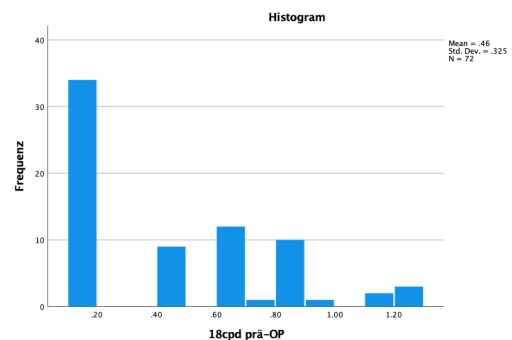


Abb. 44: Kontrastsehen in 18cpd, Verteilung der Daten in logCS.

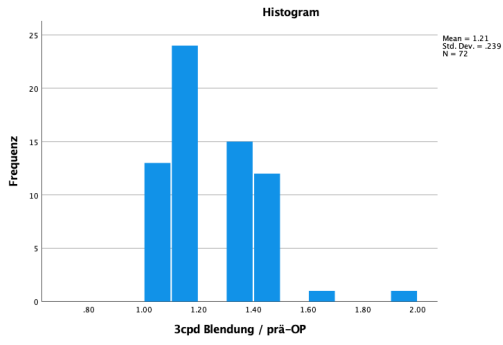


Abb. 45: Kontrastsehen 3cpd mit Blending. Datenverteilung in logCS.

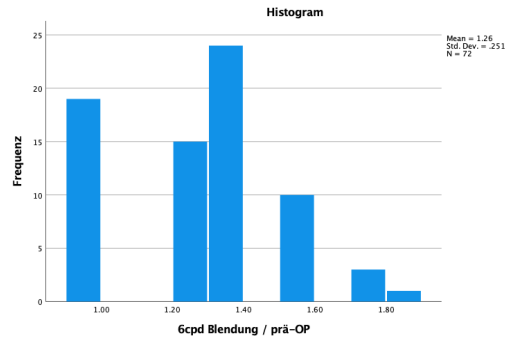


Abb. 46: Kontrastsehen 6cpd mit Blending. Datenverteilung in logCS.

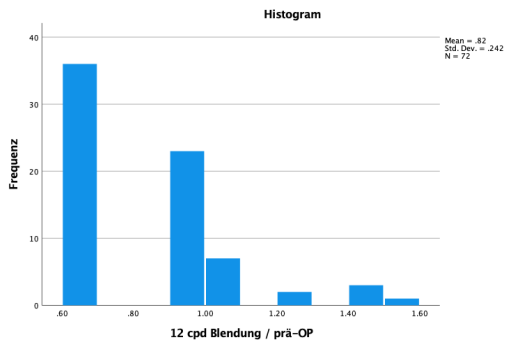


Abb.47: Kontrastsehen 12cpd mit Blending. Datenverteilung in logCS.

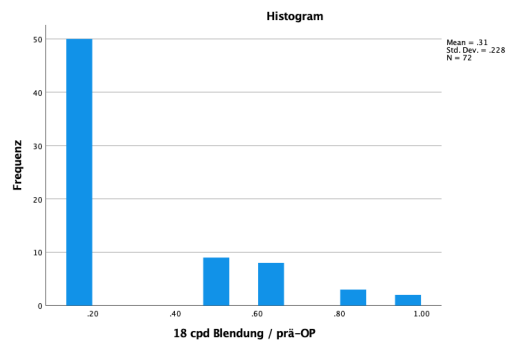


Abb.48: Kontrastsehen 18cpd mit Blending. Datenverteilung in logCS.

Postoperative Daten

Variable	Kolmogorov-Smirnov Test			Shapiro-Wilk Test		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
Refraktion	.147	144	<.001	.955	144	<.001
UDVA	.291	72	<.001	.848	72	<.001
UIVA	.210	72	<.001	.899	72	<.001
UNVA	.234	72	<.001	.909	72	<.001
CDVA	.290	72	<.001	.842	72	<.001
CIVA	.235	72	<.001	.880	72	<.001
CNVA	.232	72	<.001	.874	72	<.001
Titmus	.328	72	<.001	.405	72	<.001
Mesotest	.219	72	<.001	.815	72	<.001
Mesotest+Blendung	.312	72	<.001	.738	72	<.001
EZM-Change	.188	129	<.001	.874	129	<.001

Tabelle 38: Test der Normalverteilung der postoperativen Daten. Für Erklärung der Abkürzungen der Variablen siehe auch Abkürzungsverzeichnis.

Die Tabelle 38 zeigt die Ergebnisse der Tests der Normalverteilung der postoperativen Daten. Alle Daten sind nicht normal verteilt, weil die Signifikanz kleiner als .05 ist.

