

Technische Universität München

Lehrstuhl für Augenheilkunde

**Ästhetische Aspekte vor und nach
Rekonstruktion von Irisdefekten mit einer
implantierbaren Irisprothese**

Michael Andreas Masyk

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

Vorsitzende/-r: Prof. Dr. Jürgen Schlegel

Prüfende/-r der Dissertation

1. Prof. Dr. Dr. (Lond.) Chris P. Lohmann
2. Prof. Dr. Hans-Günther Machens

Die Dissertation wurde am 13.02.2020 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 14.07.2020 angenommen.

Zusammenfassung.....	3
Danksagung.....	5
1. Einleitung.....	6
2. Zielsetzung dieser Arbeit.....	9
3. Die Iris	10
3.1 Anatomie und Funktion der Iris	10
3.2 Ursachen einer partiellen oder totalen Aniridie	11
4. Therapieoptionen bei Aniridie.....	13
4.1 Konservative Behandlung.....	13
4.2 Indikationen für eine Irisprothesenimplantation	14
4.3 Operative Behandlung	15
4.4 Die Irisprothese „Artificial Iris“ (HumanOptics).....	18
4.5 Chirurgische Implantationstechnik der Irisprothese	20
5. Material und Methoden	23
5.1 Patientencharakteristika.....	23
5.2 Patientenfragebogen.....	25
5.3 Objektive Befunddokumentation mittels Fotografie.....	26
5.4 Subjektive Analyse der Iris-Fotodokumentation durch Drittpersonen	28
5.4.1 Teilnehmer	28
5.4.2 Aufbau des Fragebogens	29
5.5 Objektive Analyse der Iris-Fotodokumentation durch eine vergleichende Similaritätsanalyse.....	30
5.5.1 Bildbearbeitungsprogramm GIMP 2.8.....	30
5.5.2 Darstellung von Farben im LAB Farbraum	31
5.5.3 Determinierung von Delta E (ΔE) durch die Formel CIE2000	34
5.6 Statistische Auswertung (T-Test)	36
6. Ergebnisse	37
6.1 Subjektive Selbstbewertung der Patienten.....	37
6.2 Subjektive Bewertung durch Drittpersonen	38
6.3 Objektive Analyse der Delta E Farbdifferenz und der Pupillenzentrierung	39
6.4 Beispiele.....	41
6.5 Interpretation der Ergebnisse	46
7. Diskussion	52
8. Limitierung.....	55
9. Zusammenfassung und Ausblick.....	56
10. Anhang.....	60
10.1 Abbildungsverzeichnis	60
10.2 Tabellenverzeichnis	61
10.3 Diagrammverzeichnis	61
10.4 Detaillierte Darstellung der Ursachen der Aniridie des Patientenkollektivs	62
10.5 CIE2000 Formel	64
11. Ethikvotum.....	65
12. Literaturverzeichnis	66

Zusammenfassung

Ziel dieser retrospektiven Forschungsarbeit ist es, die subjektiven ästhetischen Ergebnisse einer implantierten künstlichen Iris aus medizinischen Gründen anhand von speziellen Fragebögen sowohl beim Patientenkollektiv wie auch bei Drittpersonen zu eruieren und durch eine computergestützte Fotoanalyse zu ergänzen. Dabei gilt es, die Kriterien für ein optimales postoperatives ästhetisches Ergebnis bezüglich der Farbtreue und Pupillenzentrierung der individuell angefertigten Silikonirisprothesen zu definieren.

Zu diesem Zweck wurde ein Fragebogen für ein Patientenkollektiv von 70 Personen entwickelt, mit dem diese ihr eigenes Operationsergebnis anhand einer prä- und postoperativen Fotodokumentation beurteilten. Ergänzend hierzu wurden dieselben Nahaufnahmen der Augenpartien von 50 Augenärzten und 30 Laien mit Hilfe eines Fragebogens bewertet. Zur Ermittlung der Pupillenzentrierung wurde die Heyex Heidelberg Engineering Software verwendet, mit welcher der Abstand zwischen Hornhautmitte und Pupillenzentrum via Bildpixel gemessen und in Millimeter umgerechnet wurde. Zusätzlich wurde durch eine Darstellung der Farben im LAB-Farbraum eine computergestützte, vergleichende Similaritätsanalyse durchgeführt und die Farbtreue (Delta E) mit der Formel CIE2000 bestimmt.

Die anschließende statistische Auswertung der Daten durch den abhängigen T-Test ergab signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen Patientenbewertungen, Drittpersonenbewertungen und der computergestützten Bildanalyse. Objektiv gemessene kleine Delta E-Werte in den Farbabweichungen und gering abweichende Pupillenzentrierungen entsprachen einer besseren subjektiven Bewertung in den Fragebögen. Die Patienten bewerteten das operative Ergebnis unvorhergesehen deutlich besser als die befragten Drittpersonen. Die Gesamtbewertung des ästhetischen Ergebnisses auf einer Skala von 1 (sehr schlecht) bis 10 (exzellent) zeigte im Vergleich der Patienten mit Ärzten und Laien in beiden Fällen einen signifikanten ($p < 0,05$) Unterschied. (Patientenbewertung: 8,91/10; Ärztebewertung 7,73/10 und Laienbewertung 7,26/10). Auch beim Vergleich zwischen Ärzten und Laien wurde ein signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied festgestellt.

Die Ergebnisse vorliegender Studie haben gezeigt, dass bei einer objektiven Pupillendenzentrierung von $<0,25\text{mm}$ und einem $\Delta E < 10$ ein subjektives exzellentes Ergebnis erreicht werden kann. Eine Pupillendenzentrierung von $<0,3\text{mm}$ und einem $\Delta E < 12,5$ entspricht einem sehr guten Ergebnis und eine Pupillendenzentrierung von <15 und einem $\Delta E < 15$ einem guten Ergebnis. Als Gründe für die zum Teil signifikanten Unterschiede in der ästhetischen Bewertung durch Ärzte, Laien und Patienten werden neben funktionellen Verbesserungen wie einer reduzierten Blendwirkung vor allem auch psychologische Faktoren angenommen, die bei der Verbesserung des persönlichen Aussehens zum Tragen kommen. Die Patienten beurteilen das Gesamtbild vermutlich stärker auf emotionaler Basis und vor dem Hintergrund der stigmatisierenden Beeinträchtigung durch das Erscheinungsbild der zuvor bestehenden (partiellen, traumatischen) Aniridie. Da der individuelle psychologische Status bei der Bewertung der Operationsergebnisse eine wichtige Rolle spielt, bietet sich dieses – in dieser Studie nicht untersuchte - Thema für weitere Forschung in der Zukunft an.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen entgegen bringen, ohne deren Mithilfe die Anfertigung dieser Promotionsschrift niemals zustande gekommen wäre:

Mein Dank gilt zunächst Herrn Dr. med. Christian Mayer, meinem Mentor, für die Betreuung dieser Arbeit, die freundliche Hilfe und die mannigfache Ideengebung, die mir einen kritischen Zugang zu dieser Thematik eröffnete. Die zahlreichen Gespräche auf intellektueller und persönlicher Ebene werden mir immer als bereichernder und konstruktiver Austausch in Erinnerung bleiben. Ich habe unsere Dialoge stets als Ermutigung und Motivation empfunden.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Dr. C. Lohmann für die wissenschaftliche Betreuung als Doktorvater.

Zusätzlich wurde ich von meiner Frau Karina stets unterstützt und angespornt, wofür ich ihr herzlich danke.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, Eva und Taras Masyk, die mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglichten und denen ich diese Arbeit widme.

1. Einleitung

„Das Auge ist der Punkt, in welchem Seele und Körper sich vermischen.“

Friedrich Hebbels (1813-1863) Zitat spricht mit wenigen Worten die ganze Dimension und Bedeutungsvielfalt des menschlichen Sehannes und der Augen an. Das Auge ist mit Abstand das wichtigste Sinnesorgan des Menschen, der damit rund 80% aller Informationen über die Umwelt erhält. Gleichzeitig übernehmen die Augen eine wichtige Signalfunktion in der zwischenmenschlichen Kommunikation, indem sie zahlreiche Emotionen wie Angst, Freude, Trauer, Zweifel, Schmerz, Zuneigung oder Zorn ausdrücken können. Nach außen sichtbar kann sich die Pupille erweitern oder verengen, die Lider können ihre Stellung verändern und der Blickkontakt kann abgebrochen oder vermieden werden. Auch ohne sprachliche Verständigung erzeugt der Blickkontakt als zentrales nonverbales und völkerübergreifendes Kommunikationsmittel eine direkte Verbindung zu anderen Menschen und gibt Aufschluss über die Gefühle und Stimmung des jeweiligen Gegenübers. (Kajimura & Nomura, 2016)

Die aktive Aufnahme von Augenkontakt stellt eine wesentliche Grundlage für eine erfolgreiche Gesprächsführung dar und vermittelt dem Gesprächspartner zugleich Kompetenz, Glaubwürdigkeit und Selbstvertrauen. Der erste Eindruck entsteht oftmals innerhalb weniger Sekunden, indem auf unbewusster Ebene eine Entscheidung über Sympathie oder Antipathie getroffen wird. (Winston et al., 2002, S. 277 f.) Zahlreiche Studien belegen, dass tatsächlich minimale Informationen bei der Betrachtung von Gesichtern genügen, um Urteile über Glaubwürdigkeit, Kompetenz und Aggression zu fällen. (Ballew & Todorov, 2007 S. 12948 f.) Dieser soziale Evaluierungsprozess benötigt oft nicht mehr als 120 ms. (Eimer & Holems, 2007, S. 15 f.; Willis & Todorov, 2006, S. 592 f.)

Entwicklungsgeschichtlich ist die schnelle Einschätzung bei einem Blickkontakt auf die Hirnregion Gyrus fusiformis zurückzuführen, die für die rasche Erkennung von Gesichtern zuständig ist sowie auf die Amygdala, die eine schnelle,

emotionale Bewertung und Analyse von potentiellen Gefahren ermöglicht. (Marzi et al. 2014, S. 63 f.)

Dass der Mensch als soziales Wesen den offenen Blickkontakt zu seinen wichtigen Bezugspersonen braucht, ist in seiner frühen Entwicklung begründet und genetisch bestimmt. (Papageorgiou et al., 2015) Bereits Babys sind besonders auf die Kommunikation „von Angesicht zu Angesicht“ angewiesen, um „*sich im Anderen zu spiegeln und ein Gefühl für sich selbst zu entwickeln*“. (Brisch & Hellbrügge, 2008, S. 86) Eye-Tracking Experimente haben gezeigt, dass zu wenig Blickkontakt erschwerende Folgen für die Entwicklung stabiler zwischenmenschlicher Beziehungen haben kann und darüber hinaus auch ein Indiz für eine autistische Veranlagung des Kleinkindes sein könnte. (Constantino et al., 2017, S. 340 f.) Die Interaktion per Blickkontakt zwischen Eltern und Kleinkindern kann dazu führen, dass sich unter anderem ihre Blicke, Emotionen und Herzschlag synchronisieren. Auch eine Angleichung der Hirnfrequenzen, die Kommunikation und Lernen unterstützt, konnte von Forschern festgestellt werden. (Leong et al., 2017, S. 13290 f.)

Unzweifelhaft spielt das Gesichtsaussehen selbst bei solchen Entscheidungen eine Rolle, die sich eigentlich auf eine objektive und kritische Bewertung gründen sollen. (Zebrowitz & Montepare, 2005, S. 1565 f.) Aus diesem Grund stellt eine offensichtliche Veränderung - sei es Asymmetrie, Farbveränderungen oder gar das Fehlen eines Auges - eine extrem auffallende und oft irritierende Unregelmäßigkeit dar. Besonders die Aniridie, die das partielle oder totale Fehlen der Iris eines oder beider Augen bezeichnet, verursacht neben den visuellen Symptomen wie Blendung und reduziertem Visus häufig auch eine starke ästhetische Beeinträchtigung des Betroffenen. In vielen Fällen scheut ein betroffener Patient den direkten Augenkontakt und wird dadurch weniger gut beurteilt als dies mit zwei gesunden Augen der Fall wäre. Diese soziale Hemmung, die oft einhergeht mit einem verringerten Selbstwertgefühl und Depressionen, bedeutet für den Patienten eine lebenslange Stigmatisierung, die er aus eigener Kraft kaum überwinden kann.

Herkömmliche Hilfsmittel bei der Behandlung der Aniridie wie z.B. getönte Blendschutzgläser erfüllen zwar den Zweck der Blendungsreduzierung, stellen aber große Hindernisse für eine effektive zwischenmenschliche Kommunikation dar. Daneben gibt es auch Iris-Print-Kontaktlinsen, die aber nicht für jedes traumatisch geschädigte Auge geeignet sind oder einfache Irisprothesen, die funktionell die Blendung, aber nicht gleichzeitig das kosmetische Aussehen korrigieren. (Beuschel & Todorova, 2018, S. 42 f.; Lapointe, 2010, S. 2512) Seit 2007 gibt es mit der „Artificial Iris[®]“ (HumanOptics, Erlangen, Deutschland) eine silikonbasierende, individuelle und manuell gefertigte Irisprothese. (HumanOptics, 2018) Mit dieser Prothese können nicht nur die visuellen Symptome behandelt werden, sondern gleichzeitig auch die möglicherweise ernsthaften psychologischen Belastungen durch eine beeinträchtigte Ästhetik. (Sidharth, 2010, S. 190 f.)

Um mit diesen modernen Irisprothesen den Patienten eine zufriedenstellende bis sehr gute Möglichkeit der ästhetischen Korrektur anzubieten, ist es notwendig, die Kriterien für ein optimales ästhetisches Ergebnis - in erster Linie die Farbtreue mit entsprechender Oberflächenstruktur und exakte Pupillenzentrierung - möglichst präzise zu definieren. Beide Parameter, so lautet die Forschungshypothese vorliegender Studie, sind von hoher Bedeutung für einen möglichst naturgetreuen Irisersatz und die Zufriedenheit des Patienten.

2. Zielsetzung dieser Arbeit

Es gibt bereits zahlreiche Arbeiten über diverse Implantationsverfahren von verschiedenen Irisprothesen sowie deren funktionellen Ergebnissen und möglichen Komplikationen. Bis dato ist dem Autor jedoch keine Studie mit einer detaillierten Auswertung der subjektiven Beeinträchtigung des ästhetischen Aspektes durch einen Irisdefekt und deren Beeinflussung durch Versorgung mit einer Irisprothese bekannt.

Die Mehrheit der durchgeführten Studien (Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.; Mayer, 2016a, S. 227 f.; Koch, 2003) spricht sich dafür aus, dass der Patientenwunsch nach einer ästhetischen Verbesserung nicht der alleinige Grund für einen chirurgischen Eingriff wie den der Irisprothesenimplantation sein sollte. Priorität sollte immer eine mögliche Visusverbesserung sowie eine Verminderung der Blendung sein, die bei jeder Aniridie ein erhebliches Problem darstellt. Auch können psychische Belastungen, die in den meisten Fällen durch die kosmetische Auffälligkeit entstanden sind, nicht für gering eingeschätzt werden. Deshalb kann es als großer Vorteil der implantierbaren Irisprothese angesehen werden, dass mit ihrer medizinisch indizierten Verwendung gleichzeitig auch psychische und soziale Probleme der Patienten verbessert werden können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es nun, die subjektiven ästhetischen Auswirkungen mit speziell erstellten Fragebögen und mit einer computergestützten Analyse der Fotos die Farbtreue und Pupillenzentrierung der individuell angefertigten Irisprothese aus Silikon objektiv zu evaluieren und somit Kriterien für ein theoretisch optimales, postoperatives Ergebnis zu definieren. Ein weiteres Ziel ist es, subjektive Unterschiede in den Bewertungen durch die Patienten und den Beurteilungen durch Laien und Augenärzte festzustellen und nach Erklärungen für mögliche Bewertungsunterschiede zu suchen.

3. Die Iris

3.1 Anatomie und Funktion der Iris

Die Iris (Regenbogenhaut) formt den vorderen Teil der Uvea und fungiert als Blende durch die lichtabhängige Anpassung des Pupillendurchmessers. (Slomovits, 1998, S. 76) Der anteriore Teil der Iris wird als Stroma bezeichnet und stammt hauptsächlich aus dem Mesoderm. Die darin enthaltenen Pigmentzellen sind ektodermalen Ursprungs. Dahinter liegt das Pigmentblatt (pars iridica retinae), dessen Ursprung ebenfalls im Ektoderm liegt und das durch die Filterung des Streulichts die Lichtintensität reguliert. (Graumann & Sasse, 2005, S. 34)

Die Pigmentzellen im Stroma bestimmen die Augenfarbe, wobei eine höhere Anzahl an Pigmenten für eine braune Augenfarbe und eine niedrigere für eine grün-blaue Augenfarbe bestimmend ist. (Hartmann et al., 2009, S. 130) Die Iris setzt mit ihrer kreisförmigen Wurzel am Ziliarkörper an und umschließt mit ihrem inneren Rand (margo pupillaris) die Pupille. Die Verengung der Pupille erfolgt durch den ringförmigen, glatten, parasymphatisch innervierten Musculus sphincter pupillae, der sich nah am Pupillenrand befindet. Der glatte, sympathisch innervierte Musculus dilator pupillae verläuft auf der Rückseite der Iris und weitet die Pupillenöffnung. (Kohnen, 2011, S. 22)

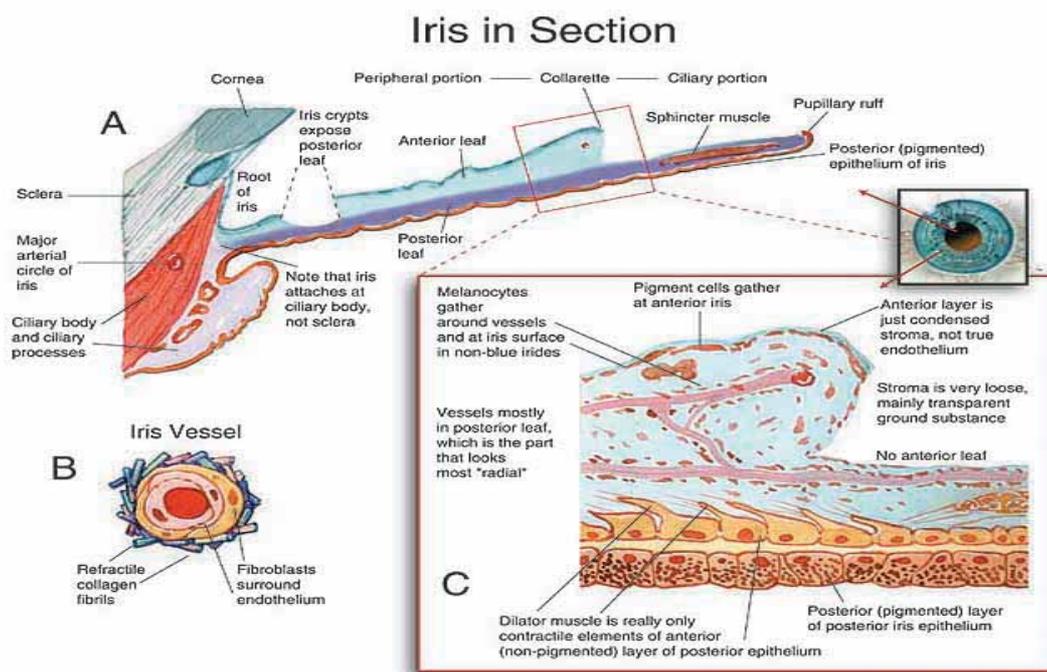


Abb. 1: Anatomie der Iris

3.2 Ursachen einer partiellen und totalen Aniridie

„Als Aniridie wird das Fehlen des Irisgewebes definiert, welches partiell (Abb. 2), subtotal oder total (Abb. 3) auftreten kann“.(Thomas, 2013, S. 786 f.) Die Ursachen hierfür sind vielfältig und komplex und stellen oft nicht die einzige vorhandene Erkrankung am betroffenen Auge dar. (Szurman & Jaissle 2001, S. 720 f.)



Abb. 2: Patient mit partieller linkseitiger Aniridie nach Trauma



Abb. 3: Patientin mit totaler linkseitiger Aniridie nach Trauma

Zu unterscheiden sind hierbei die kongenitale (Sundmacher et al. 1994, S. 180 f.; Reinhard et al., 2000, S. 375 f.) von der erworbenen Aniridie. Die kongenitale Aniridie ist eine seltene, bilaterale panokulare Anomalie mit einer Häufigkeit von 1:40.000 bis 1:100.000 und ist meistens mit einer Mutation des PAX6-Gens (auf 11p13 lokalisiert) assoziiert. (Lee et al., 2008, S. 708 f.; Chen et al., 2018, S. 181 f.)

Neben der partiellen oder kompletten Aniridie zeigen sich bei diesen Patienten zusätzlich ein Nystagmus und eine Hypoplasie der Fovea, die mit einem

reduzierten Visus einhergehen. Als Spätkomplikationen treten neben Glaukom auch Katarakt und Keratopathien auf. (Hingorani et al., 2012, S. 1011 f.; Mavrikakis et al., 2005, S. 205 f.)

