

**Dissertation**

**Sehqualität mit photochromatischen  
Intraokularlinsen**

eingereicht von

**Thomas Mark**

Mat.Nr.: 0111021

**zur Erlangung des akademischen Grades**

**Doktor der gesamten Heilkunde  
(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt

**an der Universitätsklinik für Augenheilkunde**

unter der Betreuung von

**Univ. Doz. Dr. Navid Ardjomand**

Graz, am 24.04.2009

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 24.04.2009

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei dieser Arbeit und in dieser arbeitsintensiven Zeit unterstützt haben.

Ein herzliches Dankeschön an Univ. Doz. Dr. Navid Ardjomand der mir diese Arbeit erst ermöglicht hat und mir während der gesamten Zeit mit fachlichen und freundschaftlichen Ratschlägen zur Seite stand.

Weiters möchte ich mich auch für die Betreuung durch Ass. Dr. Elfriede Wenzl, die mir bei der Untersuchung der Patienten eine sehr große Hilfe war, bedanken.

Ein Dank auch an das gesamte Personal, mit besonderer Erwähnung der biomedizinischen Analytikerin Anna Margaretha Theisl, der Augenklinik Graz, für die freundliche und nette Zusammenarbeit. Hierbei möchte ich mich auch noch beim Klinikvorstand Univ. Prof. Dr. Andreas Wedrich, für die Möglichkeit an der Augenklinik Graz zu dissertieren bedanken.

Danken möchte ich meinen Freunden, die mich durch das gesamte Studium begleitet haben und ein spezielles Dankeschön an diejenigen die das Lektorat übernommen haben.

Ein besonderes Dankeschön gebührt meinen Eltern, die mir das Medizinstudium erst ermöglicht haben. Ich danke auch meinem Bruder Michael, der mir am Anfang des Studiums immer zur Seite stand.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich meiner Freundin Magdalena und ihrer Tochter Mia aussprechen die mich während dieser arbeits- und zeitintensiven Studie immer unterstützt haben.

## Abstract

**BACKGROUND:** Yellow intra ocular lenses with a blue light filter protect the retina not only against the UV-light, but also against the aggressive short-waved blue light, which is a risk factor for the age-related macular degeneration. However, the filtering of the blue light may reduce the patient's visual function, in particular the colour and contrast sensitivity. In order to alleviate this effect, a photochromatic intra ocular lens was developed, combining the advantages of clear and yellow IOLs: at night or under low light exposure the IOL is clear while it turns yellow becoming a blue light filter under bright conditions.

**PATIENTS AND METHODS:** In this retrospective study 30 patients (32 eyes) underwent a mono- or binocular cataract surgery with implantation of an intra ocular lens. Other kinds of eye diseases were a criterion for exclusion of this study.

11 eyes got a photochromatic IOL from the type Aurium, 9 eyes a clear IOL from the type Hoya AF-1 UV 60BB and 12 eyes a yellow IOL with blue light filter from the type Hoya AF-1 UY 60BB. Six months postoperatively the best corrected spectacle visual acuity, photopic and mesopic contrast sensitivity in distance (3 m and 6 m) with the Pelli-Robson-Test, high mesopic (5 lux) and low mesopic (0.5 lux) contrast sensitivity in closeness with the Holladay test and the colour sensitivity with the desaturated Lanthony D-15 test were examined.

**RESULTS:** No significant statistical differences between the yellow IOL with blue light filter and the clear one in the examined parameters were observed. The photochromatic Aurium IOL, however, showed significantly better results in best corrected spectacle visual acuity as well as photopic and mesopic contrast sensitivity in 3 m distance compared to the two other IOLs.

**CONCLUSION:** The photochromatic IOL not only shows better contrast sensitivity in 3 m distance compared to a clear and a yellow IOL but also potentially protect the macula against the oxidative damage that can be caused by the aggressive short waved blue light. Therefore the use of the photochromatic IOLs for future cataract surgeries should be recommended.

# Kurzzusammenfassung

**HINTERGRUND:** Gelbe Intraokularlinsen mit Blaulichtfilter schützen die Netzhaut nicht nur vor UV-Licht sondern auch vor aggressivem kurzwelligem blauen Licht, das als Risikofaktor für altersbedingte Makuladegeneration gilt. Durch diese Filterfunktion wird oft ein schlechteres Kontrast- und Farbsehen vermutet. Aus diesem Grund wurden photochromatische Intraokularlinsen entwickelt, die die Eigenschaften von klaren und gelben IOL miteinander verknüpfen: In der Nacht oder bei wenig Licht sind sie klar und bei vermehrter Lichtexposition werden sie gelb und bekommen die Eigenschaften eines Blaulichtfilters.

**PATIENTEN UND METHODEN:** In dieser retrospektiven Studie unterzogen sich 30 Patienten (32 Augen) einer ein- oder beidseitigen Kataraktoperation mit Implantation einer Intraokularlinse. Weitere ophthalmologische Erkrankungen galten als Ausschlusskriterium von dieser Studie.

11 Augen wurden eine photochromatische IOL vom Typ Aurium, 9 Augen eine klare IOL vom Typ Hoya AF-1 UV 60BB und 12 Augen eine gelbe IOL mit Blaulichtfilter vom Typ Hoya AF-1 UY 60BB implantiert. Sechs Monate nach der Operation wurde der bestkorrigierte Visus, Kontrastsehen in der Ferne (3 und 6 m) unter photopischen und mesopischen Bedingungen mit dem Pelli-Robson-Test, Kontrastsehen in der Nähe unter hoch – mesopischen (5 lux) und niedrig – mesopischen (0,5 lux) Bedingungen mit dem Holladay Test und das Farbsehen mit dem desaturiertem Lanthony D-15 Test ermittelt.

**ERGEBNISSE:** Gelbe IOL mit Blaulichtfilter zeigen im Vergleich zu den klaren IOL keine signifikanten statistischen Unterschiede in den untersuchten Parametern. Die photochromatische Aurium IOL wies signifikante Vorteile beim bestkorrigierten Visus und beim Kontrastsehen in 3 m Entfernung unter photopischen und mesopischen Bedingungen im Vergleich zu den beiden Hoya IOL auf.

**SCHLUSSFOLGERUNG:** Da die photochromatische Intraokularlinse unter Umständen die Netzhaut vor oxidativen Schäden durch aggressives kurzwelliges blaues Licht schützt und zugleich eine bessere Kontrastsensitivität in 3 m Entfernung als die zwei vergleichenden IOL aufweist, wäre es empfehlenswert in Zukunft auf diese IOL bei Kataraktoperationen zurückzugreifen.

# Abkürzungen

dpt	Dioptrien
f	Brennweite
IOL	Intraokularlinse
ICCE	Intracapsula cataract extraction
ECCE	Extracapsula cataract extraction
PMMA	Polymethylmethacrylat
CCC	Continuous Circular Capsulorhexis
AMD	altersbedingte Makuladegeneration
RPE	retinale Pigmentepithelien
CNV	choroidale Neovaskularisation
VEGF	vascular endothelial growth factor
PEDF	pigment epithel derived factor
Phako	Phakoemulsifikation
LOA	lower order aberration
HOA	higher order aberration
Z	Zernike Polynom
PVDF	Polyvinylidenfluorid
Vcc	Visus mit Korrektur
photop	photopisch
mes	mesopisch
post op	nach Operation

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>3</b>
1.1 Anatomie des Auges.....	3
1.1.1 Allgemeines.....	3
1.1.2 Linse.....	4
1.1.3 Retina.....	6
1.2 Optische Apparat.....	8
1.2.1 Allgemeines.....	8
1.2.2 Akkomodationsbreite.....	9
1.2.3 Akkomodationsmechanismus.....	9
1.2.4 Hell – und Dunkeladaption.....	10
1.2.5 Abberation.....	12
1.2.6 Wellenfrontanalyse.....	16
1.3 Die Katarakt.....	18
1.3.1 Symptome.....	18
1.3.2 Einteilung der Katarakt.....	19
1.3.3 Grauer Altersstar.....	20
1.4 Geschichte der Kataraktoperation.....	24
1.5 Therapie.....	28
1.5.1 Indikation.....	28
1.5.2 Präoperative Untersuchungen.....	28
1.5.3 Anästhesie.....	29
1.5.4 Kataraktoperation.....	30
1.5.5 Nachstar.....	32
1.6 Intraokularlinsen.....	33
1.7 Licht induzierte AMD.....	37
1.7.1 Altersbedingte Makuladegeneration.....	37
1.7.2 Phototoxizität.....	40
1.7.2.1 Allgemeines.....	40
1.7.2.2 Schutzfunktion des Auges.....	41
1.8 Ziel der Arbeit.....	43

<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>44</b>
2.1	Hoya AF-1 UV / Hoya AF-1 UY / Aurium.....	44
2.2	Patienten.....	47
2.3	Untersuchung.....	48
2.3.1	Kontrastsehen in der Ferne.....	49
2.3.2	Kontrastsehen in der Nähe.....	50
2.3.3	Farbsehen.....	51
2.4	Statistik.....	52
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>53</b>
3.1	Alter.....	53
3.2	Visus mit Korrektur.....	54
3.3	Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter photopischen Bedingungen.....	55
3.4	Kontrastsehen aus 6 m Entfernung unter photopischen Bedingungen.....	56
3.5	Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen.....	57
3.6	Kontrastsehen aus 6 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen.....	58
3.7	Kontrastsehen in der Nähe mit 50%-iger Kontrasttafel unter hoch – mesopischen Bedingungen.....	59
3.8	Kontrastsehen in der Nähe mit 25%-iger Kontrasttafel unter hoch – mesopischen Bedingungen.....	60
3.9	Kontrastsehen in der Nähe mit 12,5%-iger Kontrasttafel unter hoch – mesopischen Bedingungen.....	61
3.10	Kontrastsehen in der Nähe mit 50%-iger Kontrasttafel unter niedrig – mesopischen Bedingungen.....	62
3.11	Kontrastsehen in der Nähe mit 25%-iger Kontrasttafel unter niedrig – mesopischen Bedingungen.....	63
3.12	Kontrastsehen in der Nähe mit 12,5%-iger Kontrasttafel unter niedrig – mesopischen Bedingungen.....	64
3.13	Farbsehen mit desaturiertem Lanthony D-15 Test.....	65
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>Literaturnachweis</b> .....	<b>77</b>