Die Histogramme der in der Tabelle 38 erwähnten Parameter sind in der Folge präsentiert:

Refraktion

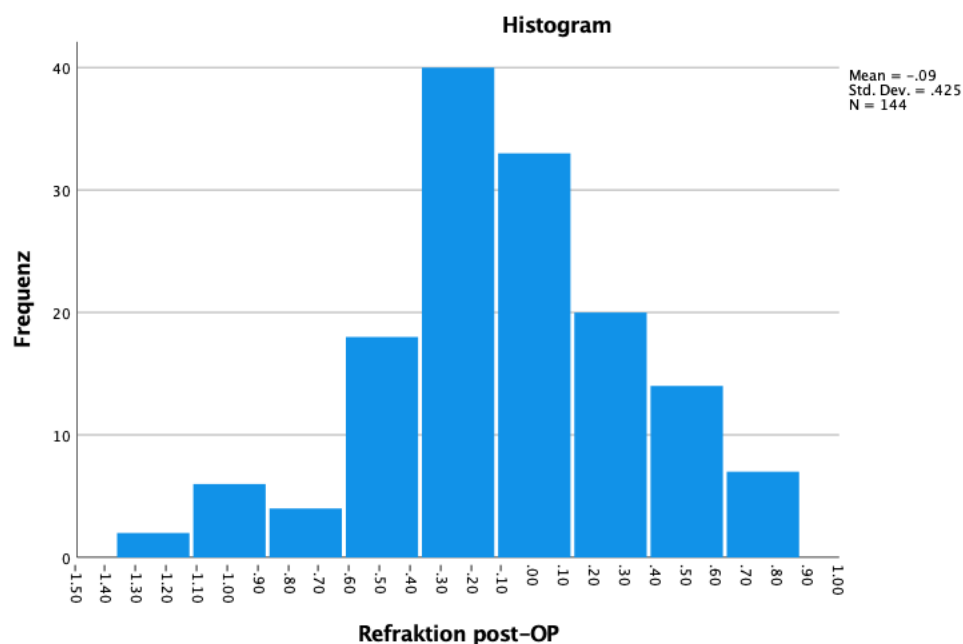


Abb. 49: Postoperative Refraktion, Verteilung der Daten in Dioptrien.

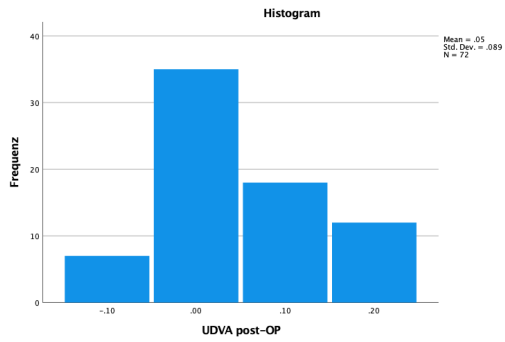


Abb. 50: Postoperative UDVA in logMAR, Verteilung der Daten.

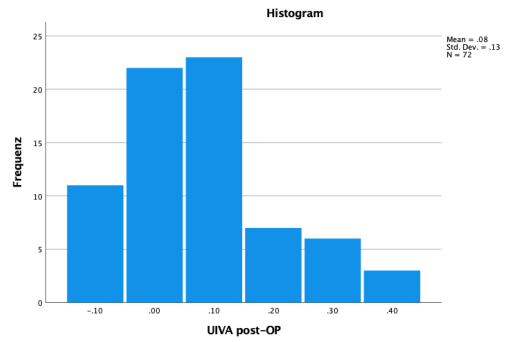


Abb. 51: Postoperative UIVA in logMAR, Verteilung der Daten.

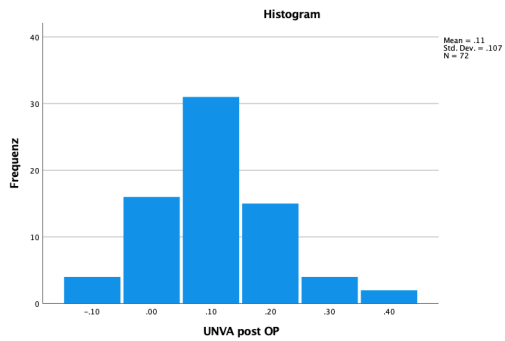


Abb. 52: Postoperative UNVA in logMAR, Verteilung der Daten.

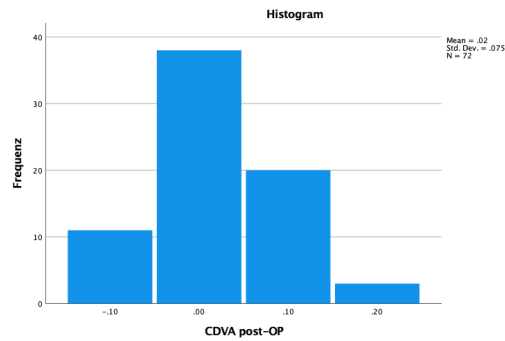


Abb. 53: Postoperative CDVA in logMAR, Verteilung der Daten.

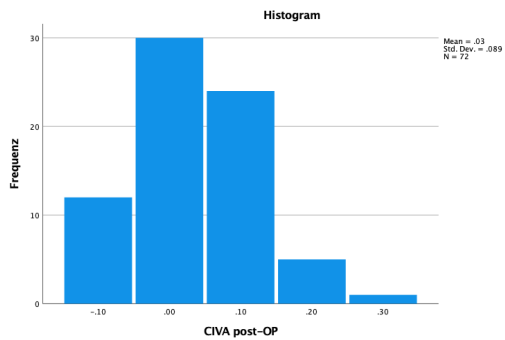


Abb. 54: Postoperative CIVA in logMAR, Verteilung der Daten.