Die Verteilung von familiärem und sporadischem Auftreten liegt bei 2:1 (Nelson et al., 1984, S. 621 f.), wobei in seltenen Fällen dieses Krankheitsbild auch ohne Mutation auftritt. (Traboulsi et al., 2008, S. 760 f.) Zu den kongenitalen Erscheinungen zählen auch die kongenitalen Iriskolobome. (Axenfeld, T. & Pau, H., 1980, S. 294; Mavrikakis et al., 2005, S. 205 f.)

Die Hauptursache für eine Aniridie stellt jedoch das okuläre Trauma dar (Sakellaris et al., 2009, S. 1084 f.; Hanumanthu & Webb, 2003, S. 1236 f.; Chung et al., 2009 S. 108 f.), wozu in erster Linie penetrierende bzw. perforierende Verletzungen gehören, die meist nicht nur die Iris, sondern auch weitere anatomische Strukturen des Auges betreffen. Der traumatische Katarakt wird gewöhnlich von Iriskolobomen, Seclusio pupillae, Mydriasis, Iridodialysis, Synechierungen, Irispigmentblatt-Defekten und anderen pathologischen Veränderungen der Pupille begleitet. (Viestenz & Kuchel, 2002, S. 266 f.; Cavallini et al., 2004, S. 287 f.) Darüber hinaus wurden auch Aniridien nach stumpfen Traumata in pseudophaken Augen beschrieben. (Oltra et al., 2012, S. 334 f.; Shet & Laidlaw, 2006, S. 163 f.; Mikhail et al., 2012, S. 237 f.)

Zu den iatrogenen Verletzungen der Iris gehören zum Beispiel Irisdefekte, die während einer Kataraktoperation, bei der Entfernung von Tumoren oder durch einen intraoperativ verwendeten Laser verursacht wurden. (Thompson, 1999, S. 808 f.; Petousis, 2011, S. 754 f.) Weitere Ursachen können die traumatische Mydriasis (Burk et al., 2001, S. 1732 f.; Srinivasan et al., 2007, S. 1109 f.), Irisatrophie (Khng & Snyder, 2005, S. 2051 f.) Iridektomie (Keizer et al., 2010, S. 953 f.), rezidivierende anteriore Uveitis (Khng & Snyder, 2005, S. 2051 f.), das Iridokornealendothelial (ICE-) Syndrom und das Axenfeld-Rieger Syndrom (Ninios et al., 2011, S. 585 f.; Guerriero et al., 2011, S. 45 f.) sein. In manchen Fällen ist zwar das Irisstroma intakt, jedoch fehlt das Pigmentblatt, was zum Beispiel beim okularen Albinismus (Wong, 2005, S. 501 f.) und selten nach einer Uveitis oder

extrem selten als Nebenwirkung von manchen Medikamenten zu beobachten ist. (Srinivasan et al., 2007, S. 1109 f.)

4. Therapieoptionen bei Aniridie

4.1 Konservative Behandlung

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, die Aniridie konservativ sowie operativ zu behandeln, wobei sich eine entsprechende Entscheidung sich auf multiple Faktoren stützt. Diese sind unter anderem der Zustand des Bulbus (vor allem Kornea, Vorderkammersituation, vorhandene Fläche und Verteilung der Rest-Iris, Linsenstatus etc.), die Symptomatik, die persönlichen Wünsche des Patienten und die Frage nach der Kostenübernahme der jeweiligen Technik. (Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.; Mayer, 2016a, S. 227 f.)

Zur konservativen Versorgung zählen Lichtschutzbrillen und bedruckte korneale Kontaktlinsen. (Mayer, 2016a, S. 227 f.) Auch die Lichtschutzbrille löst in vielen Fällen das Problem der Blendung und kann beim Tragen einer entsprechenden Tönung der Gläser zugleich die veränderte Ästhetik etwas kaschieren. (Mayer & Hoffmann, 2015, S. 113 f.) Für die meisten Patienten stellt dies jedoch keine definitive Lösung dar und wird daher nur als mittelfristige Verbesserungsmaßnahme akzeptiert. (Käsmann-Kellner)

Individuell angefertigte Iris-Print-Kontaktlinsen (Abb. 4) bieten eine weitere Therapieoption der nicht operativen visuellen und kosmetischen Behandlung der Aniridie. Problematisch gestaltet sich hier oft die posttraumatische Anatomie der Kornea und Konjunktiva. Durch Vernarbungen oder bei Zustand nach einer Keratoplastik kann sich eine Anpassung als sehr schwierig bis unmöglich gestalten, bzw. der Tragekomfort kann für die Patienten deutlich reduziert sein. (Grunauer-Kloeve Korn et al, 2004, S. 652 f.; Luo et al., 2012, S. 499 f.) Die Iris-Print-Kontaktlinse kann aber als Versuch vor einem operativen Eingriff getragen werden, um ein postoperatives Ergebnis zu simulieren.



Abb. 4: Iris-Print-Kontaktlinse: mit und ohne Kontaktlinse

Eine weitere Möglichkeit ist die Tätowierung der Kornea (Abb. 5) durch intralamelläre und oberflächliche Farbtechniken sowie Verfahren, welche durch den Femtosekundenlaser unterstützt werden. (Alio, 2011a, S. 1397 f.; Kim et al., 2009, S. 80 f.; Alio et al., 2001, S. 1744 f.)

Es gibt eine Vielzahl an Farben, jedoch ist das kosmetische Ergebnis trotz Überdeckung des Defektes meist nicht zufriedenstellend. (Alio et al., 2010, S. 245 f.) Sowohl Kontaktlinsen als auch eine Hornhauttätowierung rekonstruieren einen Defekt vor der Hornhaut. Dies ist jedoch auch vom Ungeübten im Alltag rasch als unnatürlicher Augenzustand erkennbar.

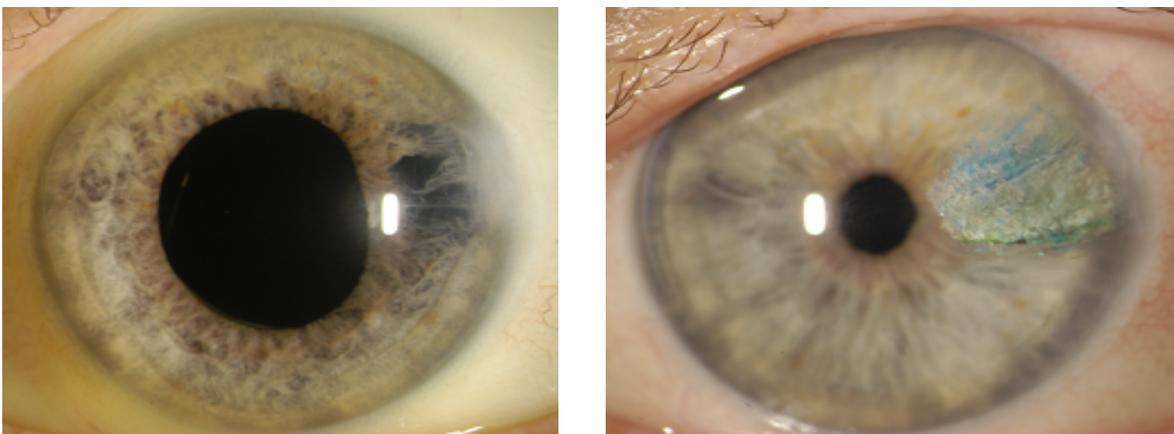


Abb. 5: Kornea Tattoo: Irisdefekt temporal und Zustand nach intralamellärer Tätowierung

4.2 Indikationen für eine Irisprothesenimplantation

Der Verlust des Irisdiaphragmas verschlechtert die posttraumatische Funktion und kann unter anderem zu einem reduzierten Visus, Doppelbildern, erhöhter Blendung, signifikanten Photophobien, optischen und chromatischen Abbildungsfehlern, reduziertem Kontrastsehen und Tiefenwahrnehmung führen.

(Mayer, 2016a, S. 227 f.; Mayer & Hoffmann, 2015, S. 113 f.) Weitere Komplikationen können photopische, retinale Schäden sowie die Entwicklung von kornealer Dystrophie und einem sekundärem Glaukom sein. Auch eine retinale Ablösung und ein zystoides Makulaödem können als Folgen auftreten. (Lee et al., 2010, S. 205 f.; Mayer et al., 2016b, S. 1011 f.)

Zusätzlich beklagen viele Patienten die auffällige ästhetische Veränderung und suchen nach Verbesserungsmöglichkeiten. (Williams, 2001, S. 11 f.; Neuhann & Neuhann, 2010, S. 60 f.; Thomas, 2013, S. 786 f.) Fast alle Patienten haben mehr oder weniger Probleme mit ihrem persönlichen Erscheinungsbild, abhängig von der Irisfarbe, der individuellen Lebensphilosophie und der subjektiven Beurteilung ihres eigenen Körperbildes. (Koch et al., 2014, S. 376 f.) Besonders bei jüngeren Patienten mit traumatischen Aniriden stellt eine Verbesserung der Ästhetik durch eine Irisrekonstruktion einen legitimen und wünschenswerten Eingriff dar, um den Betroffenen bestmögliche Chancen für ihre persönliche private wie berufliche Entwicklung zu verschaffen. (Budo, 2012; Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.) Ziel einer Irisprothesentransplantation muss deshalb neben der Verbesserung der funktionellen Komponenten auch die entsprechende Auswahl der Irisprothesenfarbe sowie die optimale postoperative Zentrierung der künstlichen „Pupille“ sein, um zugleich ein gutes ästhetisches Ergebnis zu erzielen. (Mayer, 2016a, S. 227 f.)

NewColorIris[®] (BrightOcular), ein anderes Implantat, das zu dem Zweck des Modetrends einer permanenten Farbveränderung der Iris vermarktet wird, hat – wie in mehreren Studien gezeigt – oft schwere und unberechenbare, okuläre Komplikationen zur Folge. Die Gründe dafür liegen insbesondere in der Lokalisation der Kunstiris in der Vorderkammer. (Sikder et al., 2011, S. 435 f.; Anderson et al., 2010, S. 700 f.; Arthur et al., 2009, S. 790 f.; Castanera et al., 2010, S. 648 f.; Hull et al., 2010, S. 235 f.; MacDonald et al., 2010, S. 281 f.; Thiagalingam et al., 2008, S. 1222 f., George et al., 2011, S. 872 f.) Das NewColorIris Implantat ist deshalb in Deutschland nicht zur Behandlung der Aniridie zugelassen und darf nicht mit dem Implantat in der vorliegenden Studie verwechselt werden.

4.3 Operative Behandlung

Die operativen Möglichkeiten richten sich in der Regel nach der Ursache und Größenordnung des Defektes. So können Iriskolobome und kleinere Defekte oft mit einer primären Irisnaht rekonstruiert werden. Jedoch ist die Dehnbarkeit des Irisstromas limitiert, so dass Nähte, welche unter Spannung stehen, oft über die Jahre hinweg durch das Irisstroma "hindurchwandern" und sich die ursprünglichen Symptome und eine reduzierte Ästhetik erneut einstellen. (Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.; Mayer & Hoffmann, 2015, S. 113 f.) Auch die traumatische Mydriasis kann nur in wenigen Fällen mit einer Tabaksbeutelnaht versorgt werden. Sollte das Irisgewebe für eine Rekonstruktion mit Naht jedoch nicht ausreichen, ist die Implantation eines Irisdiaphragmas die einzige intraokulare Reparaturmöglichkeit. (Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.)

Die erste künstliche Iris war eine Modifikation des Kapselspannrings. Dieser Kolobomring wurde von Volker Rasch (Fishkind, 2017, S. 263) entworfen, von Kenneth J. Rosenthal modifiziert und in einen Patienten mit Axenfeld-Rieger Syndrom 1996 implantiert. (Olson, et al., 2008, S. 1674 f.) Weitere Veränderungen der künstlichen Iris wurden unter der Bezeichnung "Morcher Irisdiaphragma" (Morcher GmbH, Stuttgart, Deutschland, Abb. 6) in Zusammenarbeit mit Sundmacher entwickelt und 1991 erstmalig implantiert. (Sundmacher et al. 1994, S. 180 f.; Reinhard et al., 2000, S. 375 f.)

Morcher Implantate sind schwarze PMMA Implantate mit verschiedenen Typen von Verschluss-Segmenten zur Korrektur einer totalen oder partiellen Aniridie, welche in den Kapselsack und in den Sulcus mit der Möglichkeit einer skleralen Fixation eingesetzt werden. (Sundmacher et al. 1994, S. 180 f.) Sie besitzen die gleichen Eigenschaften wie ein Kapselspannring und können auch für eine instabile Kapsel verwendet werden, die durch eine Zonulolyse verursacht ist. Diese Implantate korrigieren zwar die Aniridie, jedoch nicht die Aphakie und das kosmetische Ergebnis ist unsicher. (Sundmacher et al. 1994, S. 180 f.)

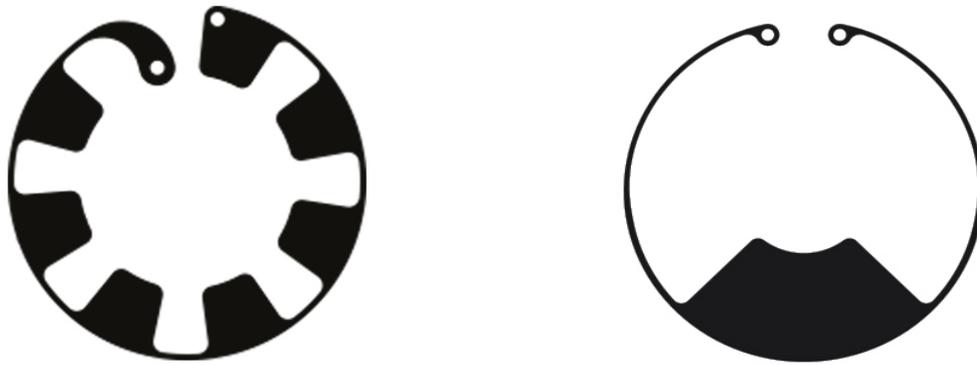


Abb. 6: Beispiele von Morcher Iris-Segment-Implantaten

Später entwickelte die Morcher GmbH ein schwarzes Diaphragma, kombiniert mit einer intraokularen BDI Linse (BDI = black diaphragm intraocular lens, Abb. 7), welche dieselben Möglichkeiten zur Fixation aufweist, jedoch wie eine reguläre intraokulare Linse zu handhaben ist. Sie besteht aus einer schwarzen Irisplatte (12,5-14 mm Durchmesser), dem Diaphragma (7-10 mm Durchmesser) mit zentraler Optik und Haptik und ist mit verschiedenen Optikdurchmessern (3-5 mm) sowie Haptiken, die auch zur skleralen Fixation geeignet sind, erhältlich. (Brown et al., 2005, S. 157 f.; Osher & Burk, 1999, S. 1540 f.; Burk et al., 2001, S. 1732 f.)



Abb. 7: BDI Linse

Die Irisrekonstruktionslinse (Gesamtdurchmesser 13,75 mm, Diaphragmadurchmesser 9,0 mm, Optikdurchmesser 4 mm) von Ophtec (Ophtec USA; Boca Ration, FL, USA) ähnelt der Irisblenden-IOL von Morcher in ihrer Beschaffenheit, jedoch sind verschiedene Farbvarianten (braun, blau und grün) erhältlich. Man hat hierbei die Möglichkeit zur skleralen, Sulcus- und intrakapsulären Fixation. Dies war der

erste Schritt zu einer ästhetisch annehmbaren Lösung der intraokularen operativen Versorgung der Aniridie. (Price et al., 2004, S. 1847 f.; Rosenthal, 2004, S. 78 f.) Aufgrund der begrenzten Farb- und Strukturauswahl ist die ästhetische Rehabilitation jedoch deutlich begrenzt. Nichtsdestotrotz zeigte sich eine hohe Patientenzufriedenheit, da vor allem die Blendempfindlichkeit reduziert wurde. Als Komplikationen wurden das post-operative Glaukom sowie Endothelschäden mit anschließender Hornhaut-dekompensation beschrieben. (Aslam et al., 2008, S. 1705 f.; Auffarth et al., 2010, S. 241 f.; Roman et al., 2009, S. 320 f.)

Bei den beiden Varianten von Morcher und Ophtek ist eine relativ große Inzision von 10 mm oder mehr für die Implantation notwendig. Eine andere Option zur kombinierten operativen Behandlung von Aniridie und Aphakie ist die "Artisan Iris Reconstruction Intraocular Lens" (Ophtec, Groningen, Holland). Dieses Iris-Lens-Diaphragma mit den erhältlichen Farben schwarz, blau, braun und grün wird in die Vorderkammer implantiert und durch 3 Elemente im Irisstroma fixiert. (Sminia et al., 2008, S. 268 f.) Es sind kleinere Inzisionen (5,0-8,5 mm) notwendig, jedoch ist dieses Implantat nur bei einer partiellen oder posttraumatischen Mydriasis verwendbar. Die Lokalisation in der Vorderkammer kann unter Umständen Schäden am Endothel verursachen. (Auffarth et al., 2010, S. 241 f.) Zu diesem Verfahren wurden zwei kleinere Fallserien publiziert, welche über ein gemischtes kosmetisches Ergebnis berichten. (Auffarth et al., 2010, S. 241 f.; Sakellaris et al., 2009, S. 1084 f.)

Basierend auf den Erfolgen und Misserfolgen der Vorgänger wurde im Jahre 2002 schließlich das erste faltbare Silikonimplantat (Dr. Schmidt Intraocularlinsen GmbH, Deutschland, vertrieben durch HumanOptics AG) durch Prof. Hans-Reinhard Koch implantiert, das seit 2008 im regelmäßigen klinischen Einsatz ist. (Koch, 2003) Die FDA Zulassung erfolgte 2018.

4.4 Die Irisprothese „Artificial Iris“ (HumanOptics)

Die biokompatible, flexible, falt- und zuschneidbare künstliche Iris besteht aus Silikon (Abb. 8) (Artificial Iris (AI), HumanOptics, Erlangen). (Mayer, 2016a, S. 227 f.) Sie ist prinzipiell kunstlinsenunabhängig einzusetzen, kann jedoch, wenn erforderlich, mit einer IOL (intraokularen Linse) kombiniert werden. (Mayer & Hoffmann, 2015, S. 113 f.) Die Vorderseite wird, basierend auf einer fotografischen Vorlage des gesunden Partnerauges, mit verschiedenfarbigem Silikon manuell und individuell nachgebildet. Die Rückseite ist durch eine glatte, schwarze und lichtundurchlässige Silikonschicht gekennzeichnet. (Mayer, 2016a, S. 227 f.) Durch eine Einarbeitung der Farbpigmente in die verschiedenen Schichten des Silikons wird ein dreidimensionaler Eindruck erzeugt, welcher der natürlichen Irisoberfläche mit ihren Krypten ähnelt. Damit kann ein optimales ästhetisches Ergebnis erreicht werden, was mit oberflächlich angefärbten Kunststoffprothesen nicht möglich ist. (Khng & Snyder, 2005, S. 2051 f.)

Die Farbselektion (Abb. 8) der künstlichen Iris erfolgt auf der Grundlage eines hochauflösenden Fotos des Partnerauges. Falls eine beidseitige Aniridie vorliegt, wird die Farbwahl gemeinsam mit dem Patienten entschieden.