Anhang

DVD

# 1 Einleitung

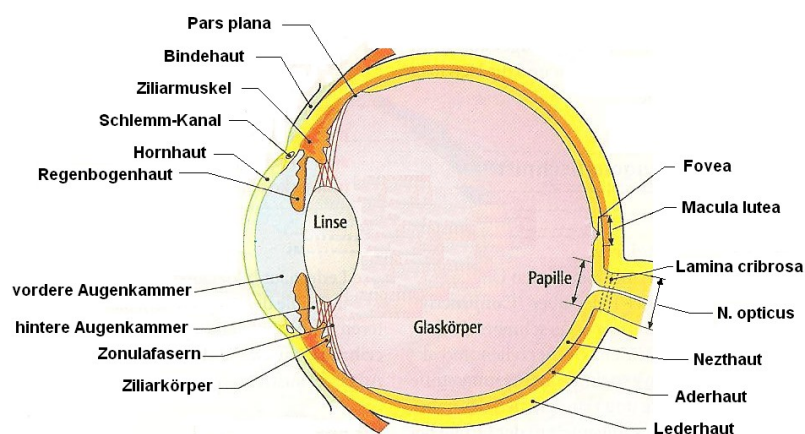
## 1.1 Anatomie des Auges

### 1.1.1 Allgemeines

Der Bulbus oculi (= Augapfel), mit einem Durchmesser von 24 mm bei einem normalsichtigen Erwachsenen, ist in der knöchernen Orbita des Schädels eingebettet.

Die Wand des Augapfels bilden

- die weiße, derbe bindegewebige *Lederhaut (Sklera)*, die zusammen mit der transparenten *Hornhaut (Cornea)* die Hülle des Auges bildet. Die Hornhaut ist im vorderen Abschnitt in die Sklera eingelassen und ist etwas stärker gekrümmt als die Lederhaut. Der Übergang von Sklera zu Cornea wird als *Limbus corneae* bezeichnet. Von hier aus regenerieren sich die Zellen des Hornhautepithels.
- die *Aderhaut (Choroidea)*, die gemeinsam mit der Regenbogenhaut (Iris) und dem Ziliarkörper (Corpus ciliare) die Gefäßhaut (Uvea) bildet.
- die *Netzhaut (Retina)*, die aus einem sensorischen Teil und dem retinalen Pigmentepithel besteht [1].



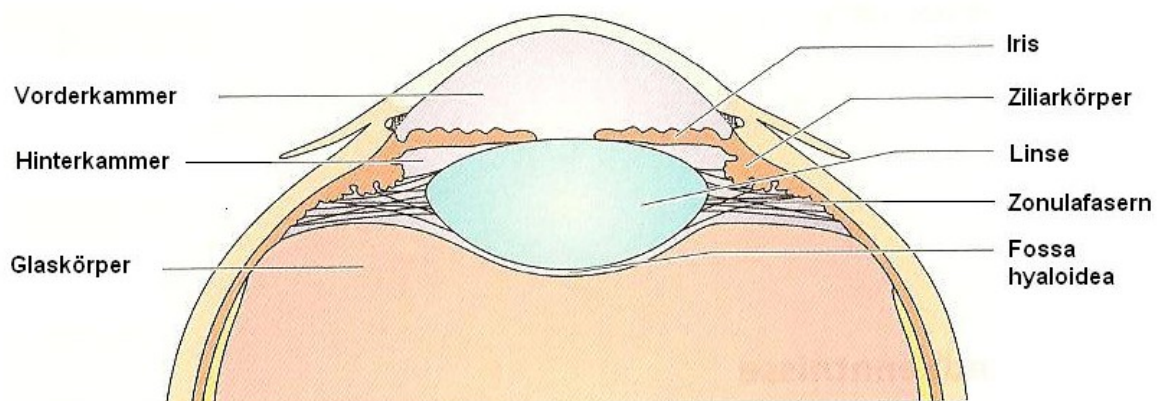
**Abb. 1.:** Anatomie des Auges [1]

### 1.1.2 Linse

Die Linse (Lens cristallina) ist ein wesentlicher Teil des optischen Apparates des Auges, der einfallende Lichtstrahlen auf die Netzhaut fokussiert. Sie fügt den variablen Anteil der Gesamtbrechkraft des Auges zum fixen Brechkraftanteil der Hornhaut hinzu [2].

Die ausgebildete Linse ist ein glasklarer, bikonvexer Körper, dessen Hinterfläche stärker gekrümmt ist. Ihr Durchmesser beträgt beim Erwachsenen ca. 10-12 mm, beim Kind ca. 7 mm. Sie ist abhängig von der Akkommodation, ca. 4 mm dick. Ihr Gewicht nimmt altersabhängig etwa um das 5fache zu und beträgt beim Erwachsenen ca. 300 mg [3].

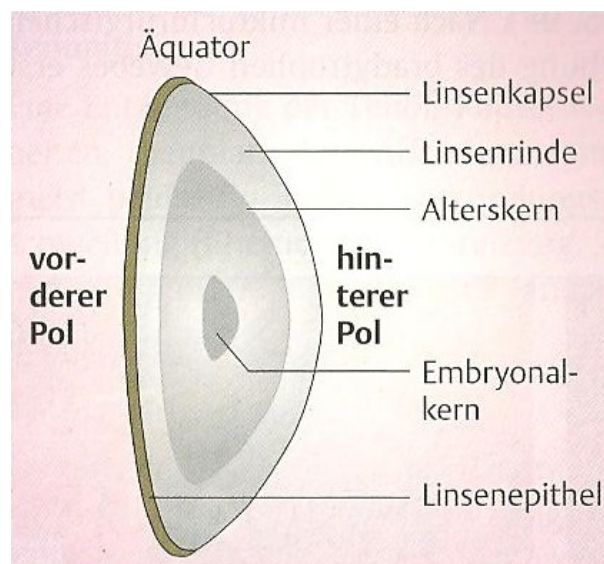
Sie liegt in der tellerförmigen Grube des Glaskörpers (Fossa hyaloidea) in der hinteren Augenkammer zwischen Irisrückfläche und Glaskörper. Sie trennt, als ein Bestandteil des Iris-Linsen-Diaphragmas, das vordere vom hinteren Augensegment [2]. Die Linse ist mit ihrem Aufhängeband, der Zonula Zinni (Zonulafasern), am Ziliarkörper befestigt. Die Zonulafasern kommen von der vorderen und hinteren Linsenkapsel und strahlen in Buchten der Pars plicata des Ziliarkörpers ein [1]. Durch diesen Aufhängemechanismus wird die Linse stabil in ihrer Position gehalten und durch den Zug der Zonulafasern wird eine Akkommodation erst ermöglicht.



**Abb. 2:** Die bikonvexe Linse, die an den Zonulafasern aufgehängt ist, liegt in der Fossa hyaloidea [2].

Die Linse besteht aus Kapsel, Rinde und Kern. Sie ist ein rein epitheliales Organ ohne Nerven und Gefäße. Das einschichtige Linsenepithel liegt unter der festen, elastischen vorderen Linsenkapsel am Linsenäquator, wo es lebenslang sekundäre Linsenfasern bildet [3]. Während die allgemeine Wachstumsrichtung epithelialer Gebilde zentrifugal ist, indem gebildete Epithelzellen zur Oberfläche wandern und abgeschilfert werden, wächst die Linse in umgekehrter Richtung. Die jüngsten Zellen befinden sich stets an der Oberfläche, die ältesten Zellen in der Linsenmitte. Das Wachstum der primären Linsenfasern bildet den Embryonalkern [2] und die der sekundären die Linsenrinde.

Da es bei der Linse keine Zellabsorption wie in anderen epithelialen Organen gibt, vergrößert sich die Linse lebenslang ständig, wenn auch sehr langsam. Durch Wasserabgabe, Verdichtung und Zunahme des spezifischen Gewichtes entsteht allmählich ein sich vergrößernder, verhärtender, im Alter oft gelblich oder bräunlich gefärbter Linsenkern. Im Laufe des Lebens nimmt somit der Anteil der Rinde zunehmend ab, währenddessen der Kern wächst (Linsensklerose) [3]. Dabei verliert sie an Elastizität und Flexibilität: in der Jugend kann die Linse fast eine Kugelform annehmen, im Alter ist ihre Form nahezu starr (Presbyopie, Alterssichtigkeit) [3].



**Abb. 3:** Aufbau der Linse [3]

### 1.1.3 Retina

Die Netzhaut enthält die Sinneszellen und Neurone, die den Lichtreiz aufnehmen, weiterverarbeiten und die Sehinformation an die Sehzentren des Gehirns übermitteln.

Histologisch besteht die Retina aus 3 hintereinander geschalteten Neuronen, den Rezeptoren, den Bipolar- und den Ganglienzellen.