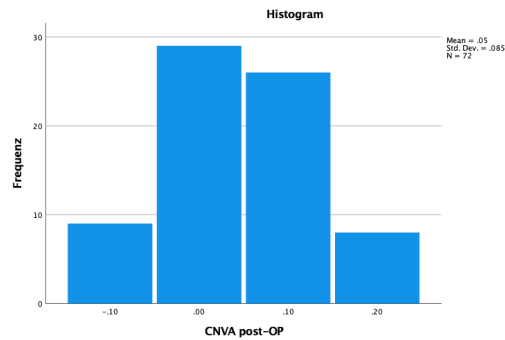


Abb. 55: Postoperative CNVA in logMAR, Verteilung der Daten.

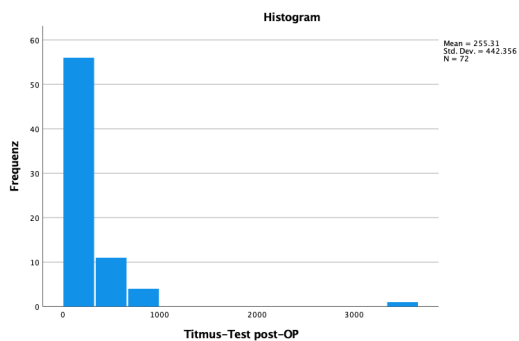


Abb. 56: Postoperativer Titmus-Test in Winkelsekunden, Verteilung der Daten.

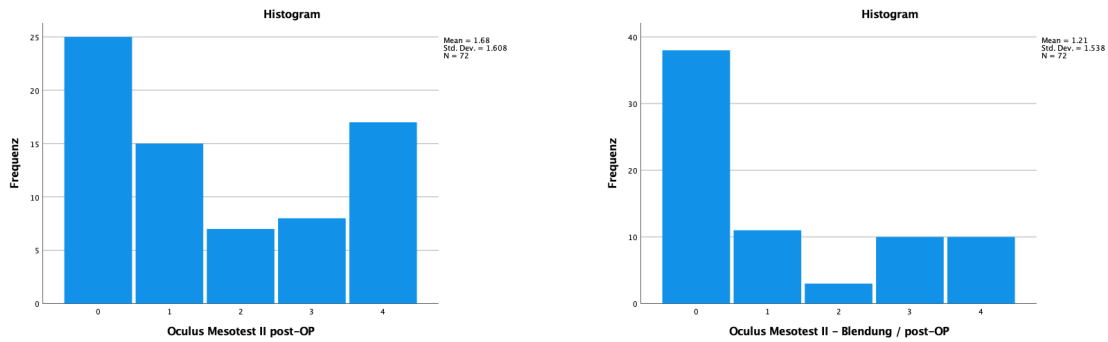


Abb. 57: Oculus Mesotest, Verteilung der postoperativen Daten. Links: ohne Blendung. Rechts: mit Blendung. 0=das gemessene Kontrastsehen ist weniger als die maximale Kontraststufe des Geräts (1:23), 1= Kontraststufe 1:23, 2= Kontraststufe 1:5, 3= Kontraststufe 1:2.7, 4= Kontraststufe 1:2

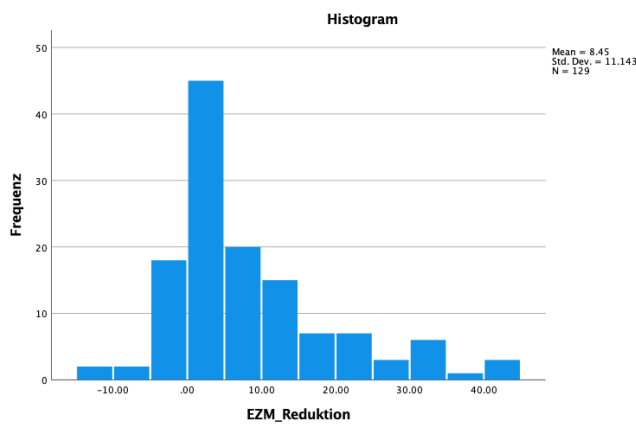


Abb. 58: EZM-Reduktion in Prozent, Verteilung der Daten. EZM = Endothelzellmessung.

Postoperatives Kontrastsehen

Untersuchungsbedingung	Kolmogorov-Smirnov Test			Shapiro-Wilk Test		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
3 cpd	.213	72	<.001	.902	72	<.001
6 cpd	.182	72	<.001	.926	72	<.001
12 cpd	.129	72	.005	.950	72	.006
18 cpd	.193	72	<.001	.906	72	<.001
3 cpd + Blendung	.218	72	<.001	.915	72	<.001
6 cpd + Blendung	.151	72	<.001	.930	72	<.001
12 cpd + Blendung	.160	72	<.001	.917	72	<.001
18 cpd + Blendung	.178	72	<.001	.899	72	<.001

Tabelle 39: Tests der Normalverteilung des postoperativen Kontrastsehens. Sig. = Signifikanz, cpd=cycles pro degree.

Die Signifikanz der beiden Tests liegt bei allen Parametern des Kontrastsehens unterhalb des Signifikanzniveaus (.05). Aus diesem Grund sind diese Daten auch nicht normal verteilt. Die Histogramme der Daten des postoperativen Kontrastsehens sind in den Abbildungen 59 bis 66 präsentiert.