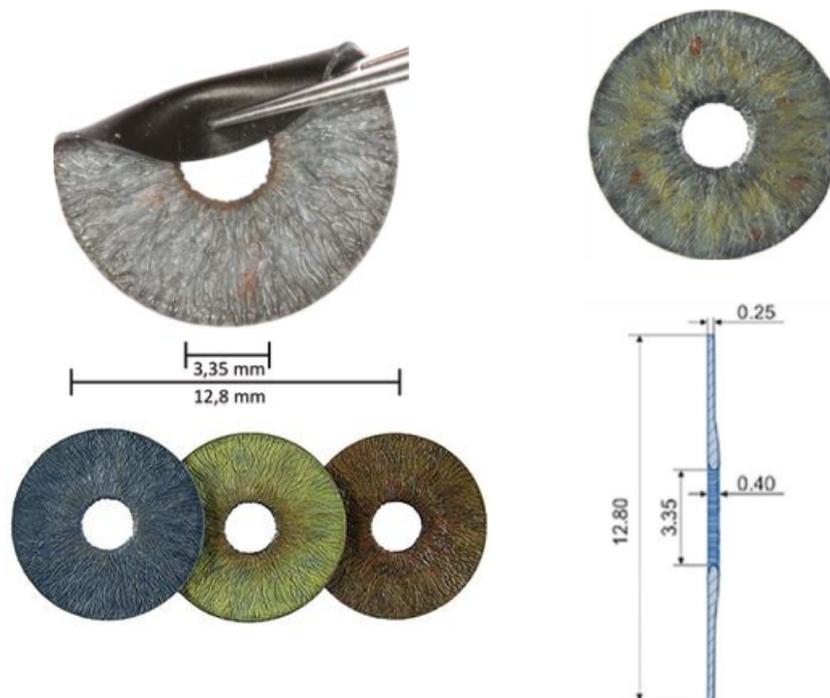


Abb. 8: Das Artificial Iris Implantat: Spezifikationen

Der Durchmesser beträgt 12,8 mm, die fest vorgegebene Pupillenöffnung 3,35 mm. Die Dicke ist nach außen hin abnehmend und beträgt 0,4 mm am Pupillenrand und 0,25 mm in der Peripherie. (Mayer et al., 2016b, S. 1011 f.) Das Implantat ist in zwei Varianten erhältlich. (Mayer, & Hoffmann, 2015, S. 113 f.) Zum einen mit einem eingebetteten Gewebegitter, welches bei geplanter Nahtfixation verhindern soll, dass die Nähte bei stärkeren Zugkräften aus dem weichen Silikon ausreißen. (Mayer et al., 2016b, S. 1011 f.) Dies ist vor allem bei Teilprothesen sehr wichtig, da neben der transskleralen Sulcusnaht noch weitere Seite-zu-Seite-Nähte wichtig für die Stabilisierung des Implantates sind. (Rana et al., 2013, S. 93 f.) Zum andern gibt es eine Variante ohne Gewebe, die flexibler ist, ohne Probleme gefaltet werden kann und ist vor allem für die Vollprothese gedacht ist. Die Implantation der künstlichen Iris erfolgt immer in den Sulcus ciliaris oder in den Kapselsack, jedoch nie bei einem phaken Auge. (Mayer, 2016a, S. 227 f.) Die Implantation wird nur bei aphaken oder pseudophaken Augen empfohlen, da ein Katarakt, welcher sich postoperativ deutlich schneller entwickelt, durch den festen Pupillendurchmesser der Prothese nicht zu operieren ist. (Mayer, 2016a, S. 227 f.)

Die Größe kann bei beiden Varianten durch einen Trepan oder eine Schere beliebig verkleinert werden. (Mayer, 2016a, S. 227 f.) Dabei sollte jedoch erwähnt werden, dass bei der Irisprothese mit Gewebegitter durch das Stanzen die scharfkantigen Gewebefasern freigelegt werden, welche zu einer chronischen Reizung des umliegenden Gewebes führen können. Deshalb sollte der Durchmesser für Teilprothesen grundsätzlich kleiner gewählt werden. (Mayer, 2016a, S. 227 f.; Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.;)

4.5 Chirurgische Implantationstechnik der Irisprothese

Die Rekonstruktion von Augen mit Pupillenanomalien stellt eine anspruchsvolle chirurgische Herausforderung dar, da der Irisdefekt oft mit anderen Pathologien und posttraumatischen anatomischen Veränderungen einhergeht. Aus diesem Grund muss der Eingriff präoperativ bis ins Detail geplant und alle entsprechenden

Voruntersuchungen durchgeführt werden, damit intraoperative Komplikationen vermieden werden. (Mayer et al., 2016b, S. 1011 f.; Mayer, 2016a, S. 227 f.) Das komplexe Krankheitsbild erfordert eine sehr detaillierte Aufklärung des Patienten. Die Irisrekonstruktion sollte erst erfolgen, wenn ein möglichst reizfreier Zustand des betroffenen Auges erreicht ist. (Mayer, 2016a, S. 227 f.)

Der erforderliche Irisdurchmesser wird von Fall zu Fall entschieden und mit Hilfe eines Trepanns auf die gewünschte Größe zurechtgestanzt. (Mayer, 2016a, S. 227 f.) Hierbei ist es wichtig, die richtige Trepanationsgröße zu wählen, um eine möglichst exakte und stabile Pupillenzentrierung nach der Operation zu gewährleisten. (Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.) HumanOptics berechnet den optimalen Durchmesser mit dem horizontalen Weiß-zu-Weiß-Abstand plus 0,5 mm, wobei erfahrungsgemäß ein geringfügig kleinerer Durchmesser des Sulcus ciliaris als der präoperativ ermittelte anzustreben ist. (Mayer et al., 2016b, S. 1011 f.; Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.) Für fast alle Augen sind als Richtgröße 11 mm Stanzdurchmesser geeignet. Für kleine Augen sind 10 mm empfohlen. Da die Prothese sehr flexibel ist, reicht ein korneoskleraler Tunnel von ca. 2,8 mm bei reiner Sulcusimplantation aus. (Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.)

Nachdem die Prothese gefaltet wurde, wird sie mit einer Pinzette in die Vorderkammer implantiert. (Mayer et al., 2016b, S. 1011 f.) Hierbei gilt es vor allem, das Endothel nicht zu berühren. Um einen postoperativen Pupillarblock mit sekundärem Druckanstieg möglichst zu vermeiden, werden vor der Implantation mehrere chirurgische Iridektomien an allen Implantaten angelegt. Falls die Irisprothese direkt in den Kapselsack implantiert wird, ist dies nicht erforderlich. (Mayer, 2016a, S. 227 f.)

Es empfiehlt sich, die Iridektomien mit Hilfe eines Trepanns konkav am Rand anzulegen, um ein Einreißen der weichen Irisprothese, wie dies oft bei keilförmigen, mit der Schere angelegten Iridektomien der Fall ist, während der Implantation zu vermeiden. Bei einer partiellen oder subtotalen Aniridie kann die Rest-Iris als anteriore Begrenzung zum Kammerwinkel dienen. Die optische Achse sollte stets frei sein. (Mayer, 2016a, S. 227 f.; Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.)

Zusammen sind die intraokulare Linse (0,5-1,0 mm), künstliche Iris (0,25 bis 0,4 mm) und Rest-Iris (ca. 0,5 mm) deutlich dünner als die Dicke einer humanen Linse (3,5-5,0 mm), so dass postoperativ ähnliche anatomische Raumverhältnisse im vorderen Augenabschnitt wie bei normalen pseudophaken Augen bestehen.

Die Fixationsnähte der IOL (intraokularen Linse) und der künstlichen Iris können beispielsweise unter Skleralamellen versenkt oder intraskleral meanderartig geführt werden, um ein unbeabsichtigtes Entfernen oder Durchstoßen der Bindehaut zu verhindern. Sie erfolgen an maximal drei Stellen, bei Vorhandensein einer Rest-Iris gegebenenfalls auch an weniger. Die Sklerafixation erfolgt durch eine Z-Naht oder Knotenbildung unter vorpräparierten Skleradeckeln. Durch die Fadenfixation der Silikon-Iris wird eine präzise Justierung und Positionierung des Implantates mit einer optimalen Zentrierung der Pupille ermöglicht. Dies ist neben der individuellen Farbgebung der zweite wichtige Punkt für ein zufriedenstellendes kosmetisches Ergebnis. (Mayer, 2016a, S. 227 f.)

C. Mayer erwähnt in seiner Publikation 2016 insgesamt sechs Techniken, welche in unterschiedlichen Situationen zum Einsatz kommen. (Mayer, 2016a, S. 227 f.; Moghimi et al., 2007, S. 660 f.) Eine detaillierte Darstellung dieser Techniken ist für diese Arbeit nicht relevant, da das Interesse dem ästhetischen Ergebnis der Irisprothese gilt.

Die Instabilität und Fehlpositionierung der Prothese bei einigen Patienten nach der Implantation werden in einzelnen Studien erwähnt. (Moghimi et al., 2007, S. 660 f.; Sakellaris et al., 2009, S. 1084 f.; Hanumanthu & Webb, 2003, S. 1236 f.) Andere Komplikationen wie Glaukom, Nachdunkeln der Rest-Iris und die Notwendigkeit weiterer Operationen sind mit der Implantation der Irisprothese mit integriertem Gewebegitter assoziiert, jedoch nicht mit der Variante ohne Gewebegitter. (Mayer et al., 2016a, S. 227 f.; Rickmann et al., 2016, S. 1419 f.)

Die postoperative Nachsorge der Patienten ähnelt der einer typischen Kataraktoperation. Zusätzlich ist die Kontrolle des Augeninnendrucks und der Endothelzellzahl wichtig. (Szurman & Jaissle, 2001, S. 720 f.) Prinzipiell kann die

Irisprothese zu einem späteren Zeitpunkt - falls bei nicht beherrschbaren Komplikationen notwendig - wieder explantiert werden. (Mayer et al., 2016b, S. 1011 f.) Der Augenhintergrund kann trotz des fixen Pupillendurchmessers mit Hilfe von Indentation untersucht werden. Auch lasergestützte Kapsulotomien sowie Vitrektomien sind möglich. (Mayer, 2016a, S. 227 f.)

5. Material und Methoden

5.1 Patientencharakteristika

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Analyse von Patientendaten und von Fragebögen für Drittpersonen, die im 7-Jahres-Zeitraum von 01.01.2011 bis einschließlich 31.12.2017 bei der Behandlung von Patienten dokumentiert wurden. Alle wurden von demselben Augenarzt operiert und erhielten im Klinikum rechts der Isar eine künstliche Iris in Allgemeinanästhesie.

Die Auswertung erfolgte vom 01.01.2018 bis zum 01.10.2018, wobei nur die Daten jener Patienten verwendet wurden, die alle der folgenden Kriterien erfüllten:

1. Vorhandensein eines Fotos der Augenpartie beider Augen und einer Einzelaufnahme des pathologischen Auges vor sowie nach der Operation
2. Teilnahme an der initialen präoperativen sowie postoperativen Selbstbefragung mit Ausfüllung des Fragebogens
3. Operation mit einer Irisvollprothese
4. Entsprechend klare Medien (Kornea) zur sinnvollen Bewertung der Irisfarbe

Das Patientenkollektiv bestand aus 81 Patienten, wobei 11 Patienten eine der folgenden Kriterien nicht erfüllten:

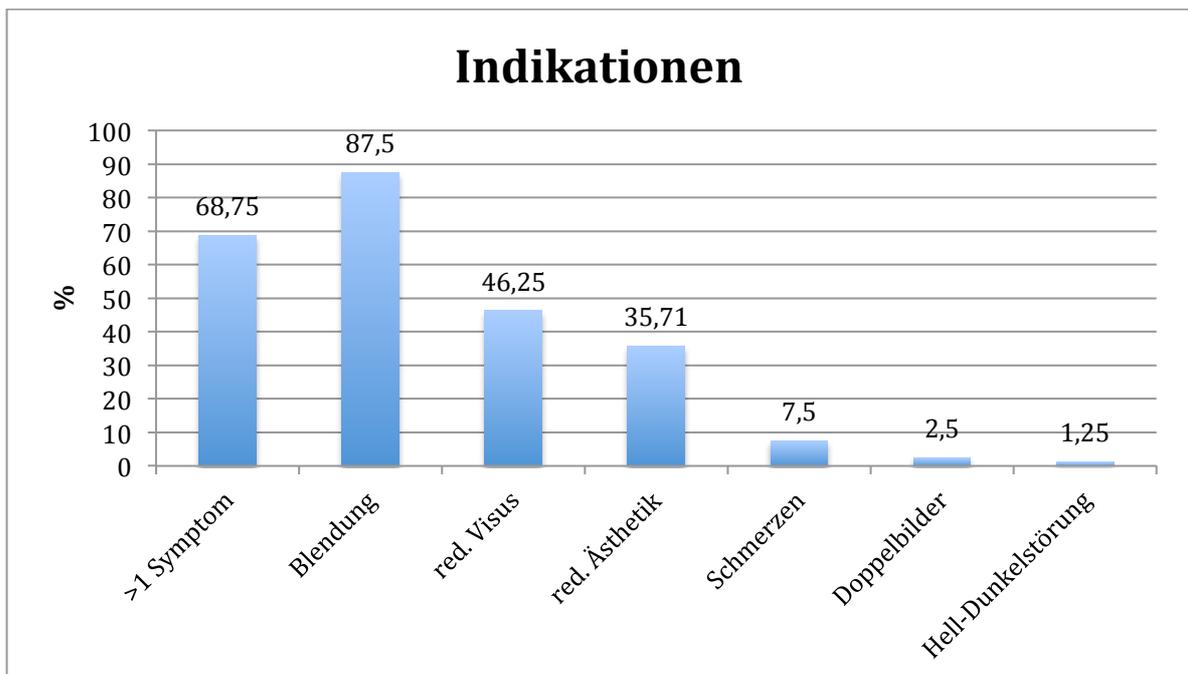
1. Bei zwei Patienten fehlten die präoperativen Fotos
2. Bei fünf Patienten war die Veränderung der Hornhaut entweder aufgrund von Vernarbungen oder nach Zustand einer perforierenden Keratoplastik zu

stark, so dass eine objektive bzw. subjektive Beurteilung der Iris nicht sinnvoll durchzuführen war

3. Bei zwei Patienten fehlten die postoperativen Fotos
4. Zwei Patienten erhielten eine Teilirisprothese

Die restlichen 70 Patienten setzten sich aus 59 Männern und 11 Frauen mit einem durchschnittlichen Alter von $55,62 \pm 16,24$ Jahren (Max: 87, Min: 13) zusammen. Die Anamnese ergab, dass die Ursache der Aniridie bei 46% (n = 38) ein stumpfes Trauma, bei 33% (n = 27) ein perforierendes Trauma, bei 6% (n = 5) angeboren und 14% (n = 12) auf sonstige Erkrankungen zurückzuführen war. Eine detaillierte Liste der Ursachen befindet sich im Anhang.

Subjektive Beschwerden durch eine reduzierte Ästhetik waren nie alleine Grund für eine Operationsindikation, jedoch gaben 25 der 70 Patienten (35,7%) eine ästhetische Beeinträchtigung als zusätzlichen Grund neben Blendung, Visusreduktion, Hell-Dunkelstörung und Doppelbildern an. (Diagr. 1) Im Durchschnitt lagen zwischen dem Zeitpunkt der Diagnose bzw. des Unfalls und der Operation $153,3 \pm 199,59$ Monate (Max.: 792 Monate, Min: 1 Monat).



Diagr. 1: Indikationen für Irisimplantation des Patientenkollektivs dieser Studie (n = 70)

5.2 Patientenfragebogen

Die Patienten füllten vor, sowie nach der Operation einen analogen Fragebogen mit zehnstufiger linearer Bewertungsskala aus, dessen Antworten ihre subjektive Zufriedenheit reflektieren sollte. Dabei wurde darauf geachtet, dass insbesondere die postoperative Bewertung bei allen Teilnehmern im gleichen zeitlichen Abstand zur Operation lag ($\bar{\emptyset}$ 83,4 Tage). Idealerweise sollten drei Monate nach der Operation und der Erhebung des Fragebogens liegen, um eine möglichst präzise Beurteilung zu bekommen und eine Verfälschung des ästhetischen Ergebnisses durch etwaige postoperative Irritationen am vorderen Augenabschnitt (Injektion, Chemosis, Hyposphagma, etc.) zu umgehen. Bei einigen Patienten (<10 Patienten) war dies jedoch aufgrund einer weiten Anreise und einer postoperativen Weiterversorgung und Folgebehandlung beim niedergelassen Augenarzt nicht möglich. Die Fragen lauteten wie folgt:

Fragen	Bewertungsraum (1-10)
1. Wie stark fühlen Sie sich kosmetisch beeinträchtigt?	1 = gar nicht 10 = extrem stark
2. Wie zufrieden sind sie mit dem kosmetischen Ergebnis?	1 = gar nicht 10 = extrem zufrieden
3. Wie hat sich Ihre Lebensqualität verändert?	1 = negativ 5/6 = unverändert/neutral 10 = extrem positiv
4. Würden Sie die Behandlung wiederholen, wenn sie nochmals entscheiden könnten?	Ja Nein

5.3 Objektive Befunddokumentation mittels Fotografie

Die Aufnahme der Fotos erfolgte ausschließlich in der Fotoabteilung der Augenheilkunde im Klinikum Rechts der Isar unter gleichbleibenden Bedingungen. Es wurde eine hochauflösende Kamera (Canon EOS 600d Spiegelreflexkamera, 100 mm Makroobjektiv, Ringblitz, Automatikmodus) verwendet, um die Augenpartie zu fotografieren. Es wurden die gleichen festgelegten Einstellungen bezüglich Belichtung für jeden Patienten verwendet. Ebenso wurden stets die gleichen Umgebungslichtverhältnisse im Fotoatelier hergestellt. Durch das selektive Ausschneiden beider Augenpartien in der Nachbearbeitung, wurden die Patienten effektiv anonymisiert. Zusätzlich wurden Spaltlampenfotografien des vorderen Augenabschnittes durchgeführt.

Die Patienten wurden instruiert sich wie bei einer routinemäßigen Spaltlampenuntersuchung zu verhalten: Die Stirn gegen die Stütze und das Kinn in der Auflage. Beide Augen geöffnet mit Blick gerade aus.

Die Fotos wurden vor der Operation sowie nach der Operation angefertigt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die postoperativen Fotos erst nach Abklingen der postoperativen Irritation (Chemosis, Hornhautödem, Hyposphagma, etc.) circa drei Monate später gemacht wurden. Bei einigen Patienten war dies aufgrund der langen Anreise nicht möglich, so dass die Augen direkt vor der stationären Entlassung fotografiert wurden. Die Fotos wurden aus dem Klinikprogramm Heyex exportiert und für die Befragung von Drittpersonen in eine PowerPoint Präsentation eingepflegt. (Abb. 9)

39

Vorher



Nachher



Abb. 9: Beispiel einer PowerPoint Folie, wie sie zur Beurteilung den Drittpersonen präsentiert wurde:

Oben links: Brillenfoto mit Irisdefekt am rechten Auge

Oben rechts: Nahaufnahme des rechten Auges

Unten links: Brillenfoto 3 Monate nach der Irisprothesenimplantation am rechten Auge

Unten rechts: Nahaufnahme des operierten rechten Auges

5.4 Subjektive Analyse der Iris-Fotodokumentation durch Drittpersonen

5.4.1 Teilnehmer

Für die Beurteilung der Fotos wurden zwei Gruppen - die der Augenärzte und die der Laien - eingeteilt, die folgende Einschlusskriterien erfüllen mussten:

Die Augenärzte durften:

1. weder die Operation durchgeführt oder daran teilgenommen haben
2. weder mit Patienten oder dem Operateur verwandt sein
3. keine bekannte Farbsehuntüchtigkeit haben

Die Laien durften:

1. keine Mediziner sein
2. weder mit Patienten oder dem Operateur verwandt sein
3. keine bekannte Farbsehuntüchtigkeit haben

Es nahmen insgesamt 54 Augenärzte teil, wobei 4 Fragebögen aufgrund von Formfehlern nicht gewertet werden konnten. Die Anzahl der Laien belief sich auf 30.

Es wurde darauf geachtet, eine möglichst farbtreue Darstellung zu präsentieren. Anhand eines Testbildes wurde den Teilnehmern die Aufgabe und die Kriterien zur Bewertung erläutert. Danach folgten chronologisch die 70 vorbereiteten PowerPoint-Folien mit den prä- und postoperativen Fotos der Patienten. Nach jeder Folie wurde durch gezieltes Fragen sichergestellt, ob jeder Anwesende im Raum die Fragen zu dem jeweiligen Patienten vollständig beantwortet hatte. Erst dann wurde zur nächsten Folie übergegangen.

5.4.2 Aufbau des Fragebogens

Die fünf Fragen des Fragebogens richteten sich spezifisch auf die ästhetische Beurteilung und Bewertung der auf den Fotos abgebildeten Augenpartien. Die Fragen 1-4 sollten nach Schulnotenprinzip bewertet werden. Die Frage 5 nach der linearen Bewertungsskala, um diese mit der Patientenangabe vergleichen zu können.

Fragen	Bewertungsraum
1. Wie groß ist die Auffälligkeit des verletzten Auges im Vergleich zum Partnerauge?	1, 2, 3, 4, 5 oder 6 1 = gering 6 = hoch
2. Wie groß ist der Farbunterschied zwischen dem Irisimplantat und der Rest-Iris des operierten Auges?	1, 2, 3, 4, 5 oder 6 1 = gering 6 = hoch
3. Wie groß ist der Farbunterschied des operierten Auges zur Irisfarbe des Partnerauges?	1, 2, 3, 4, 5 oder 6 1 = gering 6 = hoch
4. Wie groß ist die Pupillendenzentrierung der künstlichen Iris im Vergleich zum Hornhautrand?	1, 2, 3, 4, 5 oder 6 1 = gering 6 = hoch
5. Wie beurteilen Sie das Gesamtergebnis?	1, 2, 3... oder 10 1 = sehr schlecht 10 = exzellent

5.5 Objektive Analyse der Iris-Fotodokumentation durch eine vergleichende Similaritätsanalyse

5.5.1 Bildbearbeitungsprogramm GIMP 2.8

Zur Bildanalyse wurde das open source Bildbearbeitungsprogramm GIMP 2.8 für IOS Mac verwendet. Mithilfe der Flächenmarkierung wurden die größtmöglichen Areale der Rest-Iris, Irisprothese und der Iris des Partnerauges selektiert und die durchschnittlichen Farbwerte nach LAB (CIELAB Color Space) determiniert. Dabei wurden Areale der Iris, die nicht eindeutig auf dem Foto erkennbar bzw. auswertbar sind (Hornhauttrübung/-narbe, Reflexion von Kamerablitz) von der Selektion ausgeschlossen.