Es gibt 2 unterschiedliche Arten von Rezeptoren: *Stäbchen* und *Zapfen*. Die Stäbchen sind für das mesopische (= Dämmerungssehen) und skotopische Sehen (= Nachtsehen) zuständig. Die Zapfen hingegen für das photopische (= Tagessehen) und Farbsehen. Es gibt 3 verschiedenen Zapfentypen: Blau-, Grün- und Rot-Zapfen.

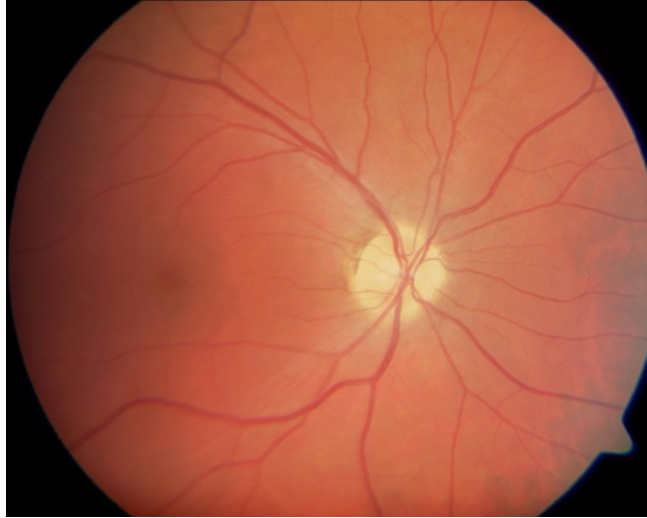
Das einfallende Licht muss erst alle Netzhautschichten durchdringen, bis es auf die äußerste Schicht, den Rezeptoren (1. Neuron) trifft. Diese geben das Signal nach innen an die Bipolarzellen (2. Neuron), welche wiederum das Signal an die innen gelegenen Ganglienzellen (3. Neuron) weitergeben. Die Axone von allen Ganglienzellen vereinigen sich in der Papille.

Den Rezeptoren nach außen anliegend, befindet sich das retinale Pigmentepithel (RPE), das die abgestoßenen Scheiben der Rezeptoren abbaut und das einfallende Licht nach hinten absorbiert. Dahinter liegt die Bruch-Membran, die das RPE von der Aderhaut (= Choroidea) trennt.

Die Netzhaut wird durch 2 völlig voneinander getrennten Blutgefäßsystemen versorgt. Für die innere Netzhautschicht ist die aus der A. ophtalmica abgehende A. centralis retinae zuständig. Die äußere Netzhautschicht ist kapillarfrei und wird durch Diffusion aus der Lamina choriocapillaris der Aderhaut ernährt.

Die Macula lutea (= gelber Fleck) liegt im Bereich der Netzhautmitte. Dem gelben Pigment, wodurch es im rotfreien Licht eine gelbe Farbe erhält, verdankt es seinen Namen. Die gefäßfreie und eingesunkene Fovea centralis liegt im Zentrum der Makula. Auf dem Boden dieser Grube (Foveola) befinden sich sehr dicht gepackte Zapfen, aber keine Stäbchen. Da die 2. und 3. Neuronen auf die Seite gedrängt

werden, fällt hier das Licht direkt auf die Rezeptoren. Durch diese besonderen Merkmale ist dies der Punkt des schärfsten Sehens [1,2].



**Abb. 4:** Augenhintergrund mit normaler Makula [82]

## 1.2 Optische Apparat

### 1.2.1 Allgemeines

Gemeinsam mit der Hornhaut ist die Linse für die Brechung der eintreffenden Lichtstrahlen verantwortlich. Als Refraktion versteht man das Verhältnis zwischen der Achsenlänge des Bulbus und der Brechkraft seiner brechenden Medien.

Parallel einfallende Lichtstrahlen, die theoretisch von einem Körper aus unendlicher Entfernung (Entfernung > 5m) kommen, werden so gebrochen, dass sie scharf auf der Netzhaut abgebildet werden. Liegt der Gegenstand näher am Auge, so treffen konvergierende Strahlen auf die Hornhaut. Damit diese fokussiert auf die Netzhaut auftreffen können, muss das Auge seine Brechkraft steigern, indem sich die Linse auf die Nähe einstellt. Diesen Mechanismus nennt man Akkommodation [1,3].

Die Brechkraft wird in Dioptrien (dpt) angegeben. Sie entspricht dem reziproken Wert der Brennweite (f) einer Linse:

$$\text{dpt} = 1 / f$$

Bei einer Brechkraft von 1 dpt vereinigt sich der Brennpunkt der parallel einfallenden Lichtstrahlen 1 m hinter der Linse. Bei 2 dpt wäre der Brennpunkt 50 cm und bei 10 dpt 10 cm hinter der Linse.

Die Brechkraft der Hornhaut beträgt 43 dpt und die der Linse ca. 20 dpt (variiert durch Akkommodation). Das ergibt eine Gesamtbrechkraft des Auges von ca. 63 dpt bei einer normalen Achsenlänge von 24 mm [3].

Bei einem ausgeglichen Verhältnis zwischen der Achsenlänge des Auges und seiner Brechkraft spricht man von Emmetropie (= Rechtsichtigkeit). Dabei werden, wie schon oben beschrieben, parallel einfallende Lichtstrahlen, ohne Akkommodation der Linse, scharf auf der Netzhaut abgebildet. Geht im Alter das Naheinstellungsvermögen (= Akkommodation) verloren, so spricht man von Presbyopie (= Alterssichtigkeit). Dadurch wird das Sehen in der Nähe erschwert.

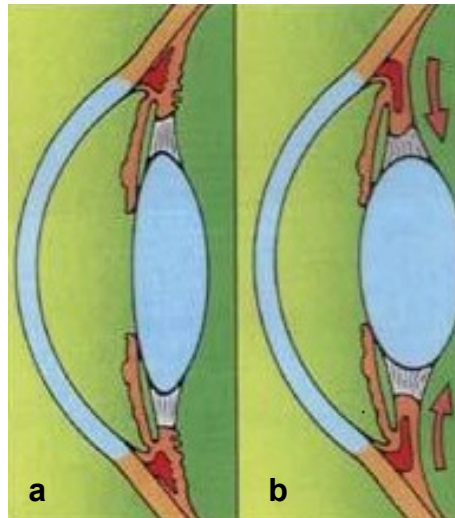
Von einer Ametropie (= Fehlsichtigkeit) spricht man bei einem Missverhältnis von Achsenlänge und Brechkraft des Auges. Dabei vereinigen sich parallel einfallende Lichtstrahlen entweder vor der Netzhaut (Myopie = Kurzsichtigkeit) oder dahinter (Hyperopie = Weitsichtigkeit) [3].

### **1.2.2 Akkommodationsbreite**

Die Akkommodationsbreite gibt die durch Akkommodation maximal mögliche Brechkraftzunahme in Dioptrien an. Sie ist die Differenz von der Brechkraft im Nahpunkt und von der Brechkraft im Fernpunkt. Der Nahpunkt ist die kürzeste Entfernung, die gerade noch scharfes Sehen ermöglicht. Unter dem Fernpunkt versteht man jenen am weitesten entfernten Punkt, der noch scharf gesehen wird [2].

### **1.2.3 Akkommodationsmechanismus**

Für die Naheinstellung sind Linse, Zonulafasern und Ziliarmuskel verantwortlich. Die Linse ist über die Zonulafasern mit dem zirkulär angeordneten Ziliarmuskel verbunden. Durch die Kontraktion des Ziliarmuskels kommt es zur Erschlaffung der Zonulafasern. Durch die Eigenelastizität der Linsenkapsel kommt es zu einer stärkeren Krümmung der Linsenoberfläche mit größerer Brechkraft. Beim Entspannen der Ziliarmuskel kommt es zur Anspannung der Zonulafasern. Dadurch wird die Linse abgeflacht und die Brechkraft verringert.



**Abb. 5:**

**a** Ferneinstellung: Anspannung der Zonulafasern bei Erschlaffung des Ziliarmuskels mit Abflachung der Linse [83]

**b** Naheinstellung: Kontraktion des Ziliarmuskels mit Entspannung der Zonulafasern und Krümmung der Linse durch Eigenelastizität [83]

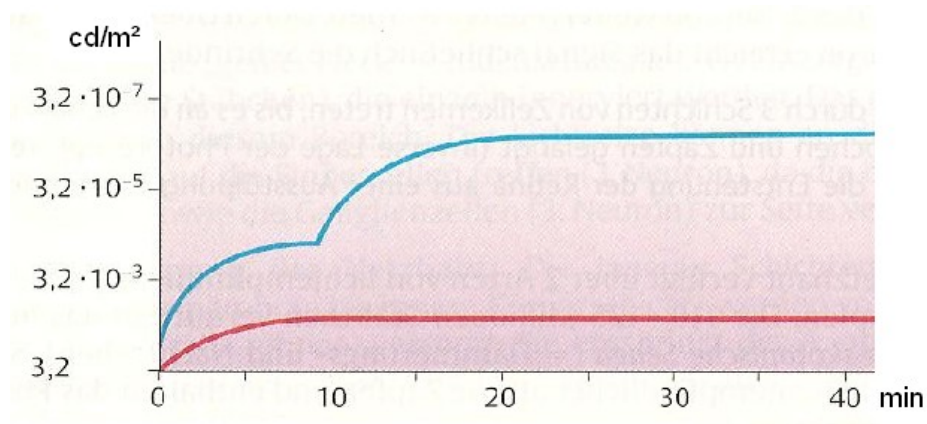
#### 1.2.4 Hell – und Dunkeladaption

Unter Adaption versteht man die Anpassung des Lichtsinnes des Auges an verschiedene Helligkeitsstufen durch Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Pupillenweite, Wechsel von Zapfen- auf Stäbchensehen und Veränderungen der Rezeptorempfindlichkeit. Dadurch ist das Sehen am Tag und in der Nacht möglich [2,3].