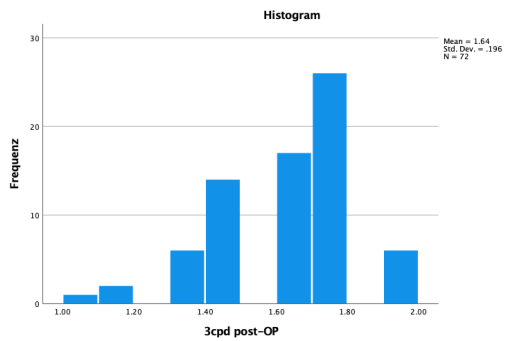


Abb. 59: Kontrastsehen in 3cpd, Verteilung der Daten in logCS.

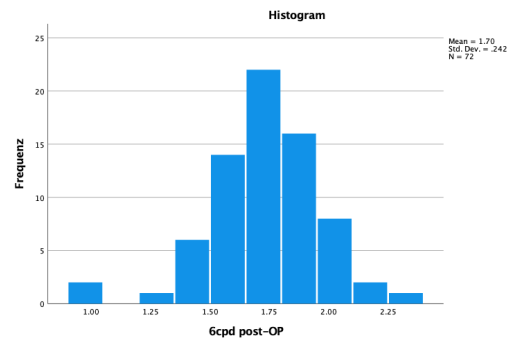


Abb. 60: Kontrastsehen in 6cpd, Verteilung der Daten in logCS.

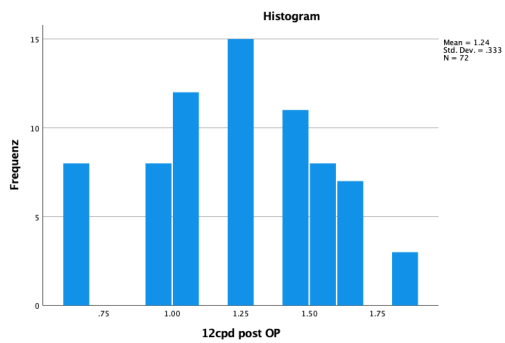


Abb. 61: Kontrastsehen in 12cpd, Verteilung der Daten in logCS.

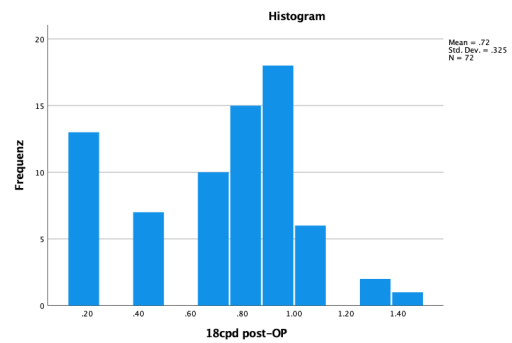


Abb. 62: Kontrastsehen in 18cpd, Verteilung der Daten in logCS.

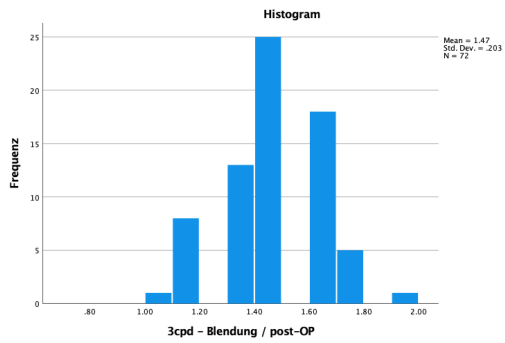


Abb. 63: Kontrastsehen 3cpd mit Blendung. Datenverteilung in logCS.

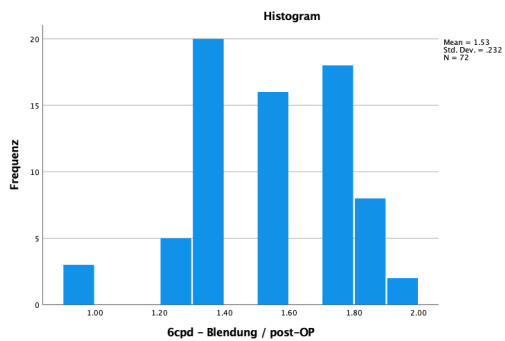


Abb. 64: Kontrastsehen 6cpd mit Blendung. Datenverteilung in logCS.

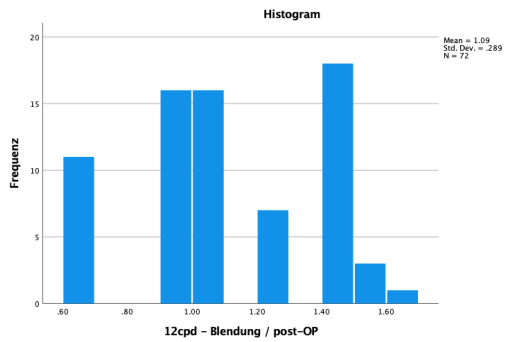


Abb.65: Kontrastsehen 12cpd mit Blending, Datenverteilung in logCS.

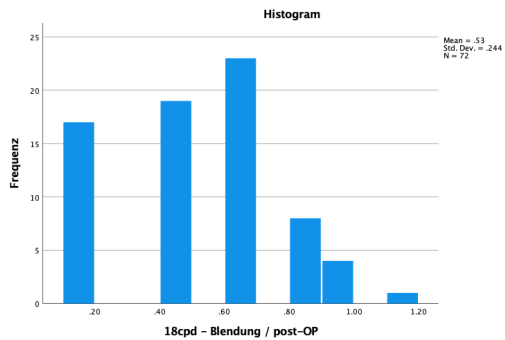


Abb.66: Kontrastsehen 18cpd mit Blending, Datenverteilung in logCS.