Die Pupillendenzentrierung wurde im postoperativen Vorderabschnittsfoto mit dem Programm Heyex Heidelberg Engineering gemessen. Dabei wurde der Abstand der anatomischen Hornhautmitte zur neuen künstlichen Pupillenmitte in Anzahl Bildpixel gemessen und in mm umgerechnet (Abb. 10).

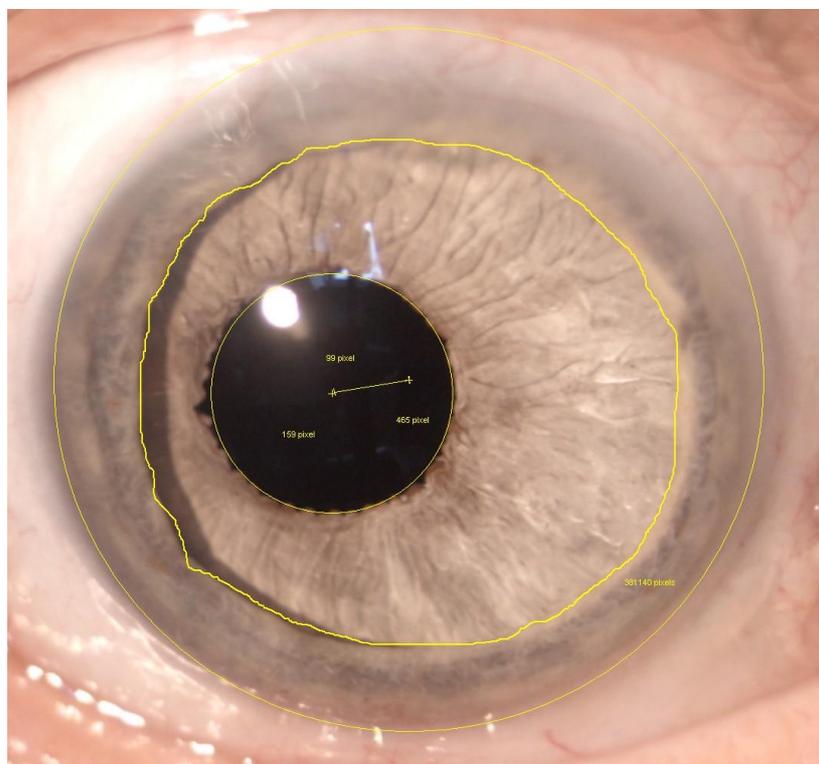


Abb. 10: Vermessung der Pupillendenzentrierung: Dabei wurde der Abstand der Hornhautmitte zur neuen künstlichen Pupillenmitte ausgemessen (Umrechnung von Pixel in mm)

5.5.2 Darstellung von Farben im LAB Farbraum

Es existieren einige Methoden, Farben mit Werten zu kodieren, um sie zu vergleichen und zu reproduzieren. Ein Verfahren wäre der RGB Farbraum, ein anderes das XYZ Farbmodell. (Handels, 2009, S. 291) Der LAB-Farbraum (Abb. 12) wurde speziell für diese Arbeit ausgewählt, um Delta E anhand der CIE2000 Formel zu berechnen. (Habekost, 2013, S.20 f.) Geräteunabhängigkeit und Wahrnehmungsbezogenheit zählen zu den wichtigsten Eigenschaften dieses Farbmodells: *„Farben werden unabhängig von der Art ihrer Erzeugung oder Wiedergabetechnik so definiert, wie sie von einem Normalbeobachter bei einer Standard-Lichtbedingung wahrgenommen werden.“* (Farblehre)

Die Analyse stützt sich dabei auf einen Messraum, in dem alle wahrnehmbaren Farben enthalten sind und welcher auf der elementaren Grundlage der Gegenfarbentheorie von Ewald Hering basiert. (Hesselgren, 1984, S. 220 f.) Diese Theorie geht von drei existierenden Gegensatz-Farbpaaren aus (blau-gelb, rot-grün, schwarz-weiß) mit jeweils einem hemmenden und einem erregenden Anteil. Im Jahre 1874, formulierte Hering seine Thesen, die durch die moderne Neurophysiologie bestätigt wurden und die die Grundlage des modernen „Natural Color Systems“(NCS) und des LAB-Farbtraums bilden. (Hård et al., 1996, S. 180 f.)

In diesem Lab-Farbraum richten sich die Koordinaten nicht unmittelbar nach den physikalischen Farbvalenzen, sondern nach den physiologischen Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung, so wie sie von den Patienten selbst und Drittpersonen beurteilt werden. Mit Hilfe von drei verschiedenen Typen von Zapfenphotorezeptoren kann der Mensch circa 150 verschiedene Farbtöne aus dem sichtbaren Lichtspektrum unterscheiden. Die von den Zapfen übermittelten Signale werden in den retinalen Ganglienzellen zu Gegenfarbsignalen kodiert, wobei bis zu 2.3 Millionen unterschiedliche Farbempfindungen im Gehirn kombiniert werden. (Gegenfurtner; Sharpe et al., 1997, S. 3 f.) Farbkonstanz, Farb-sättigung und Farbunterschiede werden im visuellen Kortex beurteilt und führen zu unterschiedlichen Farbwahrnehmungen

beim Menschen. Das liegt zum Teil an der unterschiedlichen Anzahl der retinalen Sehzapfen und Empfindsamkeit gegenüber bestimmten Licht-Wellenlängen, aber auch an Beleuchtung und unterschiedlichen Seherfahrungen. (Zeki, 1980, S. 412) „Es ist bestimmt so, dass Menschen Farben unterschiedlich wahrnehmen. Dafür gibt es aber sehr unterschiedliche Erklärungen, wie Aufmerksamkeit oder genetische Aspekte, auch Hormone können einen Einfluss haben.“ (Strauß)

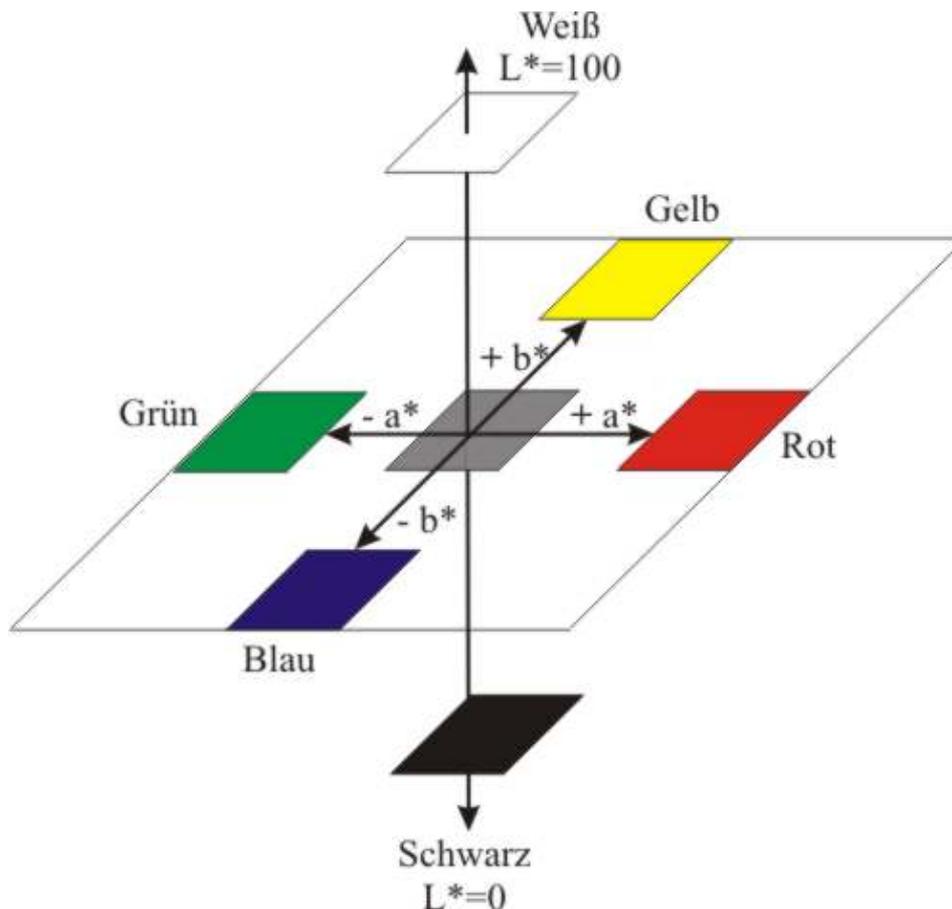


Abb. 11: LAB Farbraum

“L” steht hierbei für Luminanz- oder Helligkeitskomponente zweier Farbkomponenten: “A“-Komponente (von Grün bis Rot) “B“-Komponente (von Blau bis Gelb)

Weiß wird mit dem Wert $L = 100$ angegeben und Schwarz mit $L = 0$. Die Farbkomponenten “a” und “b” haben einen Wert zwischen -128 und +127. (Gestaltungsfarbe) Je kleiner “a” ist, desto grüner ist eine Farbe, je größer “a”, desto röter. Die Komponente “b” verhält sich für den Farbraum von Blau bis Gelb exakt gleich.

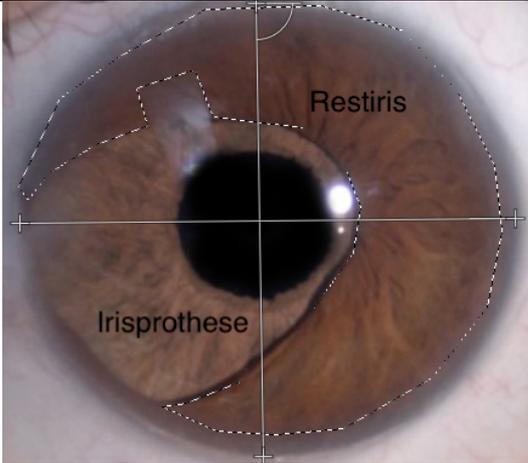
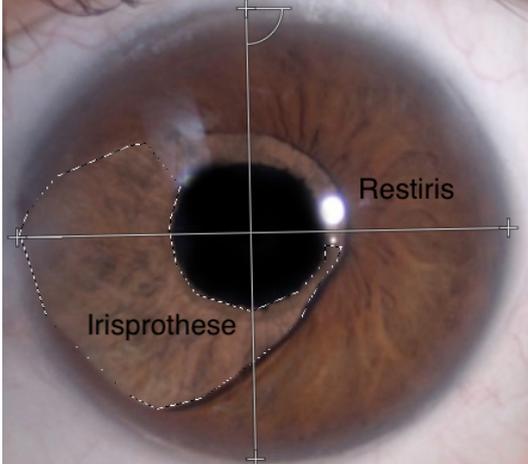
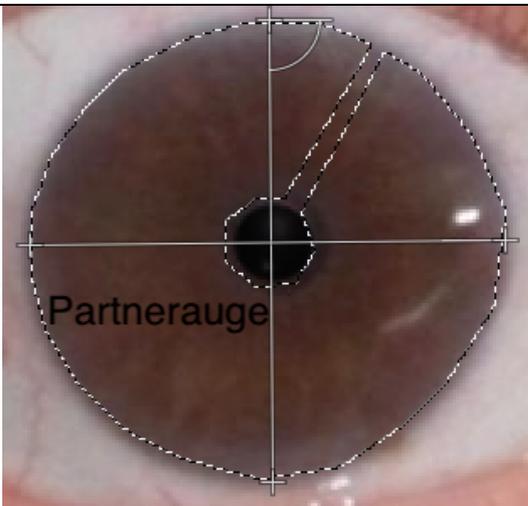
	<p>Selektion der Rest-Iris</p> <p>L = 22,38 A = 21,63 B = 16,98 Dezentrierung: 0,32 mm</p>
	<p>Selektion der Irisprothese</p> <p>L = 25,47 A = 19,05 B = 13,77 Dezentrierung: 0,32 mm</p>
	<p>Selektion des Partnerauges</p> <p>L = 23,06 A = 19,04 B = 17,02</p>

Abb. 12: Beispiel zur Bestimmung der Irisfarbe: Selektion der Iris, Farbdurchschnittsberechnung des LAB-Wertes und LAB-Wert Determinierung (Fläche innerhalb der gestrichelten Linie)

5.5.3 Determinierung von Delta E (ΔE) durch die Formel CIE2000

Die alleinige Verwendung vom LAB-Farbraum ist für die praktische Anwendung unzureichend, da die Farbsättigung, insbesondere Blautöne, falsch bewertet werden. Aufgrund dessen wurde das LAB-Modell von der CIE (International Commission on Illumination) weiterentwickelt, um eine bessere Bewertung des Farbabstandes im blauen Bereich zu erreichen und den Einfluss der Umgebungshelligkeit miteinzubeziehen. Zusätzlich wurde der Einfluss von helleren und dunkleren Tönen (Helligkeitswahrnehmung) auf das individuelle Farbempfinden neu bewertet. (Color)

Der zuletzt veröffentlichte Algorithmus CIE2000 (dE00) ist der zugleich komplexeste und präziseste (siehe Anhang „CIE2000“). Die Formel basiert auf einer seit 1976 ständig weiterentwickelten Version. Das Ergebnis dieser äußerst umfangreichen Formel ist eine einzelne Zahl namens Delta E (ΔE), welche die Größe des Unterschiedes zweier Farben definiert, so wie diese von den meisten Menschen wahrgenommen wird. Sie ist eine metrische Repräsentation der Farbunterschiede wie sie das menschliche Auge wahrnimmt. Delta bezeichnet in der Mathematik eine Veränderung einer Variablen oder Funktion. Der Suffix „E“ kommt aus dem Deutschen und steht für „Empfindung“. Der Wert liegt zwischen 0 und 100, wobei ein höherer Delta-Wert für einen größeren Farbunterschied und ein geringerer Delta Wert für eine annähernde Farbgleichheit steht. (Abb. 14) (Delta E)

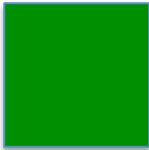
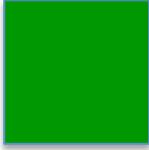
Farbe 1	Farbe 2	Delta E	Empfindung
		$\leq 1,0$	Nicht unterscheidbar durch das menschliche Auge
		1-5	Nur bei längerer und sehr genauer Betrachtung unterscheidbar
		5-10	Auf den ersten Blick unterscheidbar
		10-50	Farben sind sich mehr ähnlich als gegensätzlich
		100	Farben sind das genaue Gegenteil

Abb. 13: Darstellung der Werte von Delta E mit Farb-Beispiel

Auch nach jahrzehntelanger Weiterentwicklung des Algorithmus zu Delta E, ist CIE2000 nicht fehlerlos. (Sharma, 2004, S. 21 f.) Für diese Arbeit ist diese verschwindend geringe Fehlertoleranz jedoch akzeptabel.

5.6 Statistische Auswertung (T-Test)

Zur statistischen Auswertung wurde der abhängige T-Test (Fischer, 1987, S. 45f f.) durchgeführt, um die Verschiedenheit der Mittelwerte zweier abhängiger Stichproben festzustellen.

Mit Hilfe dieses statistischen Testverfahrens konnte das Vorliegen signifikanter Unterschiede in den Bewertungen ermittelt werden.

Der Wahrscheinlichkeitswert p zeigt die Art der Signifikanz an, wobei auf einem 95% Niveau getestet wird. Dies bedeutet, dass ein signifikanter Mittelwertunterschied gegeben ist, wenn $p < 0,05$ entspricht. (Standardnormverteilung)

6. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse von dieser Arbeit detailliert aufgeführt.

6.1 Subjektive Selbstbewertung der Patienten

Fragen	Höchste Bewertung	Geringste Bewertung	Mittelwert	Standardabweichung
1	1	5	1,75	1,14
2	10	2	8,7	1,66
3	10	3	7,99	1,85
4	65 wiederholen	5 nicht wiederholen		

Tab. 1: Zusammenfassung der Ergebnisse des Patientenfragebogens (n = 70): Dargestellt ist jeweils die höchste und geringste vergebene Bewertung (1-10) sowie deren Mittelwert und Standardabweichung zur jeweiligen Frage.

Frage 1: **Wie stark fühlen Sie sich kosmetisch beeinträchtigt? (1 gar nicht, 10 extrem stark):** Im Durchschnitt wurde mit 1,75 (\pm 1,14) geantwortet. 43 Patienten (61,43%) bewerteten diese Frage mit der Bestnote 1.

Frage 2: **Wie zufrieden sind sie mit dem kosmetischen Ergebnis? (1 gar nicht, 10 extrem zufrieden):** Die Antworten der Patienten ergaben einen Mittelwert von 8,7 (\pm 1,14). 40 Patienten (57,14%) vergaben die Bestbewertung 10.

Frage 3: **Wie hat sich Ihre Lebensqualität verändert? (1 schlechter, 10 extrem besser):** Der Mittelwert betrug 7,99 (\pm 1,85). 25 Patienten (35,7%) gaben eine maximale Verbesserung (10) an.

Frage 4: **Würden Sie die Behandlung wiederholen, wenn sie nochmals entscheiden könnten? (Ja/Nein)** Eine deutliche Mehrheit (65, 92,76%) antwortete mit „Ja“ und nur 5 Patienten (7,14%) mit „Nein“.

6.2 Subjektive Bewertung durch Drittpersonen

Drittpersonen		Frage 1	Frage 2	Frage 3	Frage 4	Frage 5
Ärzte (n=50)	Mittelwert	4,05	2,53	2,41	1,98	7,68
	STDABW	0,79	0,70	0,68	0,68	0,91
	Max	6,0	6,0	6,0	5,0	10,0
	Min	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0
Laien (n=30)	Mittelwert	4,05	2,72	2,69	2,23	7,24
	STDABW	0,84	0,76	0,78	0,81	1,17
	Max	6,0	6,0	6,0	6,0	10,0
	Min	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0

Tab. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse des Fragebogens für Drittpersonen. Dargestellt sind die Mittelwerte, Standardabweichung, maximaler und minimaler Wert der bei der jeweiligen Frage bei allen Ärzten und Laien erreicht wurde. Fragen 1 bis 4 wurden mit Schulnoten bewertet (1 sehr gut, 6 sehr schlecht), Frage 5 auf einer linearen Skala von 1-10, wobei 10 ein exzellentes Ergebnis darstellt.

Frage 1: **Wie ist die Auffälligkeit des verletzten Auges im Vergleich zum Partnerauge?** Die Ärzte vergaben eine durchschnittlichen Note von 4,05 ($\pm 0,97$) und die Laien 4,05 ($\pm 0,84$).

Frage 2: **Wie groß ist der Farbunterschied zwischen dem Irisimplantat und der originalen Regenbogenhaut (Rest-Iris) des operierten Auges?** Hier wurde von den Ärzten eine 2,53 ($\pm 0,7$) und von den Laien eine 2,72 ($\pm 0,76$) als durchschnittliche Benotung vergeben.

Frage 3: **Wie groß ist der Farbunterschied des operierten Auges zur Regenbogenhautfarbe des Partnerauges?** Hier wurde eine durchschnittliche Note von 2,41 ($\pm 0,69$) von den Ärzten und von 2,69 ($\pm 0,78$) von den Laien vergeben.

Frage 4: Wie ist die Pupillenzentrierung der künstlichen Iris im Vergleich zum Hornhautrand? Es wurde durchschnittlich mit 1,98 (\pm 0,68) von den Ärzten und 2,23 (\pm 0,81) von den Laien bewertet.

Frage 5: Wie beurteilen Sie das Gesamtergebnis? Dieses wurde mit durchschnittlich 7,68 (\pm 0,91) von den Ärzten und mit 7,24 (\pm 1,17) von den Laien bewertet. Hierbei gilt es zu beachten, dass je höher die Zahl ist, desto besser die Bewertung.

6.3 Objektive Analyse der Delta E Farbdifferenz und Pupillenzentrierung

Der Vergleich der Rest-Iris mit der Artificial Iris konnte nur bei 60 von den 70 Augen durchgeführt werden, da bei 10 Patienten keine Rest-Iris für die Analyse vorhanden war. Bei 18 Augen (30%) wurde ein Delta E zwischen 1 und 5 (Mittelwert 3,21, \pm 1,23), bei 22 Augen (36,66%) ein Wert zwischen 5 und 10 (Mittelwert 7,64, \pm 1,27) und bei 20 Augen (33,33%) ein Wert zwischen 10 und 25 (Mittelwert 15,38, \pm 4,89) ermittelt. Der maximale Wert belief sich auf 24,05 und der minimale Wert auf 1,81. Der Mittelwert des gesamten Patientenkollektives war 10,31 (das heißt, Farbunterschiede auf den ersten Blick erkennbar) mit einer Standardabweichung von 5,71.