Bei der **Helladaption** kommt es zum Ausbleichen des Sehpigments Rhodopsin der Stäbchen. Chemisch betrachtet zerfällt das Rhodopsin in 11-trans-Retinal und Opsin. Dadurch fallen die Stäbchen zugunsten der Zapfen vorübergehend aus. Dieser Prozess spielt sich in nur wenigen Minuten ab [3].

Bei der **Dunkeladaption** kommt es zu einer Steigerung der Lichtempfindlichkeit der Netzhaut. Nach den ersten 5 Minuten der *Sofort- oder Zapfenadaption* durch Regeneration des durch Belichtung zerfallenen Sehpigments wird die

Adaptionskurve zunächst flacher, zeigt dann einen Knick, da nun die Stäbchen nicht mehr gehemmt sind und für die weitere Dunkeladaptation durch Rhodopsin Regeneration sorgen (*Dauer- oder Stäbchenadaptation*). Nach nahezu 30 min hat die Dunkeladaptation ihr Maximum erreicht. Diese Zeit hängt von der Ausgangskonzentration des Rhodopsins ab. Wenn man zuvor länger extrem hellem Licht ausgesetzt war, kann die Zeit bis zum Maximum der Dunkeladaptation bis zu 2 Stunden betragen [1].



**Abb. 6:** Abszisse: Adaptionsgeschwindigkeit in min; Ordinate: Leuchtdichte der jeweiligen Testmarke in candela / m². Die blaue Linie zeigt den normalen Kurvenverlauf mit dem typischen Knick nach 5 min, weil dann die Zapfenadaptation zu Ende ist. Die weitere Adaption erfolgt durch Stäbchen. Die rote flachere Linie zeigt die Adaptionskurve bei Retinopathia pigmentosa [2].

Da wir bei kompletter Dunkeladaptation nur mit den Stäbchen sehen, sind wir im Dunkeln farbenblind. Die Makula, der Punkt des schärfsten Sehens, kann keine Lichtreize verarbeiten, da die Zapfen vorübergehend deaktiviert sind. Aus diesem Grund besteht bei starker Dunkelheit ein physiologisches Zentralskotom. Möchte man einen Gegenstand im Dunkeln genau betrachten, so verschwindet er. Sieht man daran vorbei, dann taucht er wieder auf [1].

In der Dämmerung verschiebt sich das Helligkeitsmaximum von Gelb (560 nm) nach Gelb – Grün (510 nm) → *Purkinje – Phänomen*. Durch die kürzere Brennweite des kurzwelligen Lichtes wird das Auge zusätzlich leicht myop [1].

Der Adaptionszustand kann durch *Blendung* gestört werden. Die Netzhaut, die auf geringere Leuchtdichte eingestellt ist, kann durch kurzfristige erhöhte Lichtexposition eine vorübergehende Visusverminderung erleiden. Dieses Phänomen bemerkt man unter anderem beim Autofahren in der Nacht. Die Blendung eines entgegenkommenden Autos kann zu einer vorübergehend starken Visusverminderung führen. Häufig führt die Blendung zu einem reflektorischen Lidschluss oder Zukneifen der Augen [1,2,3].

### **1.2.5 Aberration**

Generell haben Linsen (Brillengläser, Augenlinsen, usw.) keine perfekten Eigenschaften. Sie weisen eine Reihe von optischen Mängeln (=Abberationen, Abbildungsfehler) auf. Diese sind nicht durch Materialfehler sondern durch physikalische Gesetze bedingt [2,3]. Zu den wichtigsten Abberationen zählen chromatische Aberration, sphärische Aberration, astigmatische Aberration und Koma.

Diese optischen Fehler des Auges wurden bereits im 19. Jahrhundert von Zernike durch die Zernike – Polynome beschrieben. Dabei unterscheidet man optische Fehler niedriger Ordnung (LOA = lower order aberration) und höherer Ordnung (HOA = higher order aberration).

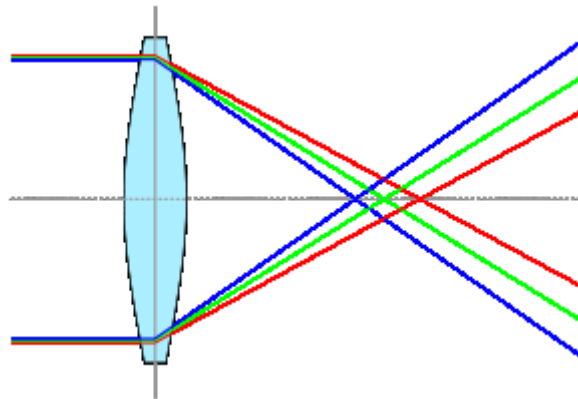
Zu den Fehlern niedriger Ordnung zählt man die Zernike Polynome 0 bis 2 (Z0 – Z2). Dazu gehören die Sphäre und der Zylinder, die durch Brillengläser und Kontaktlinsen korrigiert werden können.

Ab Zernike Polynom 3 spricht man von optischen Fehlern höherer Ordnung. Dazu gehören unter anderem die sphärische Aberration, astigmatische Aberration und Koma. Diese Fehler äußern sich durch geringe Kontrastschärfe und Blendempfindlichkeit. Bei einem gesunden Auge machen sie nur einen geringen Teil der gesamten optischen Fehler aus und können im Gegensatz zu den LOA kaum durch Brillen korrigiert werden [51].

### Chromatische Aberration

Darunter versteht man die Abhängigkeit der Brechkraft von der Wellenlänge des Lichtes. Weißes Licht besteht aus einer Mischung von unterschiedlichen Wellenlängen. Durch die Linse wird kurzwelliges blaues Licht stärker gebrochen als langwelliges rotes Licht. Im Gegensatz dazu ergibt monochromatisches Licht, das nur aus einer Wellenlänge besteht, eine bessere Abbildung auf der Netzhaut als weißes Licht [2].

Die chromatische Abberation wird mit Hilfe der Farbrezeptoren der Retina und auch der nachgeschalteten neuronalen Bildverarbeitung des Gehirns zur verbesserten Schärfentiefe benutzt. Dadurch entsteht durch die chromatische Aberration keine signifikante Verschlechterung der Sehschärfe.



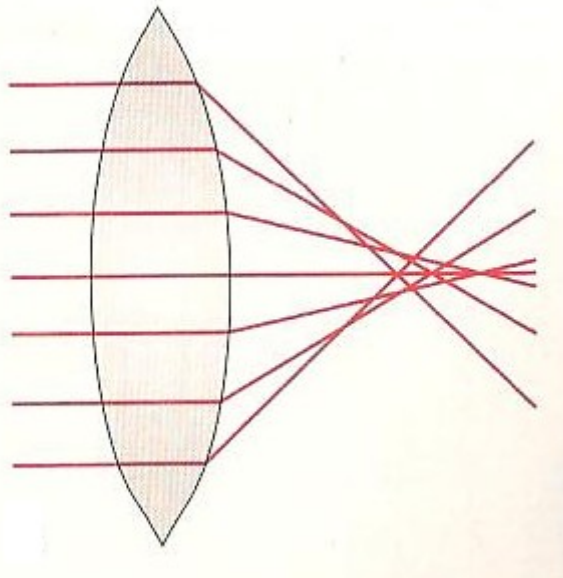
**Abb. 7:** Bei der chromatischen Aberration hängt die Brechkraft von der Wellenlänge des Lichtes ab. Kurzwelliges blaues Licht wird stärker gebrochen als langwelliges rotes Licht [52].

### Sphärische Aberration

Unter sphärischer Abberation versteht man die Abhängigkeit der Brechkraft vom Ort des Auftreffens des Lichtstrahls auf die Linse [2].

Lichtstrahlen, die am Rand einer Linse auftreffen, werden stärker gebrochen als Strahlen die zentral auftreffen. Dadurch entsteht statt einer punktuellen Abbildung eine Brennfläche auf der Netzhaut. Durch die Iris können aber alle peripher einfallenden Lichtstrahlen ausgeblendet werden, wodurch sich die Tiefenschärfe verbessert. Daher folgt bei Pupillenerweiterung immer eine Sehverschlechterung [3].

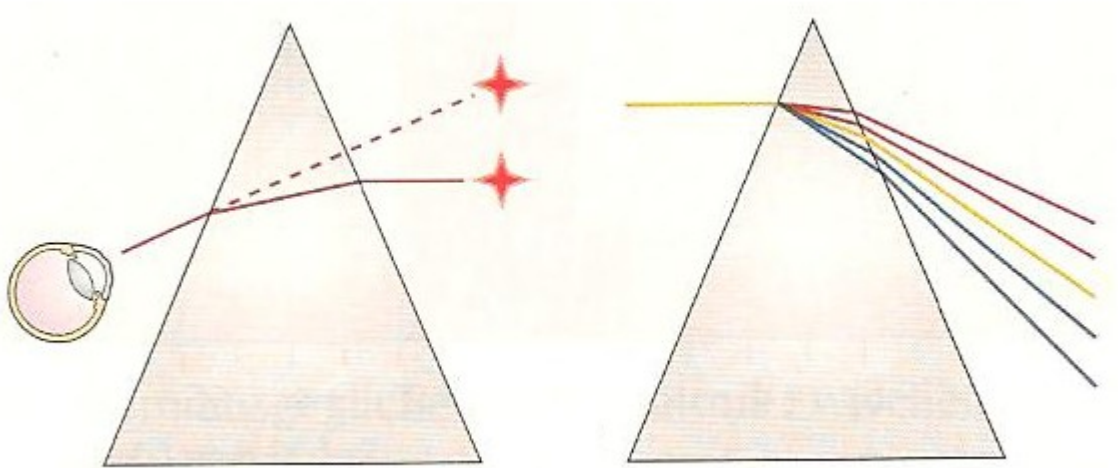
Durch die Messung der Wellenfrontaberration konnte festgestellt werden, dass die sphärische Abberation einer jungen kristallinen Linse negativ ist. Dadurch kann die positive sphärische Hornhautaberration teilweise kompensiert werden. Im Alter verliert die Linse diese Eigenschaft und es kommt zu einer Sehverschlechterung [57,58,59].