Bei allen getesteten Parametern, sowohl prä- als auch postoperativ, sind laut des Kolmogorov-Smirnov- und des Shapiro-Wilk-Tests die Daten nicht normal verteilt. Aus diesem Grund wurde für den Vergleich dieser Parameter zwischen den beiden Gruppen der Studie der non-parametrische Mann-Whitney-U-Test verwendet.

Anhang 3 - Statistische Tests

Mann-Whitney-U-Test

Präoperativer Vergleich der beiden Gruppen

Variablen	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed) (p)
Alter	608.0	1169.0	-.402	.688
Geschlecht	576.0	1137.0	-.884	.377
Refraktion	2289.0	4500.0	-1.144	.253
UDVA	463.0	1024.0	-2.241	*.040
UIVA	446.5	1007.5	-2.241	*.025
UNVA	483.5	1044.5	-1.824	.068
CDVA	449.5	1010.5	-2.224	*.026
CIVA	370.0	931.0	-3.125	*.002
CNVA	471.0	1032.0	-1.972	*.049
Titmus-Test	380.0	1160.0	-3.013	*.003
Mesotest	632.5	1412.5	-.167	.867
Mesotest (+Blendung)	628.0	1189.0	-.270	.787

Tabelle 40: Statistischer Vergleich der präoperativen Daten zwischen den beiden Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Tests. *p<0.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet. Für Erklärung der Abkürzungen der Variablen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Variable	Gruppe	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Alter	Unilateral Panoptix	33	35.42	1169.0
	Bilateral PanOptix	39	37.41	1459.0
	Total	72		
Geschlecht	Unilateral Panoptix	33	34.45	1137.0
	Bilateral PanOptix	39	38.23	1491.0
	Total	72		
Refraktion	Unilateral Panoptix	66	68.18	4500.0
	Bilateral PanOptix	78	76.15	5940.0
	Total	144		
UDVA	Unilateral Panoptix	33	(31.03)	1024.0
	Bilateral PanOptix	39	41.13	1604.0
	Total	72		
UIVA	Unilateral Panoptix	33	30.53	1007.5
	Bilateral PanOptix	39	41.55	1620.5
	Total	72		
UNVA	Unilateral Panoptix	33	31.65	1044.5
	Bilateral PanOptix	39	40.60	1583.5
	Total	72		
CDVA	Unilateral Panoptix	33	30.62	1010.5
	Bilateral PanOptix	39	41.47	1617.5
	Total	72		
CIVA	Unilateral Panoptix	33	28.21	931.0

CNVA	Bilateral PanOptix	39	43.51	1697.0
	Total	72		
	Unilateral Panoptix	33	31.27	1032.0
Titmus-Test	Bilateral PanOptix	39	40.92	1596.0
	Total	72		
	Unilateral Panoptix	33	44.48	1468.0
Mesotest	Bilateral PanOptix	39	29.74	1160.0
	Total	72		
	Unilateral Panoptix	33	36.83	1215.5
Mesotest (+Blendung)	Bilateral PanOptix	39	36.22	1412.5
	Total	72		
	Unilateral Panoptix	33	36.03	1189.0
	Bilateral PanOptix	39	36.90	1439.0
	Total	72		

Tabelle 41: Ranks der statistischen Analyse der Daten in der Tabelle 40. Für Erklärung der Abkürzungen der Variablen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Kontrastsehen

Lichtverhältnis	CPD	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
ohne Blendung	3 cpd	542.0	1322.0	-1.168	.243
	6 cpd	582.5	1362.5	-.703	.482
	12 cpd	542.0	1322.0	-1.199	.231
	18 cpd	567.0	1347.0	-.919	.358
mit Blendung	3 cpd	606.0	1386.0	-.436	.663
	6 cpd	638.0	1418.0	-.064	.949
	12 cpd	600.5	1161.5	-.530	.596
	18 cpd	609.0	1389.0	-.479	.632

Tabelle 42: Statistischer Vergleich des präoperativen Kontrastsehens zwischen den beiden Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Tests. *p<0.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet. Cpd=cycles pro degree.

Lichtverhältnis	CPD	Gruppe	N	Mean Rank	Sum of Ranks
ohne Blendung	3 cpd	Unilateral Panoptix	33	39.58	1306.0
		Bilateral PanOptix	39	33.90	1322.0
		Total	72		
	6 cpd	Unilateral Panoptix	33	38.53	1265.5
		Bilateral PanOptix	39	34.94	1362.5
		Total	72		
	12 cpd	Unilateral Panoptix	33	39.58	1306.0
		Bilateral PanOptix	39	33.90	1322.0
		Total	72		
18 cpd	Unilateral Panoptix	33	38.82	1281.0	
	Bilateral PanOptix	39	34.54	1347.0	
	Total	72			

<i>mit Blendung</i>					
3 cpd	Unilateral Panoptix	33	37.64	1242.0	
	Bilateral PanOptix	39	35.54	1386.0	
	Total	72			
6 cpd	Unilateral Panoptix	33	36.67	1210.0	
	Bilateral PanOptix	39	36.36	1418.0	
	Total	72			
12 cpd	Unilateral Panoptix	33	35.20	1161.0	
	Bilateral PanOptix	39	37.60	1466.5	
	Total	72			
18 cpd	Unilateral Panoptix	33	37.55	1239.0	
	Bilateral PanOptix	39	35.62	1389.0	
	Total	72			

Tabelle 43: Ranks der statistischen Analyse der Daten in der Tabelle 42. Cpd=cycles pro degree.