Bei dem Vergleich der Artificial Iris mit dem nicht operierten Partnerauge wurden zwei Augen von der Berechnung ausgeschlossen, da es sich hierbei um denselben Patienten handelte, welcher an beiden Augen eine Artificial Iris bekam und somit nur der Vergleich von Artificial Iris mit der Rest-Iris möglich war. Es zeigte sich ein Delta E bei 21 Augen (30,43%) zwischen 1 und 5 (Mittelwert 3,32, \pm 1,32), bei 17 Augen (24,64%) zwischen 5 und 10 (Mittelwert 7,04, \pm 1,28) und bei 30 Augen ein Wert zwischen 10 und 50 (Mittelwert 16,68, \pm 6,62). Der maximale Wert lag bei 40,99 und der minimale Wert bei 2,36 mit einem Mittelwert von 11,45 und einer Standardabweichung von 8,23. (Tab. 3 und 4)

Delta E	Rest-Iris vs. AI	AI vs. PA
	CIE 2000 (n)	CIE 2000 (n)
<1,0	0	0
1 bis 5	18	21
5 bis 10	22	17
10 bis 50	30	20
50 bis 100	0	0
100	0	0

Tab. 3: Delta E Verteilung, AI = Artificial Iris, PA = Partnerauge

Dargestellt ist der Farbunterschied (Delta E) von der Rest-Irisfarbe (Rest-Iris) zur Iristransplantatfarbe (AI) bzw. zur Irisfarbe des Partnerauges (PA). Die erhobenen Delta E Werte befinden sich bei beiden Vergleichen nur zwischen 1 und 50. Es wurde kein Delta E von kleiner als 1 oder größer als 50 erreicht.

Delta E	Rest-Iris vs. AI	AI vs. PA
	CIE 2000	CIE 2000
Max	24,05	40,99
Min	1,81	2,36
Mittelwert	10,31	11,45
Standardabweichung	5,71	8,23

Tab. 4: Delta E, AI = Artificial Iris, PA = Partnerauge

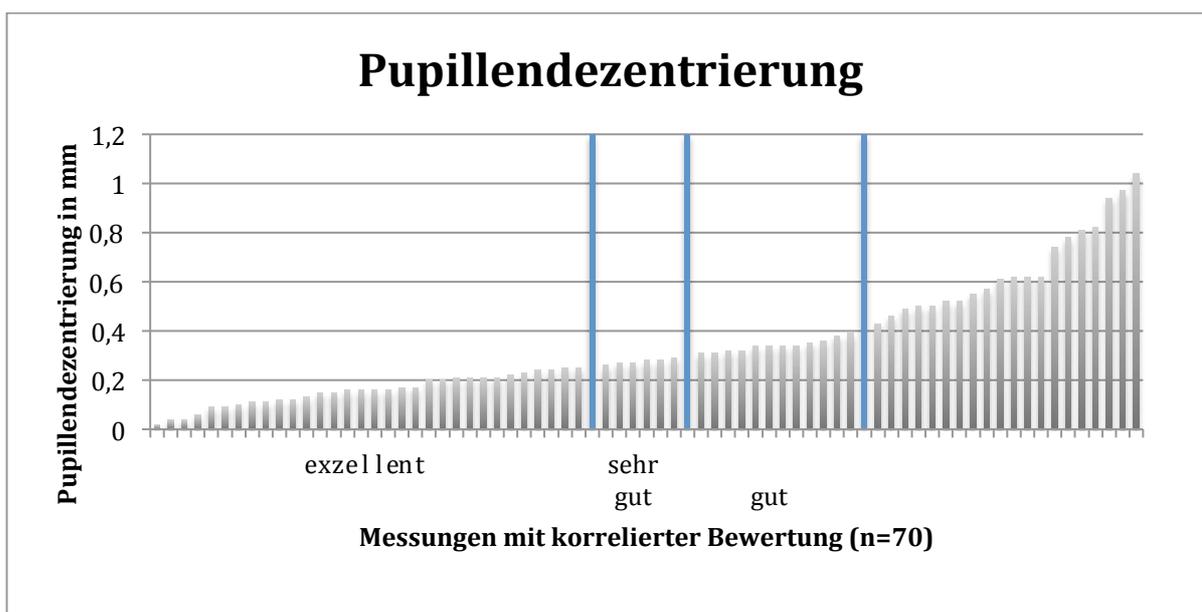
Dargestellt sind die Extremwerte des Farbunterschiedes (Delta E) von der Rest-Irisfarbe zur Iristransplantatfarbe bzw. zur Irisfarbe des Partnerauges inkl. deren Mittelwert und Standardabweichung. Der Maximalwert repräsentiert den höchsten erreichten Delta E-Wert und somit die schlechteste erzielte Farbtreue. Der Minimalwert zeigt den kleinsten erreichten Delta E-Wert und somit die beste erzielte Farbtreue.

Die Berechnung der Zentrierung der Pupillenmitte der Artificial Iris zur Hornhaut ergab einen Mittelwert von 0,36 mm (\pm 0,24 mm) mit einer maximalen Dezentrierung von 1,04 mm und einer minimalen Dezentrierung von 0,02 mm. (Tab. 5)

Zentrierung der Pupillenmitte zur Hornhaut in mm

Max	1,04
Min	0,02
Mittelwert	0,36
Standardabweichung	0,24

Tab. 5: Dargestellt sind die Extremwerte der Pupillendezentrierung des Iristransplantates und deren Mittelwert und Standardabweichung. Je größer der Wert, desto weiter ist die Pupille des Implantates von der Mitte entfernt. Umgekehrtes gilt für kleinere Zahlen.



Diagr. 2: Darstellung aller Messungen der Pupillendezentrierung mit korrelierter Bewertung (n=70). Je weiter links auf der X-Achse, desto zentrierter ist die Pupille des Implantates. Zusätzlich sind auf der X-Achse die Bewertungen (exzellent, sehr gut, gut), welche durch Korrelationen der Fragebögen mit der ausgemessenen Pupillendezentrierung definiert wurden, dargestellt. Die langen blauen Balken dienen der verbesserten Darstellung der Abgrenzung des jeweiligen Bewertungsraumes, entsprechen jedoch keiner Messung.

6.4 Beispiele

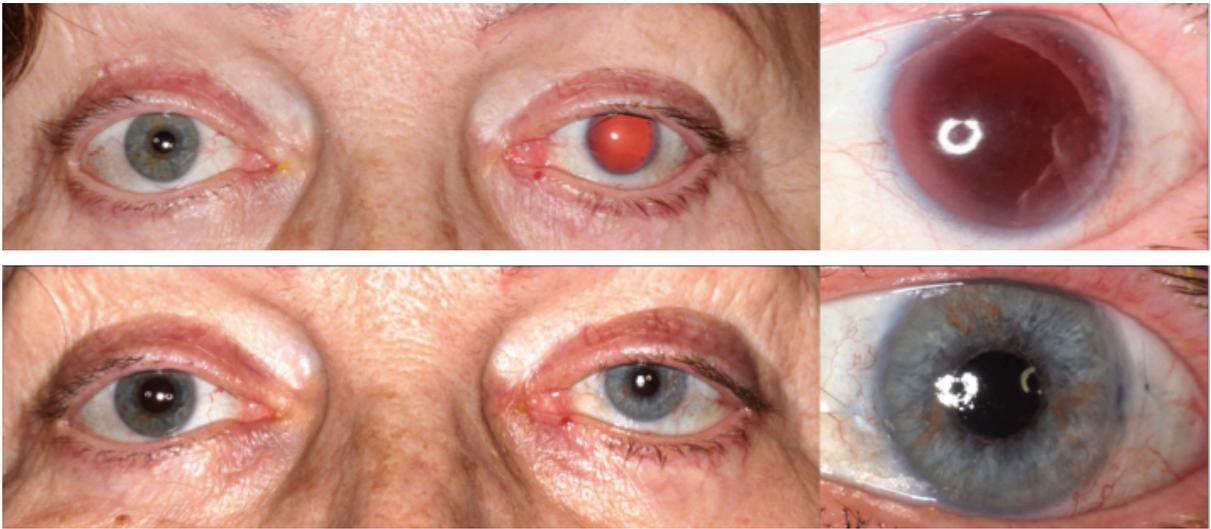


Abb. 14: (oben: präoperativ, unten: postoperativ) Ergebnis mit maximaler Bewertung (Ärzte und Laien): 9,54/10

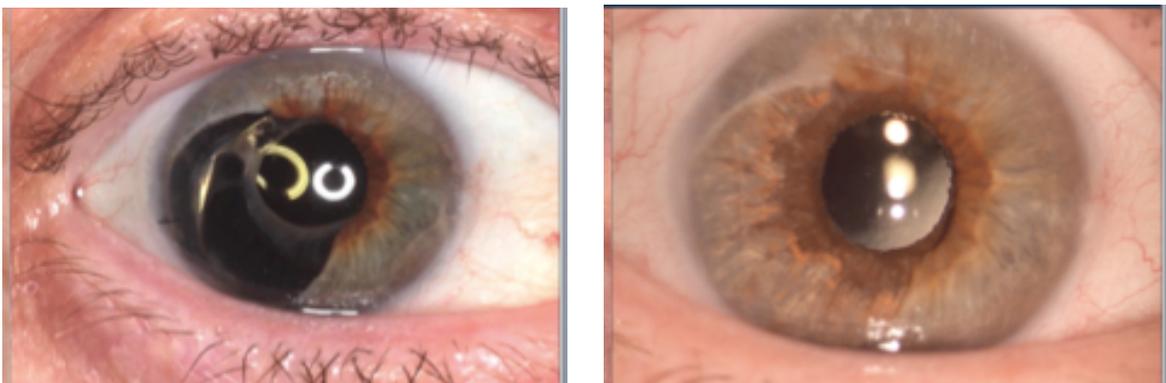


Abb. 15: (rechts: präoperativ, links: postoperativ) Ergebnis mit dem kleinsten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von Artificial Iris mit Rest-Iris: $\Delta E = 1,81$

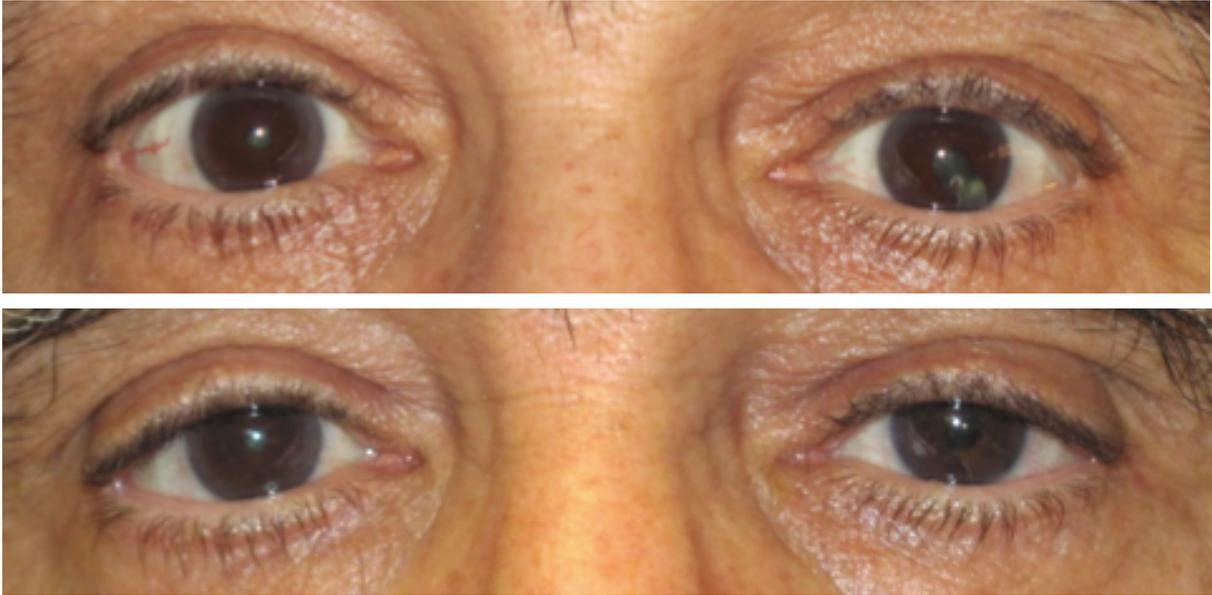


Abb. 16: (oben: präoperativ, unten: postoperativ) Ergebnis mit dem kleinsten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von operiertem Auge mit Partnerauge: Delta E = 2,36

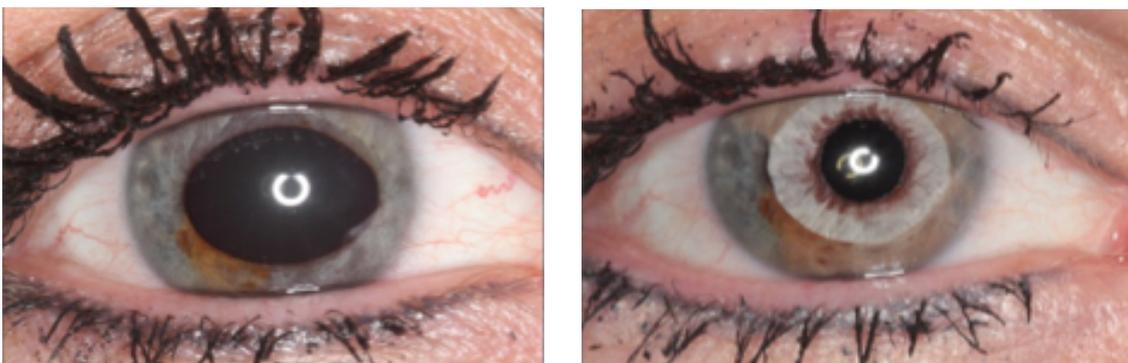


Abb. 17: (rechts: präoperativ, links: postoperativ) Ergebnis mit dem größten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von Artificial Iris mit Rest-Iris: Delta E = 24,05

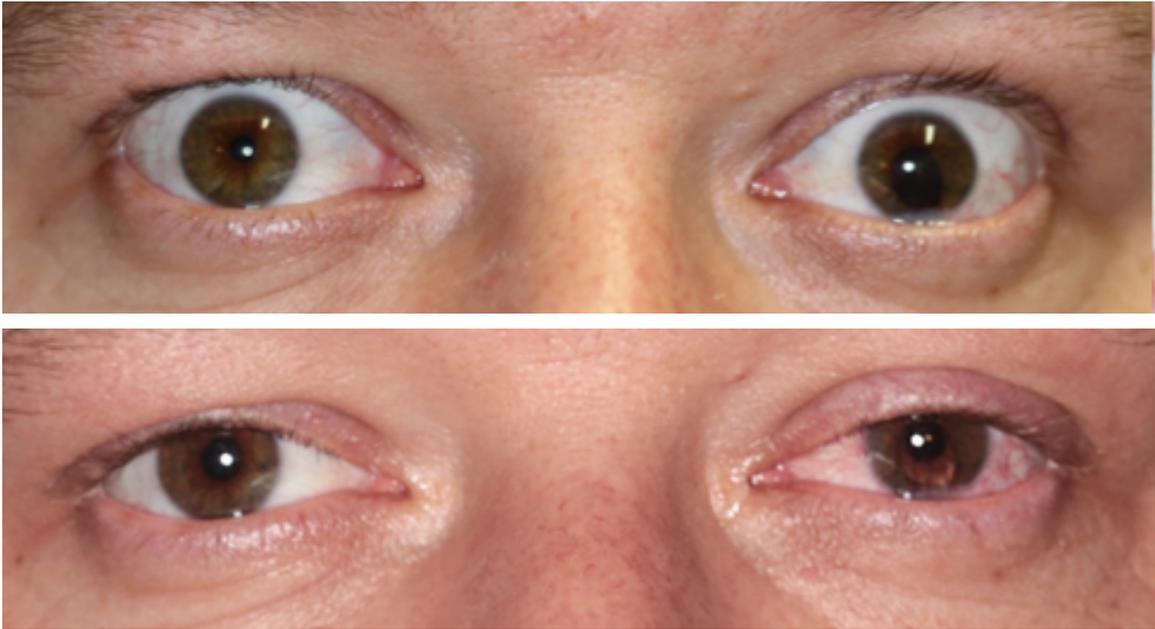


Abb. 18: (oben: präoperativ, unten: postoperativ) Ergebnis mit dem größten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von operiertem Auge mit Partnerauge: Delta E = 40,99

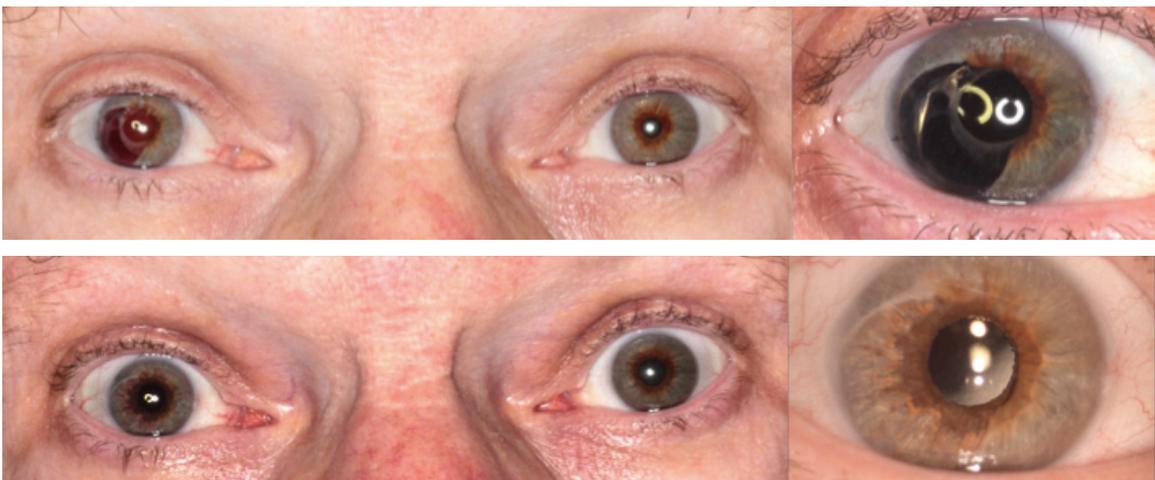


Abb. 19: Ergebnis mit kleinster Pupillendenzentrierung aus dem Patientenkollektiv: 0,02 mm

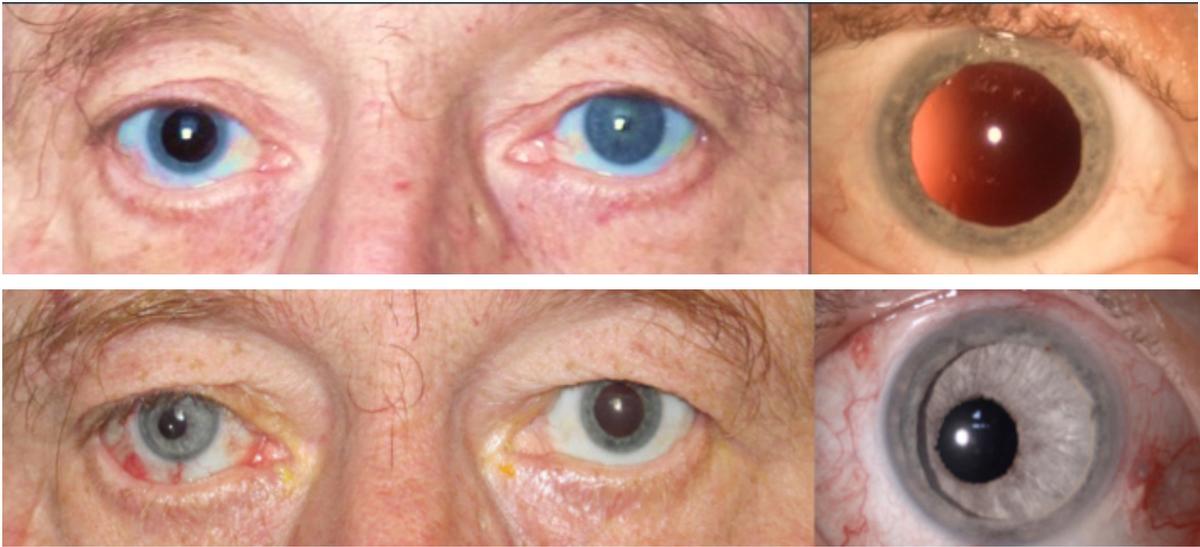


Abb. 20: (oben: präoperativ, unten: postoperativ) Ergebnis mit größter Pupillendezentrierung aus dem Patientenkollektiv: 1,04 mm



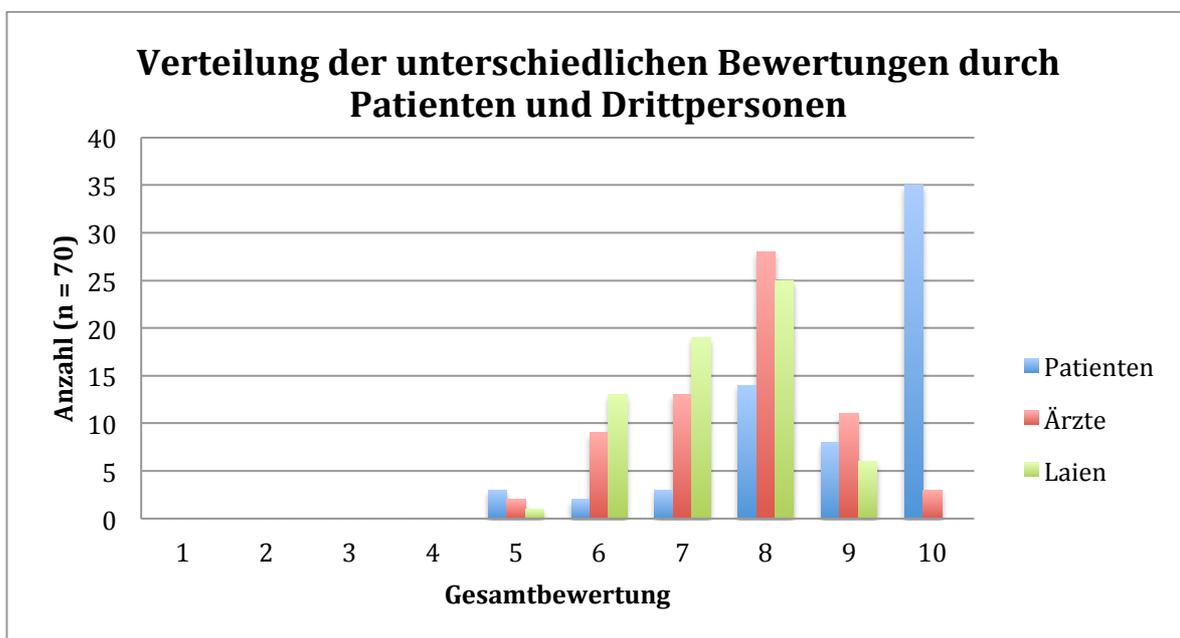
Abb. 21: Ergebnis mit deutlichem Farbunterschied, jedoch sehr hoher Zufriedenheit (9):
Delta E = 13,2



Abb. 22: (oben: präoperativ, unten: postoperativ) Beispiel von beiderseitiger Irisprothese

6.5 Interpretation der Ergebnisse

Beim Vergleich der Gesamtbewertung des ästhetischen Ergebnisses durch Patienten mit jener der Ärzte und Laien zeigt sich, dass die Patienten durchschnittlich mit einer Bewertung von 8,91 (Max: 10; Min: 5; \pm 1,44) möglichen Punkten antworteten, die Ärzte und Laien jedoch mit durchschnittlichen 7,73 (Max: 9,59; Min: 5,41; \pm 1,07) und 7,26 (Max: 9,23; Min: 3,93; \pm 1,06). Dies ergibt in beiden Fällen einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$).