**Abb. 8:** Durch die sphärische Aberration werden Lichtstrahlen die am Rand der Linse auftreffen stärker gebrochen als jene die zentrale auftreffen [3].

### **Astigmatische Aberration**

Bei einem schrägen Blick durch eine sphärische Linse kommt die prismatische Eigenschaft der Linse zu tragen, wodurch ein punktförmiges Objekt strichförmig abgebildet wird. Prismen brechen einfallendes Licht zweimal zur Basis hin. Dadurch erscheint ein Objekt zur Prismenbasis hinverlagert. Durch Prismen kommt es auch hier zu einer spektralen Zerlegung des weißen Lichtes: kurzwelliges blaues Licht wird stärker als langwelliges rotes Licht gebrochen [2,3].

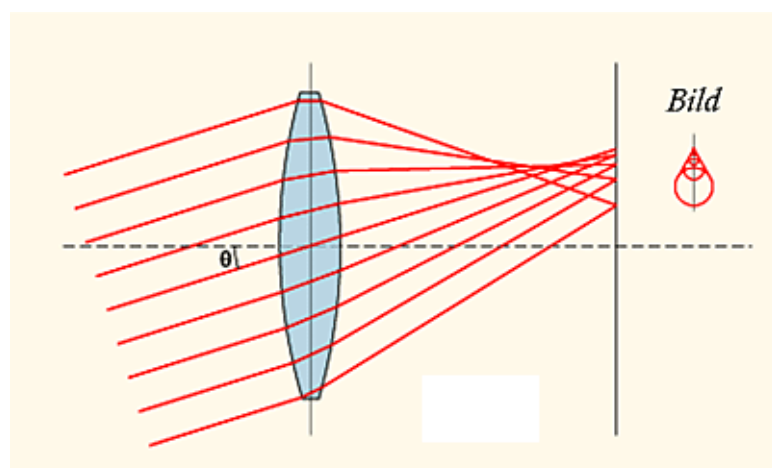


**Abb. 9:** Ein Prisma bricht einen Lichtstrahl zweimal zur Basis hin, wodurch ein Objekt zur Basis hinverlagert erscheint. Weißes Licht wird durch ein Prisma ihren Wellenlängen entsprechend in Spektralfarben zerlegt [3].

### Koma

Lichtstrahlen die schräg von der optischen Achse der Linse eintreffen, werden asymmetrisch abseits dieser Achse gebündelt. Dadurch entsteht ein Bildpunkt mit einem zum Rand der Linse gerichteten Schweif (→ Schweif - Fehler) [53].

Dieses Phänomen kommt bei der Dezentralisation oder Verkippung der Intraokularlinsen zu tragen [53,54].



**Abb. 10:** Die schräg einfallenden Lichtstrahlen werden asymmetrisch abseits der Achse gebündelt, wodurch ein Bildpunkt wie ein Schweif gesehen wird [52].

## **1.2.6 Wellenfrontanalyse**

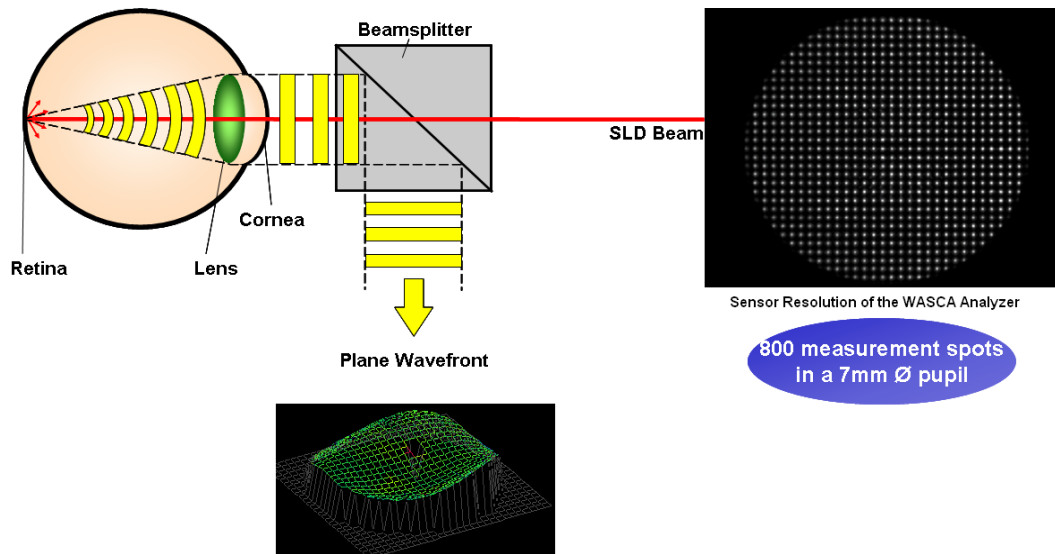
Mit Hilfe der Wellenfrontanalyse ist es möglich Aberrationen niedriger und höherer Ordnung zu messen. Einer der wichtigsten Parameter dafür ist die sphärische Aberration. Durch diese neuartige Untersuchungsmethode konnte die refraktive Laserbehandlung und das Design der Intraokularlinsen optimiert werden.

Unter einer Wellenfront versteht man den Bereich einer Welle, die von einer Lichtquelle ausgeht, die die gleiche Phase besitzt. Diese Wellen lassen sich mittels perfekten Optiken zu ebenen bzw. aus diesen wieder zusammenlaufenden kugelförmigen Wellenfronten bilden.

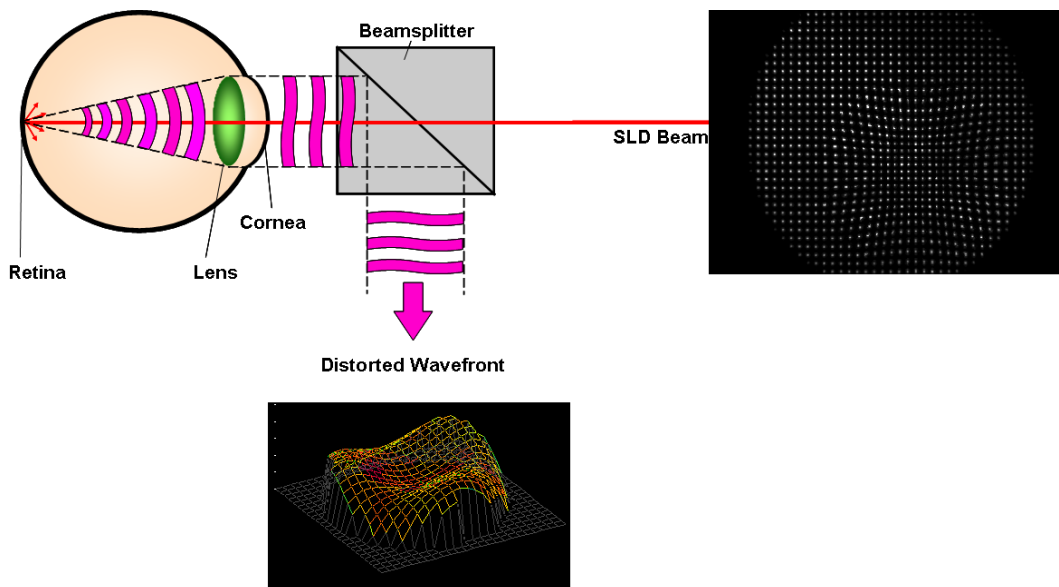
Jede Abweichung von solch einer Wellenfront wird als Wellenfront – Aberration bezeichnet.

Bei der Wellenfrontanalyse wird durch Beleuchtung des Auges ein Lichtpunkt auf der Netzhaut projiziert. Dieser Lichtpunkt dient als neue Lichtquelle, dessen Wellen aus dem Auge austreten. Bei einem idealen emmetropen Auge wäre die austretende Wellenfront eben. Bei einem realen Auge hingegen wird die Wellenfront in Abhängigkeit von den individuellen Aberrationen verformt. Diese Wellenfrontaberration kann mit dem Hartmann – Shack Aberrometer gemessen werden.

Der Hartmann – Shack – Sensor besteht aus einem zweidimensionalen Linsenarray und einem optischen 2D – Detektor. Jede einzelne Linse des Linsenarrays erzeugt ein Bild, das entsprechend der Neigung der Wellenfront gegenüber der Referenzposition verschoben ist. Diese können mit Hilfe einer Kamera erfasst werden. Diese Ergebnisse lassen sich als Zernike – Polynome auch graphisch darstellen. Dadurch können Aberrationen niedriger und höherer Ordnung des Auges bildlich dargestellt werden [55,56].