Postoperativer Vergleich der beiden Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Mann-Whitney U</i>	<i>Wilcoxon W</i>	<i>Z</i>	<i>Asymp. Sig. (2-tailed) (p)</i>
<i>Refraktion</i>	2284.5	4495.5	-1.184	.236
<i>UDVA</i>	537.0	1098.0	-1.295	.195
<i>UIVA</i>	633.5	1413.5	-.117	.907
<i>UNVA</i>	598.5	1378.5	-.536	.592
<i>CDVA</i>	477.0	1038.0	-2.068	.039
<i>CIVA</i>	565.5	1126.5	-.937	.349
<i>CNVA</i>	502.0	1063.0	-1.7	.089
<i>Titmus-Test</i>	481.5	1261.5	-1.847	.065
<i>Mesotest</i>	605.5	1385.5	-.444	.657
<i>Mesotest (+Blendung)</i>	663.5	1413.5	-.123	.902

Tabelle 44: Statistischer Vergleich der postoperativen Daten zwischen den beiden Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Tests. Für Abkürzungen siehe auch Abkürzungsverzeichnis.

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>N</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>
<i>Refraktion</i>	Unilateral Panoptix	66	68.11	4495.5
	Bilateral PanOptix	78	76.21	5944.5
	Total	144		
<i>UDVA</i>	Unilateral Panoptix	33	33.27	1098.0
	Bilateral PanOptix	39	39.23	1530.0
	Total	72		
<i>UIVA</i>	Unilateral Panoptix	33	36.80	1214.5
	Bilateral PanOptix	39	36.24	1413.5
	Total	72		

<i>UNVA</i>	Unilateral Panoptix	33	37.86	1249.5
	Bilateral PanOptix	39	35.35	1378.5
	Total	72		
<i>CDVA</i>	Unilateral Panoptix	33	31.45	1038.0
	Bilateral PanOptix	39	40.27	1590.0
	Total	72		
<i>CIVA</i>	Unilateral Panoptix	33	34.14	1126.5
	Bilateral PanOptix	39	38.50	1501.5
	Total	72		
<i>CNVA</i>	Unilateral Panoptix	33	32.21	1063.0
	Bilateral PanOptix	39	40.13	1565.0
	Total	72		
<i>Titmus-Test</i>	Unilateral Panoptix	33	41.41	1366.5
	Bilateral PanOptix	39	32.35	1261.5
	Total	72		
<i>Mesotest</i>	Unilateral Panoptix	33	37.65	1242.5
	Bilateral PanOptix	39	35.53	1385.5
	Total	72		
<i>Mesotest (+Blendung)</i>	Unilateral Panoptix	33	36.80	1214.5
	Bilateral PanOptix	39	36.24	1413.5
	Total	72		

Tabelle 45: Ranks der statistischen Analyse der Daten in der Tabelle 44. Für Abkürzungen siehe auch Abkürzungsverzeichnis.

Kontrastsehen

<i>Lichtverhältnis</i>	<i>CPD</i>	<i>Mann-Whitney U</i>	<i>Wilcoxon W</i>	<i>Z</i>	<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>
<i>ohne Blendung</i>	3 cpd	432.5	1212.5	-2.471	*.013
	6 cpd	384.5	1164.5	-2.998	*.003
	12 cpd	390.0	1170.0	-2.897	*.004
	18 cpd	391.0	1171.0	-2.904	*.004
<i>mit Blendung</i>	3 cpd	437.5	1217.5	-2.408	*.016
	6 cpd	479.0	1259.0	-1.907	.057
	12 cpd	440.0	1220.0	-2.350	*.019
	18 cpd	441.0	1221.0	-2.367	*.018

Tabelle 46: Statistischer Vergleich des postoperativen Kontrastsehens zwischen den beiden Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Tests. *p<0.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet. Cpd=cycles pro degree.

<i>Kontrastsehen</i>	<i>CPD</i>	<i>Gruppe</i>	<i>N</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>
<i>ohne Blendung</i>	3 cpd	Unilateral Panoptix	33	42.89	1415.50
		Bilateral PanOptix	39	31.09	1212.50
		Total	72		
	6 cpd	Unilateral Panoptix	33	44.35	1463.5
		Bilateral PanOptix	39	29.86	1164.5
		Total	72		
	12 cpd	Unilateral Panoptix	33	44.18	1458.0
		Bilateral PanOptix	39	30.0	1170.0
		Total	72		
	18 cpd	Unilateral Panoptix	33	44.15	1457.0
		Bilateral PanOptix	39	(30.03)	1171.0
		Total	72		
<i>mit Blendung</i>	3 cpd	Unilateral Panoptix	33	42.74	1410.50
		Bilateral PanOptix	39	31.22	1217.50
		Total	72		
	6 cpd	Unilateral Panoptix	33	41.48	1369.0
		Bilateral PanOptix	39	32.28	1259.0
		Total	72		
	12 cpd	Unilateral Panoptix	33	42.67	1408.0
		Bilateral PanOptix	39	31.28	1220.0
		Total	72		
	18 cpd	Unilateral Panoptix	33	42.64	1407.0
		Bilateral PanOptix	39	31.31	1221.0
		Total	72		

Tabelle 47: Ranks der statistischen Analyse der Daten in der Tabelle 46. Cpd=cycles pro degree.