Diagr. 3: Verteilung der unterschiedlichen Gesamtbewertungen des ästhetischen Ergebnisses durch Patienten und Drittpersonen (Ärzte und Laien). Auf der Y-Achse ist die Anzahl der jeweils vergebenen Gesamtbewertungen. Auf der X-Achse stellt die 10 die bestmögliche und die 1 die schlechteste Gesamtbewertung dar.

Die Patienten vergaben 35 mal die Bestnote 10, wobei die Bewertung derselben 35 Augen bei den Ärzten im Durchschnitt nur 7,85 (\pm 1,06, Min: 5,41, $p < 0,05$) und bei den Laien nur 7,38 (\pm 1,05, Min: 3,93, $p < 0,05$) ergab. Die sechs schlechtesten Bewertungen (5-6) der Patienten wurden jedoch signifikant ($p > 0,05$) besser durch die Ärzte (\bar{x} 7,40; \pm 0,57, Max: 7,96; Min: 6,37) und nicht signifikant ($p > 0,05$) besser durch die Laien (\bar{x} 6,87; \pm 1,48; Max: 8,07; Min: 3,93) als durch die betroffenen Patienten beurteilt.

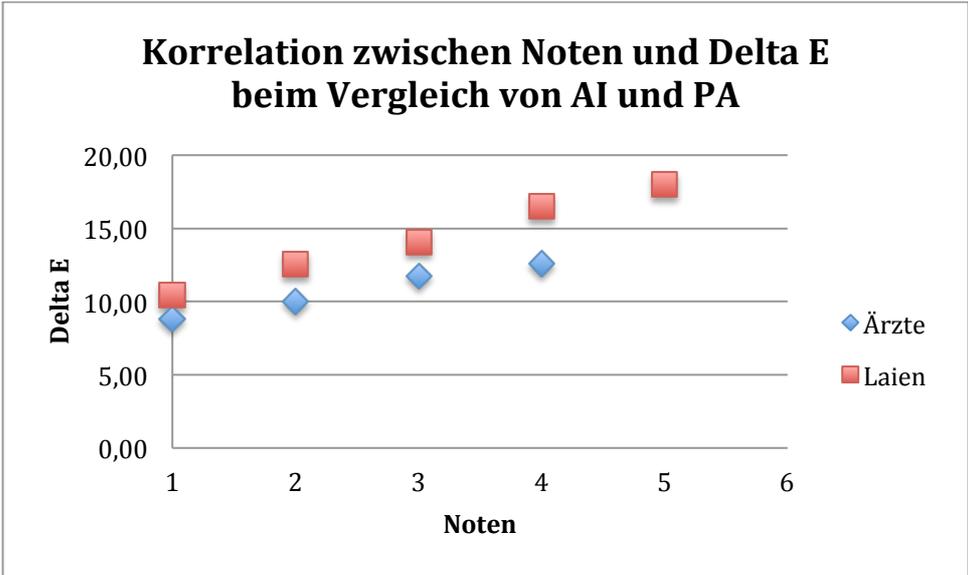
	Patienten	Ärzte	Laien
Mittelwert	8,91	7,73	7,26
Max	10,00	9,59	9,23
Min	5,00	5,41	3,93
STAWB	1,44	1,07	1,06

Tab. 6: Gesamtbewertung des ästhetischen Ergebnisses auf der linearen Skala von 1 bis 10. Dargestellt ist der ermittelte Mittelwert der Patienten und Drittpersonen mit dem jeweiligen Maximum, Minimum und Standardabweichung.

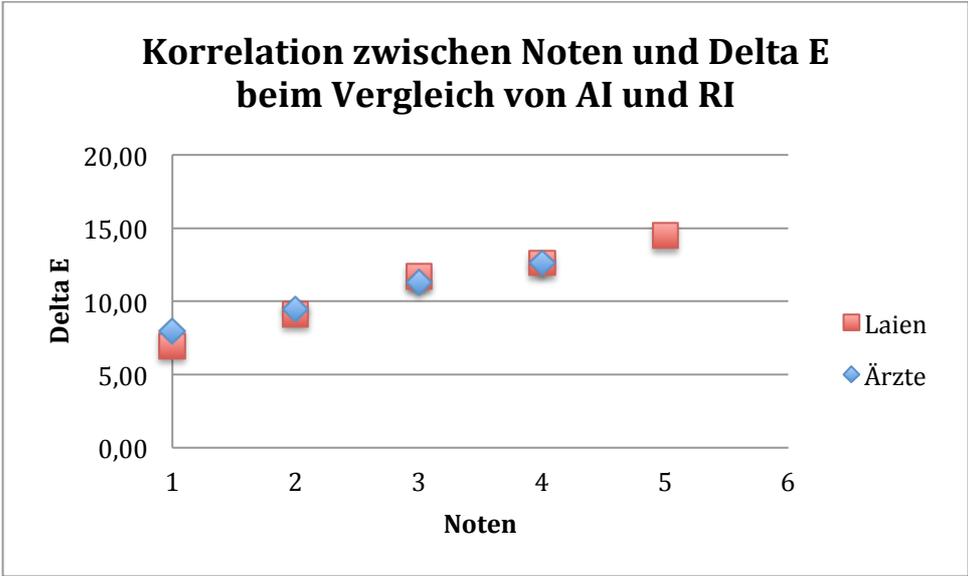
Auch der Vergleich der Ärzte mit den Laien ergab einen signifikanten ($p < 0,05$) Unterschied, wobei die Laien im Durchschnitt eine um 0,48 schlechtere Note vergaben. Das mag daran liegen, dass alle an dieser Studie teilgenommenen Ärzte aus dem Fach der Augenheilkunde stammen, und so eine facettenreichere Beurteilung unter Einbezug multipler Faktoren (Komplexität der OP, außer Acht lassen des Zustandes der Hornhaut und Bindehaut, vorhandene Atrophie, etc.) abgaben, wohingegen die Laien meist eher nach einem „gefällt mir weniger, gefällt mir mehr“-Schemata bewerteten. So vergaben die Ärzte 14 mal die Note 9 oder besser, die Laien hingegen die gleiche Bewertung nur 6 mal. Für die Berechnung der Signifikanz speziell für die Patienten mit Hornhautnarben, bzw. Bindehautirritationen, war die Anzahl zu klein und daher nicht möglich.

Keine signifikanten ($p > 0,05$) Unterschiede zeigten sich bei der Bewertung der Unterschiede zwischen Artificial Iris und Rest-Iris (Frage 2) und Artificial Iris und Partnerauge (Frage 3) durch die Ärzte und Laien. Hierbei wurden durchschnittlich mit 2,10 ($\pm 1,23$) und 2,58 ($\pm 0,85$) durch die Ärzte und mit 2,08 ($\pm 1,19$) und 2,67 ($\pm 2,67$) durch die Laien geantwortet. Die dabei vergebenen Noten können in Korrelation mit Delta E gesetzt werden und somit kann für jede Note ein entsprechender Delta E-Wert ermittelt werden.

Wie den folgenden Tabellen zu entnehmen ist, steigt der durchschnittliche Delta E-Wert mit der Verschlechterung der Noten an. Die Ärztegruppe vergab keine Note schlechter als eine 4 in beiden Bewertungen. Die Drittpersonen hatten keinen Zugang zu den Delta E-Werten und konnten nur anhand der Fotos die Farbe beurteilen. Jedoch zeigt sich eine deutliche Korrelation.

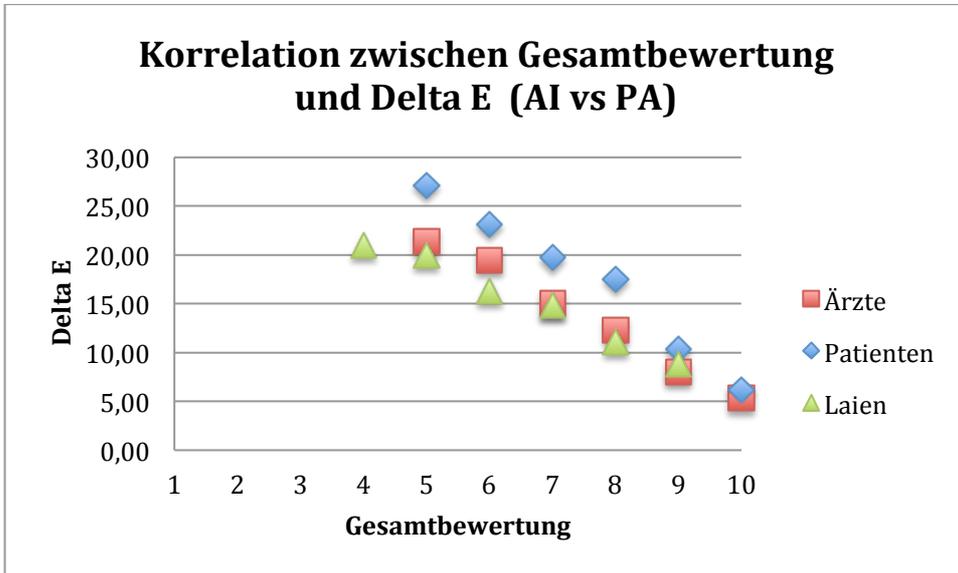


Diagr. 4: Korrelation zwischen vergebenen Noten durch die Drittpersonen und Delta E beim Vergleich von Artificial Iris und Partnerauge: Auf der Y-Achse ist Delta E dargestellt, auf der X-Achse die vergebenen Noten (1 = sehr gut, 6 = sehr schlecht), die mit dem jeweiligen Delta E-Wert korrelieren. Die Ärzte vergaben keine 5 oder 6, die Laien keine 6.

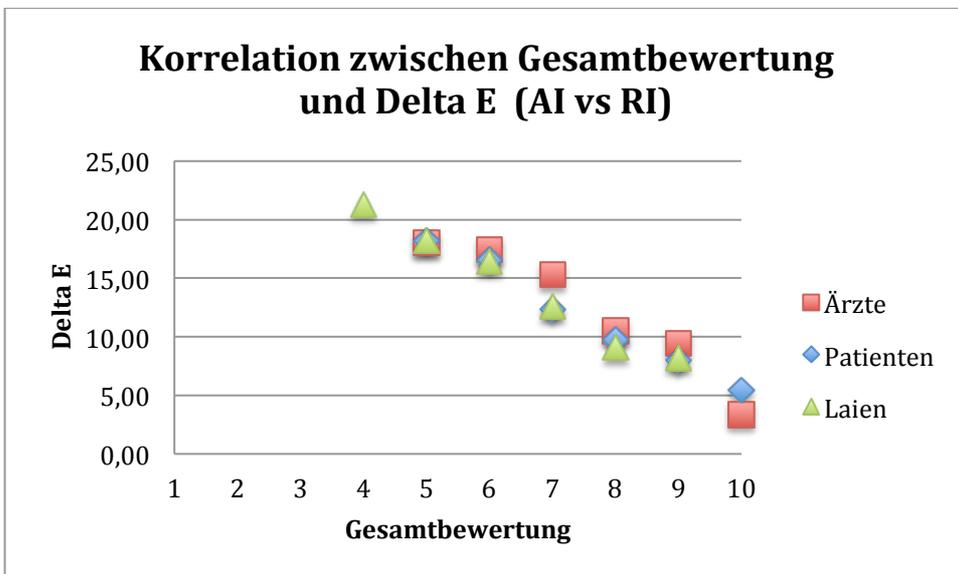


Diagr. 5: Korrelation zwischen Noten und Delta E beim Vergleich von Artificial Iris und Rest-Iris: Auf der Y-Achse ist Delta E dargestellt, auf der X-Achse die vergebenen Noten (1 = sehr gut, 6 = sehr schlecht) die mit dem jeweiligen Delta E-Wert korrelieren. Die Ärzte vergaben keine 5 oder 6, die Laien keine 6.

Dieselbe Tendenz zeigt sich bei der Korrelation zwischen den Noten der Gesamtbewertung mit Delta E bei dem Vergleich von Artificial Iris mit der Rest-Iris und Artificial Iris mit dem Partnerauge wie die nachfolgenden Diagramme zeigen.

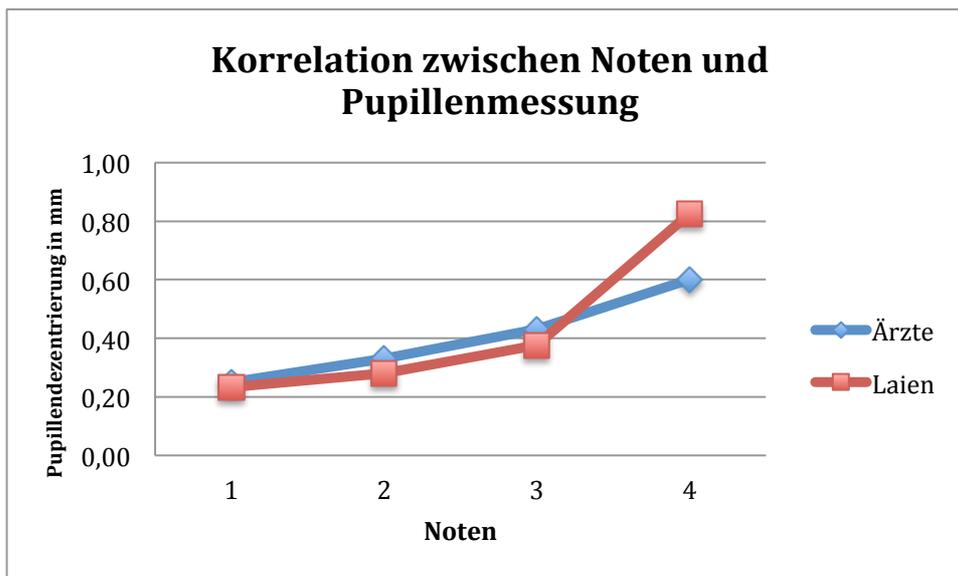


Diagr. 6: Korrelation zwischen der Gesamtbewertung vergeben durch Patienten und Drittpersonen und Delta E (Artificial Iris vs. Partnerauge): Auf der Y-Achse ist Delta E dargestellt, auf der X-Achse die vergebene Gesamtbewertung (1 sehr schlecht, 10 exzellent), die mit dem jeweiligen Delta E-Wert korrelieren. Die Ärzte und Patienten vergaben eine Gesamtbewertung zwischen 5 und 10, die Laien zwischen 4 und 9.



Diagr. 7: Korrelation zwischen der Gesamtbewertung und Delta E (Artificial Iris vs. Rest-Iris): Auf der Y-Achse ist Delta E dargestellt, auf der X-Achse die vergebene Gesamtbewertung (1 sehr schlecht, 10 exzellent), die mit dem jeweiligen Delta E-Wert korrelieren. Die Ärzte und Patienten vergaben eine Gesamtbewertung zwischen 5 und 10, die Laien zwischen 4 und 9.

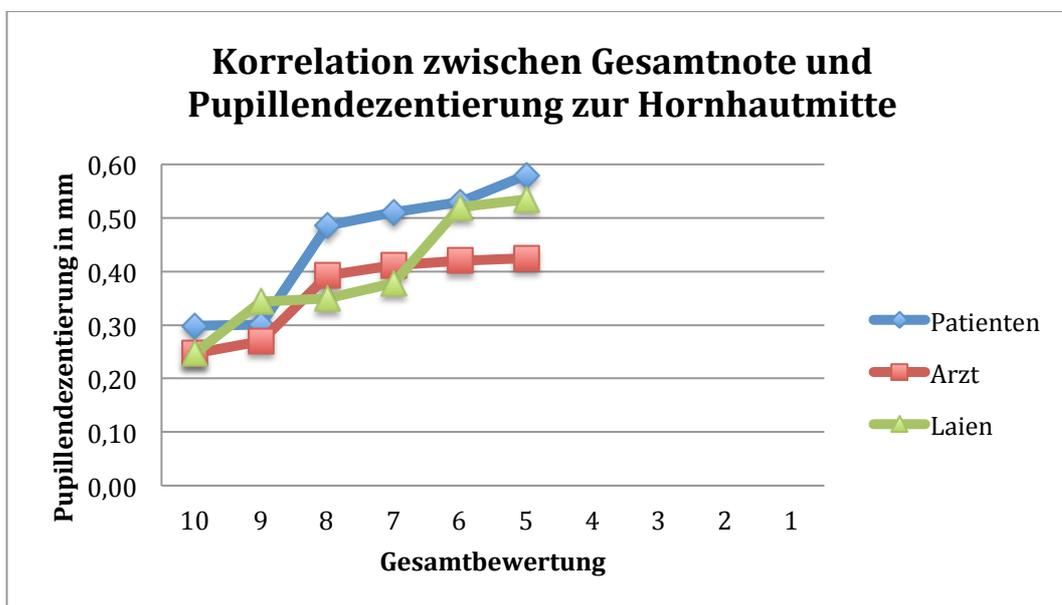
Die Bewertung der Pupillenzentrierung durch die Ärzte und Laien ergab einen signifikanten ($p > 0,05$) Unterschied zwischen beiden Gruppen. Die Ärzte vergaben durchschnittlich eine Bewertung von 2,05 (0,68, Max: 4,0; Min: 1,17), und die Laien von 2,35 ($\pm 0,7$; Max: 4,37, Min: 1,33). Werden die Bewertungen der Drittpersonen mit der computergestützten Ausmessung in Korrelation gebracht, ergibt sich folgendes Bild:



Diagr. 8: Korrelation zwischen vergebenen Noten durch Drittpersonen und gemessener Pupillendenzentrierung zur Hornhautmitte in Millimeter: Auf der Y-Achse ist die Pupillendenzentrierung zur Hornhautmitte in Millimeter dargestellt, auf der X-Achse die Noten, die mit der jeweiligen Pupillendenzentrierung korrelieren. Die Noten 5 und 6 wurden durch die Drittpersonen nicht vergeben.

Je weiter die Pupille von der Hornhautmitte entfernt ist, desto schlechter die Benotung im Durchschnitt durch die Ärzte und Laien. Hierbei muss erwähnt werden, dass die Drittpersonen kein Wissen von den jeweiligen Werten in mm hatten, sondern nur anhand des Bildes in der PowerPoint-Präsentation die Bewertung vornahmen.

Dasselbe ergibt sich, wenn man die Pupillendenzentrierung zur Gesamtbewertung des ästhetischen Ergebnisses der Patienten und Drittpersonen in Beziehung setzt.