**Abb. 11:** 2D und 3D Darstellung einer Wellenfrontanalyse bei einem emmetropen Auge. Die Wellenfront die von der Netzhaut zurückgeworfen wird ist eben mit einem regelmäßigen Muster von Lichtpunkten [82].



**Abb. 12:** Bei einem Auge mit Aberrationen kommt es zu einer Verzerrung der Wellenfront. Diese Aberration kann man anhand des verzerrten Lichtmusters bestimmen [82].

## **1.3 Die Katarakt (= grauer Star)**

Unter einer Katarakt versteht man eine Linsentrübung, die zur Sehverschlechterung und sogar bis zur totalen Erblindung führen kann.

Das Wort *der Katarakt* stammt aus dem Griechischen und bedeutet „Wasserfall“. Man nahm an, dass es sich um eine Flüssigkeit handelt, die vor der Linse herabfließt. Das Wort wurde für die Medizin in die weibliche Form, *die Katarakt*, latinisiert.

Wegen dem starren Blick nach Erblindung wird im deutschen Sprachgebrauch auch das Wort *grauer Star* verwendet.

### **1.3.1 Symptome**

Obwohl es unterschiedliche Formen der Katarakt gibt, ist die Symptomatik aller ähnlich [1].

#### **Verminderte Sehschärfe**

Durch die Katarakt wird die Sehschärfe vermindert. Wenn die Sehschärfe um mehr als die Hälfte herabgesetzt wird, reicht die Sehkraft für viele alltägliche Tätigkeiten, wie z. B. Autofahren, nicht mehr aus.

#### **Blendung**

Durch die Linsentrübung entsteht eine diffuse Brechung des Lichts, welche zu einer Blendung des Patienten führt.

#### **Vermindertes Sehvermögen bei geringem Kontrast**

Das Sehen bei geringem Kontrast ist vermindert, als ziehe sich ein Grauschleier vor das Auge.

### **Farbenwahrnehmung**

Die Katarakt bewirkt oft eine Schwächung des Farbsehens. Durch die Trübung der Linse wird insbesondere das blaue Licht stärker gefiltert.

Nach einer Kataraktoperation empfinden die Patienten die Farben oftmals greller und bläulicher als sie eigentlich sind (→ *Zyanopsie*). Das kommt daher, dass sich der langsam entwickelte Farbsehverlust plötzlich wieder verbessert hat.

### **Sehstörungen beim Lesen**

Das Auge stellt sich auf die Nähe durch eine Miosis (= Pupillenverkleinerung) ein. Dadurch sieht der Patient nur durch den zentralen, meist trüberen, Teil der Linse. Umgekehrt kommt es im Dunklen zu einer Mydriasis (= Pupillenerweiterung). Durch diese Erweiterung ist es dem Patienten oft möglich an der Trübung vorbeizuschauen.

### **Monokulare Diplopie**

Durch die Trübung der Linse können unterschiedliche Brechindices entstehen. Das führt zu zwei unterschiedliche Brennpunkten, das sich in einem Doppelbilder sehen bemerkbar macht.

## **1.3.2 Einteilung der Katarakt**

Die Katarakt kann man nach Grehn [1] unter verschiedenen Aspekten einteilen

- nach der *Ätiologie*
  - Grauer Altersstar (Cataracta senilis)
  - Bei Allgemeinerkrankungen (z. B. Cataracta diabetica)
  - Katarakt bei Augenerkrankungen (Cataracta complicata)
  - Katarakt nach intraokularen Eingriffen
  - Katarakt durch Verletzungen (Cataracta traumatica)
  - Physikalisch bedingter Katarakt (z. B. durch Bestrahlung)
  - Katarakt durch Medikamente und Vergiftungen
  - angeborene Katarakt (kongenitale Katarakt)

- nach der *Lokalisation* der Trübung
  - Rindenstar (Cataracta corticalis)
  - hintere Schalen­trübung (Cataracta subcapsularis posterior)
  - Kernstar (Cataracta nuclearis)
- nach dem *Reifegrad* der Trübung
  - Cataracta incipiens (beginnende Katarakt)
  - Cataracta progrediens (fortschreitende Katarakt)
  - Cataracta praematura (frühreife Katarakt)
  - Cataracta matura (reife Katarakt)
  - Cataracta hypermatura (überreife Katarakt)

### 1.3.3 Grauer Altersstar (Cataracta senilis)

Der Altersstar ist mit 90% aller Katarakte die häufigste Kataraktform. Weltweit erblinden ca. 20 Millionen Menschen durch diese Krankheit. Allein in USA und Europa werden jährlich 6000 - 7000 Kataraktoperationen pro Million Einwohner durchgeführt. Dadurch ist es die häufigste durchgeführte Operation weltweit.

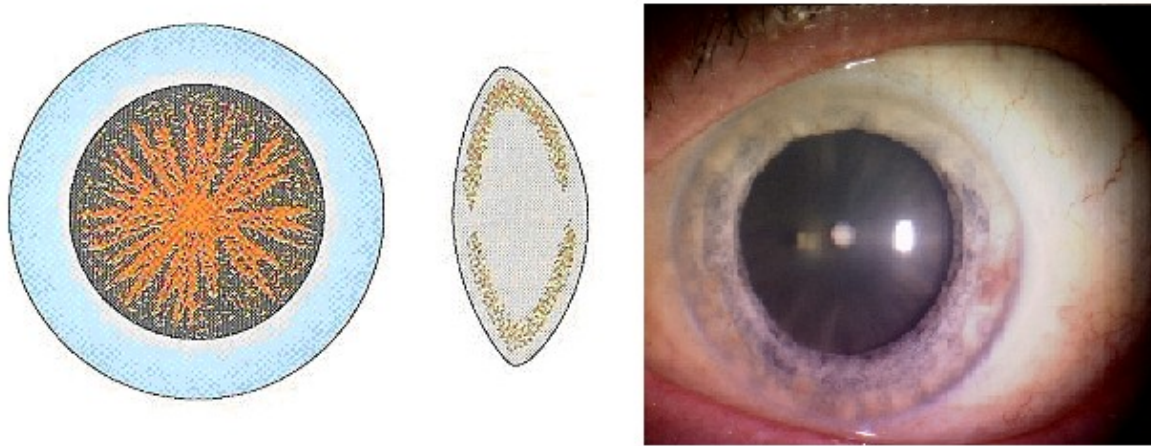
Heute leiden ca. 5% aller 70-jährigen und 10% aller 80-jährigen an einer operationswürdigen Katarakt und die Inzidenz nimmt durch die höhere Lebenserwartung kontinuierlich zu.

Die Entstehung des grauen Altersstar ist noch nicht ganz geklärt. Es handelt sich dabei um ein multifaktorielles Geschehen. Eine genetische Disposition (Familienanamnese) ist möglich [1,2,3].

Nach der Lokalisation unterscheidet man einen Rindenstar (Cataracta corticalis), eine hintere Schalen­trübung (Cataracta subcapsularis posterior) und einen Kernstar (Cataracta nuclearis).

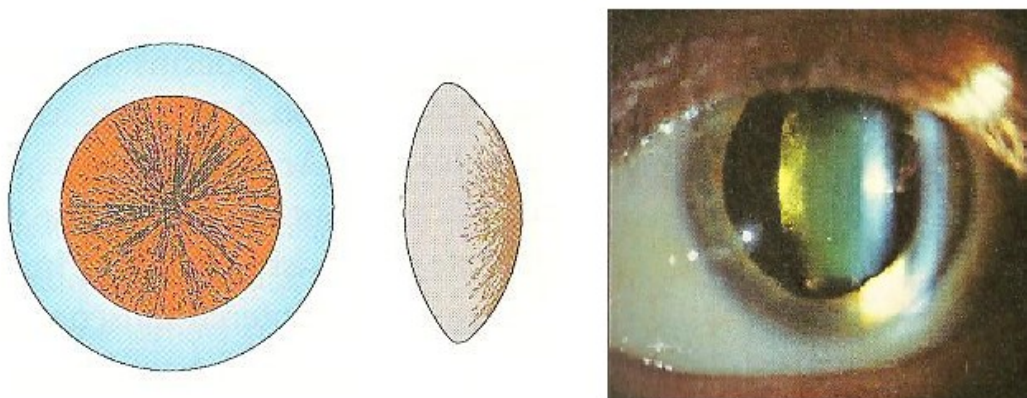
Beim Rindenstar entstehen durch den erhöhten Wassergehalt in der Rinde Spalten und Vakuolen zwischen den Linsenfasern. Nachfolgend kommt es zu typischen grauweißen, radialen, speichenartigen Trübungen.

Bei langsam fortschreitender Progredienz kann es, wenn das Licht durch eine klare Stelle zwischen zwei Speichentrübungen fällt, zu einer verbesserten Sehschärfe kommen [1,2,3,4].