Fragebogen

Die Einzelheiten der statistischen Analyse des Fragebogens werden in folgenden Tabellen zusammengefasst.

<i>Frage</i>	<i>Mann-Whitney U</i>	<i>Wilcoxon W</i>	<i>Z</i>	<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>
<i>Zufriedenheit</i>	635.0	1230.0	-.171	0.864
<i>Blendung</i>	592.5	1333.5	-.193	.847
<i>Nachtsicht</i>	567.5	1270.5	-.314	.754
<i>Farbsehen</i>	603.0	1164.0	-.504	.614
<i>Tiefenwahrnehmung</i>	600.5	1161.5	-.506	.613
<i>Halos</i>	536.0	1097.0	-.977	.329

<i>verzehrtes Nahsehen</i>	584.5	1145.5	-.554	.580
<i>verzehrtes Fernsehen</i>	582.5	1143.50	-.597	.551
<i>unscharfes Nahsehen</i>	460.5	1201.5	-2.101	*.036
<i>unscharfes Fernsehen</i>	598.0	1159.0	-.439	.661
<i>Doppeltsehen</i>	598.5	1301.5	-.232	.816

Tabelle 48: Postoperative Zufriedenheit und photopische Phänomene. Vergleich der zwei Untersuchungsgruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test: *p<0.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet.

<i>Frage</i>	<i>Gruppe</i>	<i>N</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>
<i>Zufriedenheit</i>	Unilateral PanOptix	33	36.18	1230.0
	Bilateral PanOptix	38	36.79	1398.0
<i>Blendung</i>	Unilateral PanOptix	32	35.98	1151.5
	Bilateral PanOptix	38	35.09	1333.5
<i>Nachtsicht</i>	Unilateral PanOptix	32	35.77	1144.5
	Bilateral PanOptix	37	34.34	1270.5
<i>Farbsehen</i>	Unilateral PanOptix	33	35.27	1164.0
	Bilateral PanOptix	38	36.63	1392.0
<i>Tiefenwahrnehmung</i>	Unilateral PanOptix	33	35.20	1161.5
	Bilateral PanOptix	38	36.70	1394.5
<i>Halos</i>	Unilateral PanOptix	33	33.24	1097.0
	Bilateral PanOptix	37	37.51	1388.0
<i>verzehrtes Nahsehen</i>	Unilateral PanOptix	33	34.71	1145.5
	Bilateral PanOptix	37	36.20	1339.5
<i>verzehrtes Fernsehen</i>	Unilateral PanOptix	33	34.65	1143.5
	Bilateral PanOptix	37	36.26	1341.5
<i>unscharfes Nahsehen</i>	Unilateral PanOptix	33	41.05	1354.5
	Bilateral PanOptix	38	31.36	1201.5
<i>unscharfes Fernsehen</i>	Unilateral PanOptix	33	35.12	1159.0
	Bilateral PanOptix	38	36.76	1397.0
<i>Doppelsehen</i>	Unilateral PanOptix	33	35.86	1183.5
	Bilateral PanOptix	37	35.18	1301.5

Tabelle 49: Ranks der statistischen Analyse der Tabelle 48.

<i>Art der Brille</i>	<i>Mann-Whitney U</i>	<i>Wilcoxon W</i>	<i>Z</i>	<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>
<i>Fernbrille</i>	588.5	1291.5	-.580	.562
<i>Komputerbrille</i>	456.0	1159.0	-.2.370	*.018
<i>Nahbrille</i>	348.0	1051.0	-3.418	**<.001

Tabelle 50: Postoperativer Brillengebrauch. Vergleich zwischen den beiden Untersuchungsgruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test. *p<.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet, **p<.001 ist als statistisch hochsignifikant gezeichnet.

<i>Art der Brille</i>	<i>Gruppe</i>	<i>N</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>
<i>Fernbrille</i>	Unilateral Panoptix	33	36.17	1193.5
	Bilateral PanOptix	37	34.91	1291.5
<i>Komputerbrille</i>	Unilateral Panoptix	33	40.18	1326.0
	Bilateral PanOptix	37	31.32	1159.0
<i>Nahbrille</i>	Unilateral Panoptix	33	43.45	1434.0
	Bilateral PanOptix	37	28.41	1051.0

Tabelle 51: Ranks der statistischen Analyse der Tabelle 50.

<i>Frage</i>	<i>Mann-Whitney U</i>	<i>Wilcoxon W</i>	<i>Z</i>	<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>
<i>Fernsehen</i>	582.5	1323.5	-.703	.482
<i>Spielen</i>	553.0	1081.0	-.803	.422
<i>Kinder</i>	510.0	1038.0	-.053	.958
<i>Armbanduhr</i>	566.5	1094.5	-.842	.400
<i>Wanduhr</i>	602.0	1163.0	-.477	.633
<i>Hobbys</i>	528.5	1194.5	-1.003	.316
<i>Job</i>	327.0	792.0	-.084	.933
<i>Sport</i>	351.0	702.0	-2.088	*.037
<i>Veranstaltungen</i>	418.0	914.0	-.358	.720
<i>Lesen</i>	378.5	1119.5	-2.702	*.007
<i>Autofahren</i>	478.0	1144.0	-.465	.642
<i>Auto nachts</i>	416.0	977.0	-.478	.633
<i>Auto Regen</i>	342.0	937.0	-1.842	.065
<i>Komputer</i>	418.5	1121.5	-1.030	.303
<i>Handy</i>	469.0	1172.0	-1.813	.070
<i>Schminken/Rasieren</i>	538.0	1204.0	-.663	.507
<i>Kochen</i>	530.0	1058.0	-.392	.695

<i>Einkaufen</i>	617.5	1358.5	-.181	.856
------------------	-------	--------	-------	------

Tabelle 52: Vergleich der Alltagstätigkeiten zwischen den beiden Untersuchungsgruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test. *p<.05 ist als statistisch signifikant gezeichnet.