Diagr. 9: Korrelation zwischen Gesamtbewertung und gemessener Pupillendenzentrierung zur Hornhautmitte in Millimeter: Auf der Y-Achse ist die Pupillendenzentrierung zur Hornhautmitte in Millimeter dargestellt, auf der X-Achse die Gesamtbewertung auf einer linearen Skala von 1 bis 10 (1 = sehr schlecht, 10 = exzellent). Die Bewertungen 1-4 wurden nicht vergeben.

7. Diskussion

Es gibt bereits viele Studien und Papers zur Artificial Iris, jedoch keine, die eine detaillierte Erhebung von subjektiven und objektiven Daten spezifisch zur Auswertung der Ästhetik vorweist. Eine Patientenzufriedenheit wird meist erwähnt, jedoch wurde keine exakte Benotung und Auswertung durchgeführt. Im Folgenden werden Studien und klinische Fälle vorgestellt die Aussagen über das ästhetische Ergebnis der Implantation der Artificial Iris treffen.

2012 wurden 4 klinische Einzelfälle vorgestellt, (Hoguet et al., 2012, S. 387 f.) von denen alle vier Patienten durchwegs begeistert von ihrer postoperativen ästhetischen Erscheinung waren. Es wurde jedoch kein spezifischer Fragebogen erstellt und es handelte sich hierbei nur um eine postoperative Selbstausskunft der Patienten.

Ein weiterer Patient wurde von Camille Budo (2012) in Sint-Truiden, Belgien, 2012 operiert, der ein optimales ästhetisches Ergebnis beschreibt. Der Patient konnte wieder am normalen Alltagsleben teilnehmen. Eine detailliertere Befragung erfolgte bei der Vorstellung eines klinischen Falles durch Jessy Magnus et al. (2012, S. 1097 f.) Hier sollte der Patient die Ästhetik des postoperativen Ergebnisses auf einer Skala von sehr unzufrieden, unzufrieden, neutral, zufrieden und sehr zufrieden beschreiben. Der Patient war sehr zufrieden.

Laut B.C. Thomas et al. (2013, S. 786 f.) kann die Farbe des Partnerauges, bzw. der Rest-Iris und die Farbe der Irisprothese bei der visuellen Betrachtung oder Fotografie deutlich voneinander abweichen. Als mögliche Erklärung wird angegeben, dass bei der Ansicht durch die Hornhaut und das Kammerwasser die Farbe aufgrund von Lichtbrechung und Reflexion anders wirke als ex situ. Auch die präoperative Fotografie des Partnerauges hat aufgrund derselben Gründe ihre Limitationen.

60 Augen wurden auf dem World Congress of Ophthalmology 2008 in Hongkong vorgestellt. (Koch & Linn, 2008, S. 1 f.) Dabei wurden zumeist exzellente kosmetische Ergebnisse erzielt. „*In den meisten Fällen war die künstliche Iris oder das Irissegment nicht von der natürlichen Iris unterscheidbar.*“ (Thomas et al., 2013, S. 786 f.)

Pozdeeva et al. (2006, S. 30 f.) konnten ebenfalls mit der Artificial Iris bei 100% ihrer Patienten eine Zufriedenheit mit dem kosmetischen Endergebnis erreichen. Olson et al. (2008, S. 1674 f.) und Petousis et al. (2011 S. 754 f.) bei 50-70% ihrer Patienten.

Das langfristige ästhetische Ergebnis kann jedoch enttäuschen, wenn das Irisrestgewebe in einigen Fällen nachdunkelt und eine initiale hohe Farbsimilarität der Prothese mit der Rest-Iris in manchen Fällen erheblich verschlechtert wird, wie durch Szurman et al. beschrieben ist. (2001, S. 720 f.) Dies konnte in unserer Arbeit jedoch nicht nachgewiesen werden.

Vorliegender Arbeit liegt eine sehr akribische und fast lückenlose Dokumentation zu Grunde mit einem großen Patientenpool, welcher aussagkräftige Schlussfolgerungen zulässt. Es handelt sich hier also um keine Einzelfallbeobachtung. Die erhobenen Daten werden nicht nur einer subjektiven Bewertung unterzogen, sondern sind auch Teil einer objektiven, systematisch und mathematisch analysierten Auswertung.

Bei den behandelten Patienten zeigen sich hohe individuelle Unterschiede bezüglich ihrer Augenverletzung bzw. ihrer erworbenen Aniridie, die meist mit dem Unfallvorhergang und dessen Ausmaß einhergehen, so dass es nur sehr bedingt möglich ist, die Auswertung zu standardisieren. Es wurde versucht, einer Verfälschung durch Artefakte (z.B. Hornhautnarben, Oberflächenprobleme, Fehlerquellen durch mehrere Produktionsschritte, Einbußen bei der Farbechtheit, etc.) mit einer sorgfältigen Patientenselektion entgegenzuwirken.

Die Auswertung der für diese Arbeit gewonnenen Daten zeigt, dass Patienten das eigene Gesamtergebnis besser bewerten als Drittpersonen. Darüber hinaus lassen sich durch die Berechnung von Delta E signifikante Rückschlüsse auf die subjektive Bewertung anstellen, da eine direkte Korrelation vorliegt. Je kleiner Delta E, desto besser fiel das Ergebnis der subjektiven Bewertung durch die Patienten selbst oder Drittpersonen aus. Dasselbe gilt für die Pupillendenzentrierung, die eine wichtige Rolle in der Gesamtbewertung der Patienten und Drittpersonen spielt. Je dezentrierter die Pupille der Artificial Iris, desto schlechter die Gesamtbewertung der Ästhetik.

8. Limitierung

Kern der Arbeit ist eine retrospektive Auswertung von Daten, die über die letzten fünf Jahre erhoben wurden. Alle Fragen sind durch die Menge und Art des vorliegenden Datenmaterials limitiert. Die Patienten bewerteten Ihr eigenes Aussehen vor und nach der Operation. Wichtig hierbei wäre eine detaillierte psychologische Anamnese gewesen, vor allem in Bezug auf die Entwicklung des persönlichen Befindens vom Zeitpunkt des traumatischen Ereignisses über die Jahre hinweg. Auch konnte die stetige anatomische Entwicklung und Veränderung im operierten Auge nicht erfasst werden, da diese in den zeitlich limitierten Umfragen nicht eingeschlossen waren.

Die Bewertung durch Drittpersonen erfolgte anhand von Fotos, die eine Makroaufnahme der Iris zeigen. Die Patienten bewerteten das Ergebnis jedoch durch Selbstbetrachtung mittels Spiegel. Dadurch sind etwaige Korrelationen nur bedingt möglich. Hier wäre eine zusätzliche Begutachtung der Patienten ihrer Makroaufnahmen angezeigt gewesen.

Nähe, Größe und Darstellung (Belichtung, etc.) des Auges bei der Beurteilung entsprechen den Testbedingungen, aber nicht der tatsächlichen Realität des Alltags. Deshalb kann angenommen werden, dass die Beurteilung des kosmetischen Ergebnisses der Irisimplantation durch Drittpersonen im täglichen Leben besser ausfallen wird. Zudem erfolgte die postoperative Fotografie stets mit Blitz, wobei sich die Reflexion der natürlichen Iris von jener der Silikon-Iris unterscheidet. Doch auch unter normalen Tageslichtverhältnissen gibt es eine unterschiedliche Reflexion bei normaler Iris und Silikonimplantat, ein Umstand der jedoch nicht vermeidbar ist.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Die festgestellten Signifikanzen und ermittelten Korrelationen lassen folgende Schlüsse zu:

1. Patienten bewerten das eigene Gesamtergebnis besser als Drittpersonen.
2. Die Gesamtbewertung der Patienten und Drittpersonen, sowie die Bewertung der Vergleiche von Artificial Iris vs. Rest-Iris und Artificial Iris vs. Partnerauge, lassen sich anhand von Delta E bestätigen. Je größer Delta E und somit der Farbunterschied zum Partnerauge, desto schlechter die subjektive Bewertung.
3. Je dezentrierter die Pupille der Artificial Iris ist, desto schlechter die Bewertung durch Drittpersonen.
4. Die Zentrierung der Pupille spielt eine wichtige Rolle in der Gesamtbewertung der Patienten und Drittpersonen. Je dezentrierter die Pupille, desto schlechter die Gesamtbeurteilung der Ästhetik.

Aus den erhobenen und ausgewerteten Daten lassen sich folgende Kriterien formulieren:

Kriterien für ein **exzellentes** ästhetisches Ergebnis:

1. Pupillendenzentrierung weniger als 0,25 mm von der Hornhautmitte
2. Delta E bei Artificial Iris vs. Rest-Iris und Partnerauge kleiner als 10

Kriterien für ein **sehr gutes** ästhetisches Ergebnis

1. Pupillendenzentrierung weniger als 0,3 mm von der Hornhautmitte
2. Delta E bei Artificial Iris vs. Rest-Iris und Partnerauge kleiner als 12,5

Kriterien für ein **gutes** ästhetisches Ergebnis

1. Pupillendenzentrierung weniger als 0,45 mm von der Hornhautmitte
2. Delta E bei Artificial Iris vs. Rest-Iris und Partnerauge kleiner als 15

Bei Anwendung dieser Kriterien haben 16 Patienten (22,86%) ein exzellentes, 16 (22,86%) ein sehr gutes und 18 (25,71%) ein gutes Ergebnis.

Da Farbe nicht nur aus einer einzigen Komponente wie z.B. Helligkeit besteht und somit hochkomplex ist, ist es nicht überraschend, dass keine brauchbaren Rückschlüsse bei isolierter Betrachtung wie z.B. Helligkeit, durchzuführen sind. Dies bedeutet, dass es keine signifikanten Ergebnisse beim Vergleich von helleren oder dunkleren Augen gab. Dies spricht gegen die anfängliche Erwartung, dass Patienten mit dunkleren Iriden bessere Ergebnisse haben würden.

Gründe für die signifikanten Unterschiede zwischen den Bewertungen der Patienten und Drittpersonen liegen mit hoher Wahrscheinlichkeit in der subjektiven Erfahrung des eigenen Behindertenseins, die nur für die betroffenen Patienten gilt. (Fegert & Früauf, 1999) Sie beinhaltete bis zur Implantation der künstlichen Iris ein vermindertes Selbstwertgefühl einhergehend mit einer Stigmatisierung durch das veränderte Aussehen und Störung der zwischenmenschlichen Kommunikation. Da es sich bei der Aniridie nicht um ein verstecktes Leiden, sondern um eine offensichtliche Beeinträchtigung handelt, sind häufig die „Narben auf der Haut“ gleichzeitig auch „Narben auf der Seele“. (Landolt, 2008, S. 49 f.) So erklärt sich auch, dass eine – wenn auch nicht 100% perfekte – Verbesserung des Aussehens eine signifikante ($p < 0,05$) Verbesserung der Lebensqualität und des Selbstwertgefühls nach oft langen Jahren des Ausgeschlossen-Seins darstellt. Bereits eine objektiv geringe Verbesserung des Augenausdrucks kann für die Patienten eine deutliche Verbesserung darstellen, da sich die Patienten kaum mehr nach einem 100% gesunden Auge orientieren.

Die große Bedeutung des Augenkontakts in zwischenmenschlichen Beziehungen ist durch nichts zu ersetzen und so erleben die betroffenen Patienten mit der Behebung ihrer Aniridie eine Reintegration in die „normal“ aussehende Gesellschaft.

Dieser wichtige Aspekt ist den beurteilenden Ärzten und vermutlich auch den Drittpersonen bekannt, doch kann die starke emotionale Komponente nicht adäquat nachempfunden werden. So beurteilen Ärzte und Drittpersonen die kosmetischen Operationsergebnisse anhand von Farbtreue, Farbsättigung und Similarität und verleihen geringen Abweichungen eine andere Gewichtung als die Patienten, denen es mehr um das Gesamtbild geht. Da die Ärzte um die Schwierigkeit des Erreichens einer perfekten Ersatz-Iris aufgrund ihrer eigenen augenärztlichen Tätigkeit besser Bescheid wissen als Laien, neigen sie dazu, gute Ergebnisse in der Bewertung besser zu honorieren als ein weniger informierter Personenkreis.

Weitere Studien zu diesem Thema sind vor allem im Hinblick auf den Status quo ante zu empfehlen auf der Grundlage einer detaillierten Patientenanamnese. Die aus der Aniridie resultierenden Beeinträchtigungen vor allem im Bereich der zwischenmenschlichen Kommunikation sollten in Fragebögen spezifiziert werden, um Vergleiche mit der tatsächlich eingetretenen Verbesserung nach der Operation anstellen zu können. Grad und Art der Beeinträchtigung können dann mit dem Grad der Zufriedenheit, dem Zugewinn an Lebensqualität und Selbstvertrauen in Beziehung gesetzt werden. Dabei sind auch Unterschiede in den Erfahrungen und Bewertungen von Patienten mit erworbener und angeborener Aniridie zu erwarten.

10. Anhang

10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: https://switchsecuritycompanies.com/iris-anatomy/iris-limbus-and-sclera	S. 10
Abb. 2: Patient aus dieser Studie	S. 11
Abb. 3: Patient aus dieser Studie	S. 11
Abb. 4: https://kontaktlinsen-maxam.de/Erfolge-mit-Kontaktlinsen-und-Sonderlinsen	S. 13
Abb. 5: https://www.wakelasik.com/site/cornea-tattoo	S. 14
Abb. 6: http://dfv.com.au/products/surgical/iols/aniridia-iols-rings-ctrs/morcher-aniridia-implant-type-type-50c	S. 16
Abb. 7: https://eyetube.net/video/ilido	S. 17
Abb. 8: https://www.aao.org/editors-choice/custom-iris-prosthesis-shows-promise	S. 19
Abb. 9: Patient aus dieser Studie	S. 27
Abb. 10: Vermessung der Pupillendenzentrierung	S. 30
Abb. 11: https://www.webmasterpro.de/design/article/farblehre-der-lab-farbraum.html	S. 32
Abb. 12: Beispiel zur Bestimmung der Irisfarbe	S. 33
Abb. 13: Darstellung der Werte von Delta E mit Beispiel	S. 35
Abb. 14: Ergebnis mit Maximaler Bewertung (Ärzte und Laien): 9,54/10	S. 42
Abb. 15: Ergebnis mit dem kleinsten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von Artificial Iris mit Rest-Iris: Delta E = 1,81	S. 42
Abb. 16: Ergebnis mit dem kleinsten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von operiertem Auge mit Partnerauge: Delta E = 2,36	S. 43
Abb. 17: Ergebnis mit dem größten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von Artificial Iris mit Rest-Iris: Delta E = 24,05	S. 43
Abb. 18: Ergebnis mit dem größten Farbunterschied Delta E bei Vergleich von operiertem Auge mit Partnerauge: Delta E = 40,99	S. 44
Abb. 19: Ergebnis mit minimaler Dezentrierung aus dem Patientenkollektiv: 0,02 mm	S. 44
Abb. 20: Ergebnis mit maximaler Dezentrierung aus dem Patientenkollektiv: 1,04 mm	S. 45
Abb. 21: Ergebnis mit deutlichem Farbunterschied jedoch sehr hoher Zufriedenheit: Delta E = 13,2	S. 45
Abb. 22: Beispiel von beiderseitiger Irisprothese	S. 46

10.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zusammenfassung der Ergebnisse des Patientenfragebogens	S. 37
Tab. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse des Fragebogens für Drittpersonen	S. 38
Tab 3: Delta E Verteilung	S. 40
Tab 4: Delta E	S. 40
Tab 5: Pupillendenzentrierung	S. 41
Tab 6: Gesamtbewertung des ästhetischen Ergebnisses	S. 48

10.3 Diagrammverzeichnis

Diagr. 1: https://www.aao.org/headline/fda-clears-first-artificial-iris-by-humanoptics	S. 24
Diagr. 2: Darstellung aller Messungen der Pupillendenzentrierung (n=70)	S. 41
Diagr. 3: Verteilung der unterschiedlichen Bewertungen durch Patienten und Drittpersonen	S. 47
Diagr. 4: Korrelation zwischen Noten und Delta E beim Vergleich von AI und PA	S. 49
Diagr.5: Korrelation zwischen Noten und Delta E beim Vergleich von AI und RI	S. 49
Diagr. 6: Korrelation zwischen Noten der Gesamtbewertung und Delta E (AI vs. PA)	S. 50
Diagr. 7: Korrelation zwischen Noten der Gesamtbewertung und Delta E (AI vs. RI)	S. 50
Diagr. 8: Korrelation zwischen Noten und Pupillenmessung	S. 51
Diagr. 9: Korrelation zwischen Gesamtnote und Pupillendenzentrierung zur Hornhautmitte	S. 52

10.4 Detaillierte Darstellung der Ursachen der Aniridie des Patientenkollektivs

Stumpfes Trauma durch

1. Stein
2. Tennisball
3. Faust
4. Holzstück
5. Golfball
6. Expander
7. Eisenkette
8. Federball
9. Gegen Autotür geradelt
10. Sturz unter Alkoholeinfluss
11. Eisklotz
12. Wasserstrahl
13. Spanngurt

Perforierendes Trauma durch

14. Gerissene Flexscheibe
15. Brillenglassplitter
16. Schraubenzieher
17. Umherfliegendes Holz bei einer Explosion im Wald
18. Stein bei Hammer-Meißel
19. Glass bei Autounfall
20. Autounfall
21. Metallstück
22. Luftpistole
23. Nagel
24. Feuerwerkskörper
25. Sturz
26. Reiszwecke

- 27. Koralle beim Schwimmen im Meer
- 28. Ast
- 29. Zange
- 30. Auf Türklinke gestürzt
- 31. Auf Wasserhahn gestürzt
- 32. Hirtenstock
- 33. Sturz vom Fahrrad in Ständer
- 34. Draht
- 35. Reisverschluss
- 36. Abgebrochener Bohrer
- 37. Schraube
- 38. Gummiseil mit Hacken

Sonstige Ursachen

- 39. Komplikationen während/nach Katarakt-Operation
- 40. Angeboren
- 41. Atrophie nach Iritis
- 42. Iristumor
- 43. Unklare Mydriasis
- 44. Kongenitales Kolobom

10.5 CIE2000 Formel

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2} + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}$$

$$\Delta L' = L_2^* - L_1^*$$

$$\bar{L} = \frac{L_1^* + L_2^*}{2} \quad \bar{C} = \frac{C_1^* + C_2^*}{2}$$

$$a_1' = a_1^* + \frac{a_1^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) \quad a_2' = a_2^* + \frac{a_2^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right)$$

$$\bar{C}' = \frac{C_1' + C_2'}{2} \quad \text{and} \quad \Delta C' = C_2' - C_1' \quad \text{where} \quad C_1' = \sqrt{a_1'^2 + b_1'^2} \quad C_2' = \sqrt{a_2'^2 + b_2'^2}$$

$$h_1' = \text{atan2}(b_1^*, a_1') \quad \text{mod} \quad 360^\circ, \quad h_2' = \text{atan2}(b_2^*, a_2') \quad \text{mod} \quad 360^\circ$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h_2' - h_1' & |h_1' - h_2'| \leq 180^\circ \\ h_2' - h_1' + 360^\circ & |h_1' - h_2'| > 180^\circ, h_2' \leq h_1' \\ h_2' - h_1' - 360^\circ & |h_1' - h_2'| > 180^\circ, h_2' > h_1' \end{cases}$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C_1' C_2'} \sin(\Delta h'/2), \quad \bar{H}' = \begin{cases} (h_1' + h_2' + 360^\circ)/2 & |h_1' - h_2'| > 180^\circ \\ (h_1' + h_2')/2 & |h_1' - h_2'| \leq 180^\circ \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{H}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{H}') + 0.32 \cos(3\bar{H}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{H}' - 63^\circ)$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015 (\bar{L} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0.045 \bar{C}' \quad S_H = 1 + 0.015 \bar{C}' T$$

$$R_T = -2 \sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}} \sin \left[60^\circ \cdot \exp \left(- \left[\frac{\bar{H}' - 275^\circ}{25^\circ} \right]^2 \right) \right]$$

Quelle: <http://zschuessler.github.io/DeltaE/learn> (02.02.2019)

11. Ethikvotum

Technische Universität München · Fakultät für Medizin · Ethikkommission
Ismaninger Str. 22 · 81675 München · Germany

Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München
Dr. Christian Mayer
Augenklinik und Poliklinik
Ismaninger Str. 22
81675 München

München, 03.12.2015
Unser Zeichen: **535/15 S** (bitte bei Schriftwechsel angeben)

Beratung nach § 15 Berufsordnung für Ärzte in Bayern

Projekt: Pupillary reconstruction and outcome after artificial iris implantation*.

Sehr geehrter Herr Dr. Mayer,

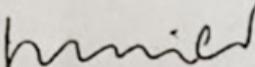
die Ethikkommission hat das von Ihnen am 01.12.2015 (Eingang 02.12.2015) eingereichte Forschungsvorhaben im verkürzten Verfahren begutachtet.

Sofern Sie Ihre Untersuchungen nur retrospektiv anhand von Patientendaten durchführen die irreversibel anonymisiert sind, d.h. dass auch die Bearbeiter keinen Rückschluss auf die Daten der entsprechenden Personen erhalten, bestehen keine ethisch-rechtlichen Bedenken gegen dieses Projekt.