**Abb. 13:** Rindenstar: schematische Darstellung (von vorne und im Querschnitt) und in vivo [1,82]

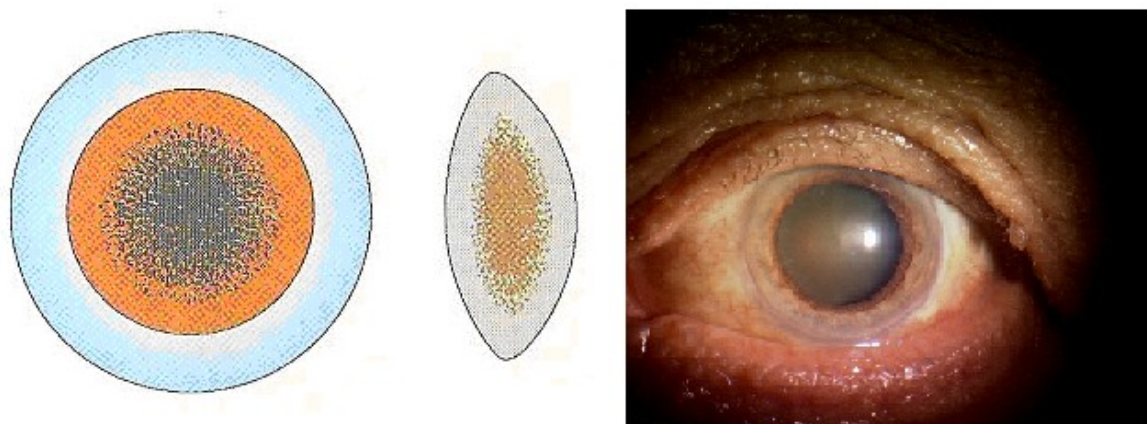
Bei der hinteren Schalen trübung ist die Trübung unter der Linsen kapsel des hinteren Pols lokalisiert. Im Gegensatz zum Rindenstar schreitet diese Katarakt rasch voran. Es kommt dabei zu rascher Sehverschlechterung in der Nähe, insbesondere beim Lesen. Durch die Miosis wird nur ein Sehen durch das stärker getrübe Zentrum möglich. In der Dunkelheit kann sich das Sehen durch Erweiterung der Pupille verbessern [1,2,3].



**Abb. 14:** Hintere Schalen trübung: schematische Darstellung (von vorne und im Querschnitt) und in vivo [1,3]

Beim Kernstar kommt es durch den Druck der peripheren Linsenfaserproduktion zu einer Verhärtung des Linsenkerns. Er nimmt zunächst eine gelblich-bräunliche Farbe (Cataracta nuclearis brunescens) an, die später in einen schwarzen Farbton (Cataracta nigra) übergehen kann.

Durch diese Verhärtung erlangt die Linse einen höheren Brechungsindex mit einer erhöhten Gesamtbrechkraft. Patienten die zuvor presbyop waren, können vorübergehend auf kurze Distanz besser sehen. Dafür verschlechtert sich das Sehen in der Ferne. Ein Kernstar kann auch zu einem doppelten Brennpunkt der Linse mit monokularer Diplopie führen. Der Patient nimmt nun mit dem betroffenen Auge Doppelbilder wahr [1,2,3].

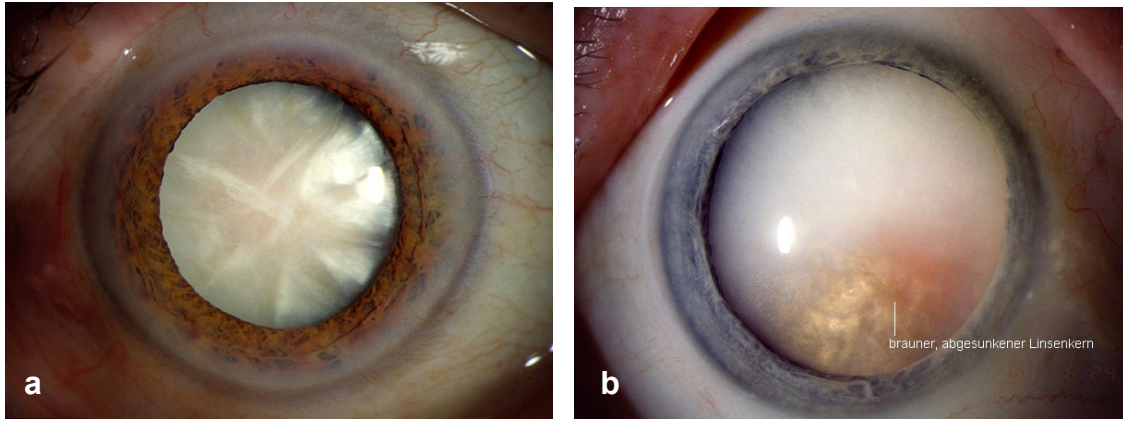


**Abb. 15:** Kernstar: schematische Darstellung (von vorne und im Querschnitt) und in vivo [1,82]

Die Katarakt kann man auch noch durch den Reifegrad der Trübung bestimmen. Dies reicht von einer beginnenden (Cataracta incipiens), über eine reife (Cataracta matura) bis zu einer überreifen Katarakt (Cataracta hypermatura).

Bei der Cataracta matura ist die Linse vollständig eingetrübt, wodurch der Fundus nicht mehr einzusehen ist. Der Kern kann oftmals nur noch schemenhaft zu erkennen sein.

Beim Fortschreiten der reifen Katarakt kommt es durch die Verflüssigung der Rinde zum Absinken des braunen, getrübt Kerns. Der obere dunkelbraune Rand des Linsenkerns ist unter der von ihr umgebenden grauweißen Rinde zu sehen (Cataracta Morgagni) [1,2,3].



**Abb. 16:**

**a** Cataracta matura [82]

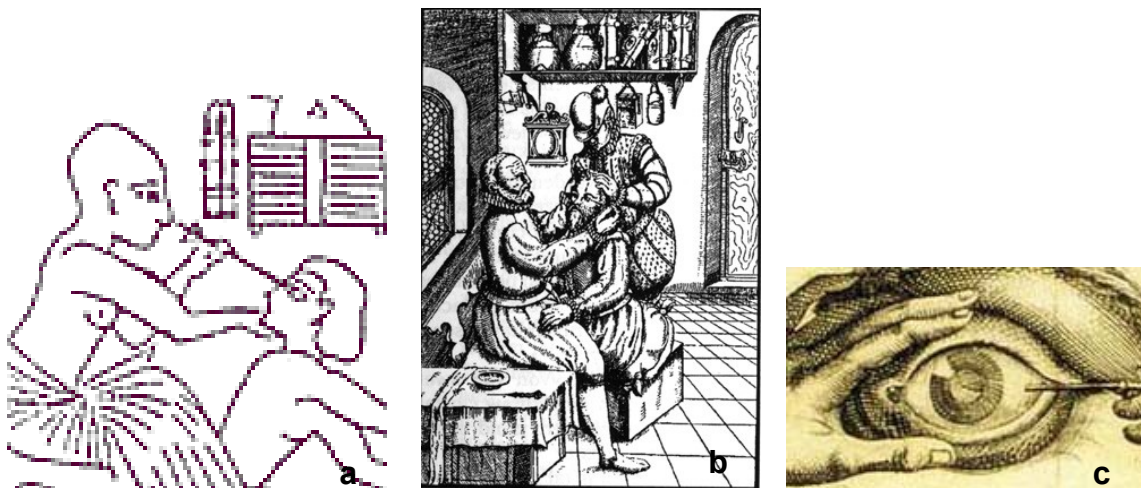
**b** Cataracta morgagni: der braune Kern ist abgesunken, so dass man nur noch den oberen Teil des Kernes sieht [82]

## 1.4 Geschichte der Kataraktoperation

Die Katarakt ist keine Krankheit der Neuzeit, sondern quält die Menschheit schon seit tausenden von Jahren. Deshalb war man schon sehr früh um eine Behandlung dieser Krankheit bemüht.

Schon 500 Jahre vor Christi Geburt führten die persischen Ärzte den so genannten *Starstich* durch. Dabei wird die Linse mitsamt der Kapsel mit einer starren Nadel in den Glaskörperraum luxiert ( $\rightarrow$ *Reklination*). Die Kapsel durfte dabei nicht verletzt werden, da es durch die frei werdenden Linseneiweiße zu schweren Komplikationen (z. B. phakolytische Glaukom, Uveitis) mit Todesfolge kommen konnte. Durch das Fehlen der Linse mit einer Refraktion von 19-21 dpt war das Sehen trotz Operation sehr eingeschränkt [7].

Der Starstich hat sich bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts in einigen Ländern der dritten Welt gehalten, da er mit wenigen Instrumenten durchführbar ist [7].



**Abb. 17:**

- a Bereits 500 vor Christus wurde der Starstich durchgeführt [84]
- b Im Mittelalter wurden die Patienten festgehalten, damit die Operation durchgeführt werden konnte [85]
- c Beim Starstich wird die getrübte Augenlinse mit einer Starstichnadel auf den Boden der Augenhöhle gedrückt [86]

Ein Wegbegründer der modernen Kataraktoperation war der französische Chirurg Jaques Daviel (1696-1762) [5]. Im Jahre 1747 unternahm Daviel bei dem Perückenmacher M. Garion wie gewohnt einen Starstich. Doch die Linse ließ sich nicht in den hinteren Glaskörperraum reklinieren. Deshalb eröffnete er die Cornea und mit Hilfe eines Spatels entfernte er die Linse unter Belassung der Kapsel. Das war die Geburtsstunde der ECCE (Extrakapsuläre Kataraktoperation) [6]. Den Vorteil dieser Methode erkannte man aber erst 200 Jahre später durch den Einsatz von IOL. Durchgesetzt hat sich deshalb die im Jahre 1753 beschriebene Methode der ICCE (Intrakapsuläre Kataraktoperation) von Samuel Sharp [7]. Dabei wird über einen korneoskleralen Einschnitt die Linse samt Kapsel entfernt.