<i>Frage</i>	<i>Gruppe</i>	<i>N</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>
<i>Fernsehen</i>	Unilateral Panoptix	33	37.35	1232.5
	Bilateral PanOptix	38	34.83	1323.5
<i>Spielen</i>	Unilateral Panoptix	32	33.78	1081.0
	Bilateral PanOptix	37	36.05	1334.0
<i>Kinder</i>	Unilateral Panoptix	32	32.44	1038.0
	Bilateral PanOptix	32	32.56	1042.0
<i>Armbanduhr</i>	Unilateral Panoptix	32	34.20	1094.5
	Bilateral PanOptix	38	36.59	1390.5
<i>Wanduhr</i>	Unilateral Panoptix	33	35.24	1163.0
	Bilateral PanOptix	38	36.66	1393.0
<i>Hobbys</i>	Unilateral Panoptix	33	36.98	1220.5
	Bilateral PanOptix	36	33.18	1194.5
<i>Job</i>	Unilateral Panoptix	22	26.64	586.0
	Bilateral PanOptix	30	26.40	792.0
<i>Sport</i>	Unilateral Panoptix	26	27.0	702.0
	Bilateral PanOptix	32	31.53	1009.0
<i>Veranstaltungen</i>	Unilateral Panoptix	28	30.57	856.0
	Bilateral PanOptix	31	29.48	914.0
<i>Lesen</i>	Unilateral Panoptix	31	41.79	1295.5
	Bilateral PanOptix	38	29.46	1119.5
<i>Autofahren</i>	Unilateral Panoptix	28	33.43	936.0
	Bilateral PanOptix	36	31.78	1144.0
<i>Auto nachts</i>	Unilateral Panoptix	27	31.59	853.0
	Bilateral PanOptix	33	29.61	977.0
<i>Auto Regen</i>	Unilateral Panoptix	27	35.33	954.0
	Bilateral PanOptix	34	27.56	937.0
<i>Komputer</i>	Unilateral Panoptix	26	34.40	894.5
	Bilateral PanOptix	37	30.31	1121.5
<i>Handy</i>	Unilateral Panoptix	32	38.84	1243.0
	Bilateral PanOptix	37	31.68	1172.0
<i>Schminken/Rasieren</i>	Unilateral Panoptix	32	35.69	1142.0
	Bilateral PanOptix	36	33.44	1204.0

<i>Kochen</i>	Unilateral Panoptix	32	33.06	1058.0
	Bilateral PanOptix	34	33.91	1153.0
<i>Einkaufen</i>	Unilateral Panoptix	33	36.29	1197.5
	Bilateral PanOptix	38	35.75	1358.5

Tabelle 53: Ranks der statistischen Analyse der Tabelle 52.

<i>Mann-Whitney-U-Test</i>	1931.0
<i>Wilcoxon W</i>	4416.0
<i>Z</i>	-.634
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>	.526

Tabelle 54: EZM-Veränderung. Statistischer Vergleich zwischen Phakoemulsifikation und Nanosekunden-Laser mit dem Mann-Whitney-U-Test. EZM=Endothelzellmessung.

<i>Operationstechnik</i>	<i>N</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>
<i>Nanosekundenlaser</i>	59	67.27	3969.0
<i>Phakoemulsifikation</i>	70	63.09	4416.0
<i>Total</i>	129		

Tabelle 55: Ranks der statistischen Analyse der Tabelle 54.

Danksagung

Erstens möchte ich meinem Chefarzt und Mentor, Dr. med. G. Rohrbach, für seine vielseitige und unbegrenzte Unterstützung bei der Verwirklichung der Studie - Konzeption, Materialien, Patienten-Rekrutierung und -Generierung - danken.

Zweitens möchte ich meinem Doktorvater, PD Dr. med. A. Frings, für seine enorme Unterstützung bei jedem einzelnen Schritt der Studie und der Dissertation – Konzeption, Design, Anmeldung, Formulierung des Posters, Korrektur – danken.

Drittens möchte ich meinem initialen Doktorvater, Prof. G. Geerling, für seine signifikante Unterstützung des Projektes, danken.

Eine besondere Danksagung an meine liebe Kollegin, Dr. med. C. Geldof, für ihre Unterstützung bei der grammatischen Korrektur der Dissertation.

Außerdem möchte ich den lieben Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unserer Augenklinik, Frau Zuda, Frau Witzer, Herrn Witzer, Frau Ibishi, Frau Günduz, Frau Avdikou, Frau Pawlik, für ihre Hilfe bei der Durchführung der Messungen, danken.

Als letztes möchte ich herzlich meiner Ehefrau Katerina, für ihre kontinuierliche unterstützende Präsenz bei dieser langen wissenschaftlichen Reise, danken.