Vorsorglich möchte ich darauf hinweisen, dass auch bei einer positiven Beurteilung Ihres Vorhabens die Verantwortung für die Durchführung des Projektes uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern verbleibt.

Für ihre Untersuchungen wünsche ich Ihnen viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen


Prof. Dr. Georg Schmidt
Vorsitzender der Ethikkommission

12. Literaturverzeichnis

- Alio, J. & Rodriguez, A. & Toffaha, B. & Pinerio, D. & Monereno, L., 2011a, Femtosecond-assisted keratopigmentation for functional and cosmetic restoration in essential iris atrophy, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 37, S. 1744–1747
- Alio, J & Sinerol, B. & Waleeska, A. & Miranda, M., 2010, Corneal tattooing (keratopigmentation) with new mineral micronized pigments to restore cosmetic appearance in severely impaired eyes, *Journal of Ophthalmology*, Vol. 94, S. 245-249
- Alio, J., 2011b, Keratopigmentation (corneal tattooing) for the management of visual disabilities of the eye related to iris defects, *Journal of Ophthalmology*, Vol. 95, S. 1397–1401
- Anderson, J. & Grippo, T. & Sbeity, Z. & Ritch, R., 2010, Serious complications of cosmetic NewColorIris implantation, *Acta Ophthalmology*, Vol. 88, S. 700-704
- Arthur, S. & Wright, M. & Kramarecsky, N. & Kaufman, S., 2009, Uveitis-glaucoma-hyphema syndrome and corneal decompensation in association with cosmetic iris implants, *American Journal of Ophthalmology*, Vol. 148, S. 790-793
- Aslam, S., 2008, Implantation of the black diaphragm intraocular lens in congenital and traumatic aniridia, *Ophthalmology*, Vol. 115, S. 1705-1712
- Auffarth, G. & Thomas, B. & Ehmer, A., 2010, Aniridie-IOLS und künstlicher Irisersatz, *Schwierige Ausgangssituation*, S. 241-245
- Axenfeld, T. & Pau, H., 1980, *Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde*. Unter Mitarbeit von R. Sachsenweger u. a., Stuttgart, S. 294
- Ballew, C. & Todorov, A. (2007). Predicting political elections from rapid and unreflective face judgements. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*, Vol. 104, S. 12948-12953
- Beuschel, R. & Todorova, M. 2018, Case Study: Focus (NY), Irisprint-Kontaktlinsen, S. 42-44
- Brown, M. & Hardten, D. & Knish, K., 2005, Use of the artificial iris implant in patients with aniridia, *Optometry*, Vol. 76(3), S. 157–164
- Brandlhuber, U. & Nentwich, M. & Rudolph, G., & Haritoglou, C., 2015, Artificial Iris Implantation in a 9-Year-Old Boy. *European Journal of Ophthalmology*, 25(6), S.109–11
- Brisch, K. & Hellbrügge, T. 2008, *Der Säugling – Bindung, Neurobiologie und Gene*. Stuttgart, S. 86

Budo, C., 2012, Iris Repair after Long-Term Complications of Angle-Supported Phakic Intraocular Lenses, *Open Journal of Ophthalmology*, Vol. 2

Burk, S. & Mata, A. & Snyder, M. & Cionni, R. & Cohen, J. & Osher, R., 2001, Prosthetic iris implantation for congenital, traumatic or functional iris deficiencies, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 27, S. 1732-1740

Castanera, F. & Fuentes-Paez, G. & Beng, P. & Pinalla, B. & Guevara, O., 2010, Scanning electron microscopy of explanted cosmetic iris implants, *Clinical Experimental Ophthalmology*, Vol. 38, S. 648-651

Cavallini, G. & Lugli, N. & Campi, L. & Pagliani, L. & Saccarola, P., 2004, Bottle-cork injury to the eye: a review of 13 cases. *European Journal of Ophthalmology*, Vol. 13(3), S. 287-291

Chen, D. & Yang, T. & Zhu, S., 2018, Recurrent PAX 6 mutation in a Chinese family with congenital aniridia, progressive cataracts and mental retardation, *European Journal of Ophthalmology*, 30(1) S. 181–188

Chung, M. & Miller, K. & Weissman, B., 2009, Morcher iris reconstruction lens and rigid contact lens for traumatic aniridia, *Eye Contact Lens*, Vol. 35, S. 108–110

Color: <https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/part5/03.html> (26.07.2020)

Constantino, J. & Kennon-McGill, S. & Weichselbaum, C. & Marrus, N. & Haider, A. 2017, Infant viewing of social scenes is under genetic control and is atypical in autism. *Nature*, Vol. 547(7663): S. 340-344

Delta E: <http://zschuessler.github.io/DeltaE/learn/> (26.07.2020)

Eimer, M. & Holes, A. 2007, Event-related brain potential correlates of emotional face processing. *Neuropsychologia*, Vol. 45, S. 15-31

Farblehre: <https://www.webmasterpro.de/design/article/farblehre-der-lab-farbraum.html> (27.07.2020)

Fegert, J. & Früauf, T., 1999, *Integration von Kindern mit Behinderungen*. München

Fischer, R., 1987, Small Samples, *Statistical Science*, Vol. 2(1), S. 45-52

Fishkind, W., 2017, Phacoemulsification and intraocular lens implantation: 32 Iris Defects and Complications, S. 263

George, M. & Tsai, J. & Loewen N., 2011, Bilateral irreversible severe vision loss from cosmetic iris implants, *American Journal of Ophthalmology*, Vol. 151, S. 872-875

Gegenfurtner, K.: Farbwahrnehmung. <http://www.allpsych.unigiessen.de/karl/teach/farbe.html>. (26.07.2020)

Gestaltungsfarbe: https://lehrerfortbildungbw.de/st_digital/medienkompetenz/gestaltung-farbe/systeme/pc/lab/ (26.07.2020)

Graumann, W. & Sasse, D., 2005 Compact Lehrbuch Anatomie. Band 4: Sinnessysteme, Haut, ZNS, periphere Leitungsbahnen. Schattauer, Stuttgart, S. 3

Grunauer-Kloevekorn, C. & Habrmann, A. & Wilhelm, F. & Duncker, G. & Hammer, T. 2004, Contact lens fitting as a possibility for visual rehabilitation in patients after open globe injuries, *Klinisches Monatsblatt der Augenheilkunde*, Vol. 221, S. 652–657

Guerriero, S. & L'Abbate, M & La Tegola, M., 2011, Combined aniridia ring implantation and cataract surgery in an Axenfeld-Rieger syndrome: a UBM report, *Eye Contact Lens*, Vol. 37, S. 45–47

Habekost, H., 2013, Which color differencing equation should be used? *International Circular of Graphic Education and Research*, Vol. 6, S.20-33

Handels, H., 2009, *Medizinische Bildverarbeitung*, 2. Auflage, S. 291

Hanumanthu, S. & Webb, L., 2003, Management of traumatic aniridia and aphakia with an iris reconstruction implant, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 29, S. 1236–1238

Hård, A. & Sivik L. & Tonnquist, G., 1996, NCS Natural Color System - from Concepts to Research and Applications. Part I and II. *Color Research And Application*, Vol. 21, S. 180–220

Hartmann, M. & Pabst, M. & Dohr, G., 2009, *Zytologie, Histologie und Mikroskopische Anatomie. Licht- und elektronenmikroskopischer Bildatlas*. 4. überarbeitete Auflage, Wien S. 130

Hesselgren, S., 1984, Why Colour Order Systems?, *Color Research and Application*, S. 220–226

Hingorani, M. & Hanson, I. & van Heyningen, V. 2012, Aniridia, *European Journal of Genetics*, Vol. 20, S. 1011-1017

Hoguet, A. & Ritterband, D. & Koplin, R. & Wu, E. & Raviv, R. & Aljuab, J. & Seedor, J., 2012, Serious ocular complications of cosmetic iris implants in 14 eyes, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 38(3), S. 387-393

Hull, S., 2010, Complications and management of cosmetic anterior chamber iris implants, *Contact Lens Anterior Eye*, Vol. 33, S. 235-238

HumanOptics, 2018, <https://www.humanoptics.com/en/physicians/artificialiris> (26.07.2020)

Käsmann-Kellner, B.: www.aniridie-wagr.de (26.06.2020)

Keizer, R. & Razzaq, L. & Tassignon, M, 2010 Iris melanoma in a child treated with iridectomy and a phakic iris repair implant lens: a case report of 8 years postoperative follow-up, *Journal of Ophthalmology*, Vol. 94, S. 953–954

Khng, C. & Snyder M., 2005: Iris reconstruction with a multipiece endocapsular prosthesis in iridocorneal endothelial syndrome, *Journal of Cataract Refractive Surgery*, Vol. 31, S. 2051–2054

Kim, J. & Lee, D. & Hahn, T. & Choi, S., 2009, New surgical strategy for corneal tattooing using a femtosecond laser, *Cornea*, Vol. 28, S. 80–84

Koch, H. 2003, Irisprothetik: Ein Überblick, Neuentwicklung einer flexiblen Kunstiris, 17th Kongress der deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und Refraktive Chirurgie, Ludwigshafen, Germany

Koch, K. & Heindl, L. & Cursiefen, C. & Koch, H., 2014, Artificial iris devices: benefits, limitations, and management of complications, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 40(3), S. 376-382

Koch, H. & Linn, L., 2008, A new foldable artificial iris. Indication, surgical techniques and first results, *Clinical Ophthalmology*, Vol. 36, S. 1 f.

Kohnen, T. 2011, *Refraktive Chirurgie*. Springer, Berlin, ISBN 978-3-642-05405-1, S. 22

Landolt, M., 2008, Narben auf der Haut - Narben auf der Seele. In: Schiestl, C. & Schluer, A. & Zikos-Pfenninger, I., *Schaut mich ruhig an. Wie brandverletzte Kinder und Jugendliche ihr Leben meistern*. Zürich, S. 49-57

Lapointe, J. 2010, Prothese d'oeil photonique, *Masters Abstracts International*, Vol. 49-04, S. 2512

Lee, H. & Khan, R. & O'Keefe, M., 2008, Aniridia: current pathology and management, *Acta Ophthalmology*, Vol. 86, S. 708-715

Lee, H. & Meyers, K. & Lanigan, B. & O'Keefe, M., 2010, Complications and visual prognosis in children with aniridia, *Journal of pediatric ophthalmology and Strabismus*, Vol. 47(4), S. 205-210

Leong, V. & Byrne, E. & Clackson, K. & Georgieva, S. & Lam, S. & Wass, S. 2017, Speaker gaze increases information coupling between infant and adult brains. *Proc Natl Acad Sci USA*. 114(50): S. 13290-13295

Luo, W. & Tong, J. & Shen, Y., 2012, Rigid gas-permeable contact lens for visual rehabilitation in aphakia following trauma, *Clinical Ophthalmology*, Vol. 95, S. 499–505

MacDonald, L., 2010, Cosmetic iris implants—is vanity worth losing your vision? *Journal of American Optometric Association*, Vol. 81, S. 281-282

Magnus, J., 2012, Safety of an artificial iris in a phakic eye, *Journal of Cataract and Refractive surgery*, Vol. 38(6), S. 1097-1100

Marzi, T. & Stefania Righi, S. & Ottonello, S. & Cincotta, M. & Viggiano, M. 2014, Trust at first sight: evidence from ERPs. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, Vol. 9, S. 63–72

Mavrikakis, I. & Mavrikakis E. & Syam, P. & Bell, J. & Casey, J. & Casswell, A. & Brittain, G. & Liu, C. 2005, Surgical management of iris defects with prosthetic iris devices, *Eye*, Vol. 19, S. 205-209

Mayer, C., 2016a, Pupillenrekonstruktion mit einer künstlicher Iris aus Silikon; *Zeitschrift der praktischen Augenheilkunde*, Vol. 37, S. 227–230

Mayer, C. & Hoffmann, A., 2015: Chirurgische Versorgung mit einer künstlichen Iris, *Ophthalmologe*, Vol. 12, S. 113-15

Mayer, C. & Reznicek & L., Hoffmann, A., 2016b, Pupillary Reconstruction and Outcome after Artificial Iris Implantation, *American Academy of Ophthalmology, Ophthalmology*, Vol. 123, S. 1011-1018

Mayer, C. & Tandogan, T. & Hoffmann, A. & Khoramnia, R., 2017, Artificial iris implantation in various iris defects and lens conditions, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol 43, S. 724-731

Mikhail, M. & Koushan & Sharda & Isaza & Mann, 2012, Traumatic aniridia in a pseudophakic patient 6 years following surgery, *Clinical Ophthalmology*, Vol. 6, S. 237–241

Moghim, S. & Esfahani, M. & Maghsoudipour, M., 2007, Visual function after implantation of aniridia intraocular lens for traumatic aniridia in vitrectomized eye, *European Journal of Ophthalmology*, Vol. 17, S. 660-665

Nelson, L. & Spaeth, G. & Nowinski, T. & Margo, C. & Jackson, L., 1984, Aniridia. A review. *Survey of Ophthalmology*, Vol. 28, S. 621-642

Neuhann, I. & Neuhann T., 2010, Cataract surgery and aniridia, *Current Opinion in Ophthalmology*, Vol. 21(1), S. 60-64

Ninios, K. & Jonescu-Cuypers, C. & Seitz, B., 2011, Glaucoma with primary iris malformations. Axenfeld-Rieger syndromes, ICE syndromes (essential iris atrophy,

Chandler's syndrome, Cogan-Reese syndrome), aniridia, *Der Ophthalmologe*, Vol. 108, S. 585–593

Olson, M. & Masket, S. & Miller, K., 2008, Interim results of a compassionate use clinical trial of Morcher iris diaphragm implantation: Report 1, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 34(10), S. 1674–1680

Oltra, E. & Chow, C. & Lunde, M. 2012, Bilateral traumatic expulsive aniridia after phacoemulsification. *Middle East African Journal of Ophthalmology*, Vol. 19, S. 334–336

Osher, R. & Burk, S., 1999, Cataract surgery combined with implantation of an artificial iris, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 25(11), S. 1540–1547

Papageorgiou, K. & Farroni, T. & Johnson, M. & Smith, T. & Ronald, A. 2015, Individual Differences in Newborn Visual Attention Associate with Temperament and Behavioral Difficulties in Later Childhood. *Scientific Reports*, Vol. 5, Artikelnummer 11264

Petousis, V. & Krause, L. & Willerding, G. & Bechrakis, N. & Foerster, M., 2011, Results and complications after implantation of a black iris-lens diaphragm in patients with traumatically induced aphakia and aniridia, *European Journal of Ophthalmology*, Vol. 21, S. 754-759

Pozdeeva, N., 2006, Experimental rationale for the use of a new model of the artificial iridolens stop for reconstructive surgery, *Vestnik Oftalmologii*, 122(3), S. 30-33

Price, M. & Price, F. & Chang, D. & Kelley, K. & Olson, M. & Miler, K., 2004, Ophtec iris reconstruction lens: United States clinical trial phase I, *Ophthalmology*, Vol. 111(10), S. 1847–1852

Rana, M. & Savant, V. & Prydal, J., 2013, Case report: A new customized artificial iris diaphragm for treatment of traumatic aniridia, *Contact Lens Anterior Eye*, Vol. 36(2), S. 93-94

Reinhard, T. & Engelhardt, S. & Sundmacher, R., 2000, Black diaphragm aniridia intraocular lens for congenital aniridia: long-term follow-up, *Journal of Cataract & Refractive Surgery*: Volume 26 - Ausgabe 3 – S. 375-381

Rickmann, A. & Szurman, P. & Waizel, M. & Spitzer, M. & Boden, K. & Szurman, G., 2016, Long-term results after artificial iris implantation in patients with aniridia, *Graefes Archive of Clinical Ophthalmology*, Vol. 254, S. 1419–1424

Roman, S. & Cherrate, H. & Trouvet, J. & Ullern, M. & Baudouin, C., 2009, Artificial iris intraocular lenses in aniridia or iris deficiencies, *Journal of Ophthalmology*, Vol. 32, S. 320-325

Rosenthal, K., 2004, Prosthesis/IOL implantation. *Cataract and Refractive Surgery Today*, S. 78–80

Sakellaris, D. & Goossens, C. & Tassignon, M., 2009, Customized iris clip anterior chamber intraocular lenses designed for iris reconstruction. *European Journal of Ophthalmology*, Vol. 19, S. 1084–1087

Sharma, G. & Wu, W. & Dalal, E., 2004, The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observation, *Color research and application*, Vol. 20(1), S. 21-24

Sharpe, L. & Stockman, A. & Jägle, H. & Nathans, J., 1999, Opsin genes, cone photopigments, color vision, and color blindness. In: Gegenfurtner, K.R. & Sharpe, L.T. (Hrsg) *Color vision: from genes to perception*, New York, Cambridge University Press, S. 3-51

Sheth, H. & Laidlaw, A., 2006, Traumatic aniridia after small incision cataract extraction, *Contact Lens Anterior Eye*, Vol. 29, S. 163–164

Slomovits, T. L. 1998: The pupils and accommodation, *Duane's Clinical Ophthalmology*, Vol. 2, S. 76

Sidharth, J. 2010, Prosthetic Rehabilitation of Ocular Defect Using Digital Photography: A Case Report, *Journal Indian Prosthodont Soc.*, Vol. 10(3), S. 190-193

Signifikanz:

http://www.diss.fuberlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000005592/DISSERTATION_Version_online_Abgabe_korrigiert_24_04_2009_2.pdf (26.07.2020)

Sikder, S. & Davis, S. & Holz, H. & Moshirfar, M., 2011, Complications of NewColorIris implantation in phakic eyes: a review. *Clinical Ophthalmology*, Vol. 5, S. 435-438

Sminia, M. & Odenthal, M. & Gortzak-Moorstein, N. & Wenniger, -Prick, L. & Völker-Dieben, H., 2008, Implantation of the Artisan® iris reconstruction intraocular lens in 5 children with aphakia and partial aniridia caused by perforating ocular trauma, *Journal AAPOS*, Vol. 12(3), S. 268–272

Srinivasan, S. & Yuen, C. & Watts, M. & Prasad, S., 2007, Endocapsular iris reconstruction implants for acquired iris defects: a clinical study, *Eye*, Vol. 21, S. 1109-13

Standardnormalverteilung:

<https://www.medizin.unimuenster.de/fileadmin/einrichtung/ibkf/lehre/skripte/biometrie/bio/glossar.html#Standardnormalverteilung> (26.06.2020)

Strauß, O.: Schau mir in die Augen: <https://www.uniregensburg.de/FOR107>

5/download/kult22_11-10.pdf (26.07.2020)

Sundmacher, R. & Reinhard T. & Althaus C., 1994, Black-diaphragm intraocular lens for correction of aniridia, *Ophthalmic Surgery*, Vol. 25, S. 180-185

Szurman, P. & Jaissle, G. 2001, Artificial Iris, *Der Ophthalmologe*, Vol. 108, S. 720-727

Thiagalingam, S. & Tarongoy, P. & Hamrah, P. & Lobo, A. & Nagao, K. & Barsam, C. & Bellows, R. & Pineda, R., 2008, Complications of cosmetic iris implants, *Journal of Cataract Refractive Surgery*, Vol. 34, S. 1222-1224

Thomas, B. 2013, Aniridie IOL und künstlicher Irisersatz, *Klinisches Monatsblatt Augenheilkunde*, Vol. 230(8), S. 786-790

Thompson, C., 1999, Implantation of a black diaphragm intraocular lens for traumatic aniridia, *Journal of Cataract Refractive Surgery*, Vol. 25, S. 808-813

Traboulsi, E. & Ellison, J. & Sears, J. & Maumenee, I. 2008, Aniridia with preserved visual function: a report of four cases with no mutations in Pax6. *American Journal of Ophthalmology*, Vol. 145, S. 760-764

Viestenz, A. & Kuchel, M., 2002, Ocular contusion caused by elastic cords: a retrospective analysis using the Erlangen Ocular Contusion Registry, *Clinical Ophthalmology*, Vol. 30(4), S. 266-269

Williams, D., 2001, How far can we extend the limits of human vision? In: S. M. MacRae, R. R. Krueger, R. A. Applegate, *Customized Corneal Ablation: The Quest for Super Vision*, S. 11-32

Willis, J. & Todorov, A. 2006, First impressions: making up your mind after 100-ms exposure to a face. *Psychological Science*, Vol. 17, S. 592-598

Winston, J. & Strange, B. & O'Doherty, J. & Dolan, R. (2002). Automatic and Intentional Brain Responses During Evaluation of Trustworthiness of Faces. *Nature neuroscience*. 5. 277-83.

Wong, V., 2005, Black diaphragm aniridia intraocular lens for aniridia and albinism, *Graefes Archive Clinical Ophthalmology*, Vol. 243, S. 501-504

Zebrowitz, L. & Montepare, J. 2005, Appearance DOES matter. *Science*, Vol. 308, S. 1565-1566

Zeki, S., 1980, The representation of colours in the cerebral cortex. *Nature*, Vol. 284, S. 412-418