Lange Zeit konnte der Linsenverlust nur durch eine Starbrille kompensiert werden. Mit ihr erreicht man zwar zentral ein meist zufrieden stellendes Sehvermögen, aber der Brillenrand führt zu ringförmigen Gesichtsfeldausfällen. Durch die starke Gläserkrümmung kommt es zu Linienverziehungen und durch die hohe Brechkraft des Brillenglases kommt es zu einer Vergrößerung bis zu 20-30% des betrachteten Objektes. Bei einer einseitigen korrigierten Aphakie und einem sehtüchtigen Partnerauge ist die Fusion der Bildeindrücke beider Augen und Stereoskopie (→Aniseikonie) durch diese Vergrößerung nicht möglich [3]. Erst im Jahre 1949 wurde die erste Kunstlinse durch Sir Harold Ridley eingesetzt. Er entdeckte bei perforierenden Augenverletzungen bei britischen Bomberpiloten aus dem zweiten Weltkrieg, dass das für die Cockpitscheiben verwendete Plexiglas im Augeninneren ohne Probleme vertragen wird. Als Ersatz für die natürliche Linse verwendete er PMMA (→Polymethylmethacrylat = Plexiglas) [7].

Ein Nachteil dieser Linse, war der höhere Brechungsindex (1,496) im Gegensatz zur natürlichen Linse. Dies führte zu einer Kurzsichtigkeit der Patienten von -15 bis -20 Dioptrien. Auch schwere postoperative Komplikationen wie Iridozyklitiden, Sekundärglaukome und Verlagerungen der Linsen in den Glaskörper traten auf [8].

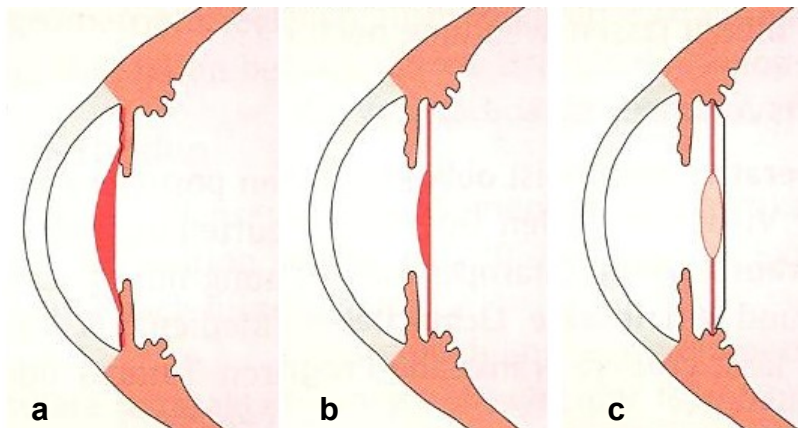


**Abb. 18:** Sir Ridley Scott entdeckte bei britischen Bomberpiloten, dass Plexiglas im Auge gut vertragen wird. Mit diesem Wissen fertigte er die erste IOL [87].

In den darauffolgenden Jahren, wurden die Befestigungsmethoden der IOL verändert und verbessert. Zuerst befestigte man sie im Kammerwinkel der Vorderkammer ( $\rightarrow$ Vorderkammerlinse). Dies führte aber zu Schädigungen des Hornhautendothels.

Im nächsten Schritt wurden die IOL vor und hinter der Iris mittels Stützschnur befestigt. Dadurch wurde die Hornhaut geschont, aber im Gegenzug dazu führte es zu viereckigen, bewegungseingeschränkten Pupillen, wie auch Linsenluxationen in die Vorderkammer [9].

Im Jahre 1965 verwendete man zum ersten Mal die so genannte Kapselmethode. Hierbei wurde die Linse in den Kapselsack der natürlichen Augenlinse eingebracht [8]. Die Idee der heute gebräuchlichen künstlichen Linsen prägte im Jahr 1978 S.P. Shearing. Er befestigte die Linsen zunächst im Sulcus iridociliaris und dann wurden sie ganz im Kapselsack fixiert [9]. Heute gibt es schon flexible Linsen, die zusammengefaltet mit einem Injektor in die Hinterkammer eingebracht werden, wo sie sich von selbst entfalten.



**Abb.19:**

**a** Vorderkammerlinse

**b** im Sulcus ciliaris fixierte Hinterkammerlinse

**c** im Kapselsack fixierte Hinterkammerlinse [3]

Einen weiteren wichtigen Schritt zur modernen Kataraktextraktion verdanken wir Charles David Kelman. Er war der Erfinder der *Phakoemulsifikation* im Jahre 1967. Durch Ultraschall wird die Linse zerkleinert und kann dadurch abgesaugt werden [10]. Dadurch wurden die operativen Einschnitte immer kleiner, so dass sie auch ohne Nähte verheilen konnten [11].

Um die Kataraktoperation noch sicherer und effektiver zu machen, entwickelten H.V. Gimbel und T. Neuhann im Jahr 1985 die *Continuous Circular Capsulorhexis* (CCC). Hierbei wird mit einer Nadel über einen kleinen Einschnitt im korneoskleralen Übergang die Vorderkapsel circular eröffnet. Über diese sehr stabile Öffnung, kann die Linse einfacher und sicherer im Ganzen oder mit Phakoemulsifikation entfernt werden [12].

## 1.5 Therapie

Die *Kataraktoperation* ist der häufigste chirurgische Eingriff im Bereich der Augenheilkunde.

Sie ist zugleich auch die einzige therapeutische Maßnahme um das Sehen bei dieser Krankheit zu verbessern.

### 1.5.1 Indikation

- **Sehverbesserung:** Eine Indikation für die Operation ist gegeben, wenn der Patient in den alltäglichen Tätigkeiten oder bei der Ausübung des Berufes durch die Trübung der Linse eingeschränkt ist.
- **Medizinische Indikation:** Eine Katarakt kann auch die Gesundheit des Auges gefährden z. B. beim phakolytischen Glaukom (→Offenwinkelglaukom) oder phakomorphen Glaukom (→Engwinkelglaukom).

Durch die Kataraktoperation wird auch der Einblick auf den Augenhintergrund durch die zuvor getrübe Linse wieder möglich. Dies ist oft für die Überwachung von Augenhintergrunderkrankungen wie z. B. diabetische Retinopathie und auch für die Therapie mit Laserphotokoagulation nötig [4].

### 1.5.2 Präoperative Untersuchungen

Man muss schon vor der Operation wissen, ob durch einen solchen Eingriff das gewünschte Ergebnis erreicht werden kann. Durch Netzhautveränderungen wie z. B. Makuladegeneration oder fortgeschrittenem Glaukom kann trotz Operation die Sehschärfe nicht erhöht werden.

Wenn während der Operation die eigene Linse durch eine künstliche IOL ausgetauscht wird, muss zuvor die Refraktion dieser berechnet werden. Das geschieht mit Hilfe der *Biometrie* mit einem IOL-Master oder mit einer A-Bild-Echographie. Dabei werden die Achsenlänge des Bulbus und der Oberflächenradius der Hornhaut gemessen. Aus diesen Daten wird die Refraktion der IOL berechnet.

### **1.5.3 Anästhesie**

Die Kataraktoperation kann unter der häufiger gebrauchten Lokalanästhesie oder Vollnarkose durchgeführt werden.

Bei der Lokalanästhesie unterscheidet man zwischen retrobulbärer, peribulbärer, parabulbärer und lokal intrakameraler Anästhesie.

- **Retrobulbäranästhesie:** Eine Injektion eines Anästhetikums in den Retrobulbärraum in die Nähe des Ganglion ciliare, führt zur Schmerzausschaltung und Bewegungsunfähigkeit des Bulbus [3].
- **Peribulbäranästhesie:** Dabei wird mit einer 25-mm-Nadel Anästhetikum durch die Haut oder Bindehaut appliziert [4].
- **Parabulbäranästhesie:** Eine größere Menge Lokalanästhetikum wird neben das Auge (außerhalb der Muskeltrichter) gespritzt, so dass Nerven und Gefäße nicht verletzt werden [1].
- **lokale intrakamerale Anästhesie:** Diese Anästhesieform besteht in einer initialen Oberflächenanästhesie mit Tropfen oder Gel und einer intrakameralen Injektion oder Infusion eines Anästhetikums. Dabei wird aber die Bewegungsfähigkeit des Bulbus nicht eingeschränkt [4].

### **1.5.4 Kataraktoperation**

Ziel der Kataraktoperation ist die Entfernung der getrübten Linse.

Dabei unterscheidet man 3 wichtige Operationstechniken:

- Intrakapsuläre Kataraktextraktion (ICCE)
- Extrakapsuläre Kataraktextraktion (ECCE)
- Phakoemulsifikation (Phako)

#### **ICCE**

Der Einschnitt erfolgt hier am oberen Limbus der Cornea. Durch diese breite korneosklerale Bulbuseröffnung wird die Linse im Ganzen (in der Kapsel = intrakapsulär) mit einer Kältesonde oder einer Pinzette entfernt. Anschließend kann eine irisfixierte Vorderkammerlinse oder eine transskleral fixierte Hinterkammerlinse eingebracht werden. Eine Hinterkammerlinse, die auf übliche Art und Weise verpflanzt wird, kann hier nicht eingesetzt werden, da bei der ICCE auch die hintere Kapsel und die Zonula, die als Verankerungsstruktur dienen, entfernt werden.

Diese Art der Kataraktoperation wird in Europa nur noch in Ausnahmefällen wie subluxierten und luxierten Linsen angewandt [1,3].

#### **ECCE**

In den 80-er Jahren, mit dem vermehrten Einsatz von IOL, fand der Umstieg von der intrakapsulären (ICCE) auf die extrakapsuläre Kataraktextraktion (ECCE) statt. Dabei wird nicht mehr die Linse im gesamten entfernt sondern nur der trübe Kapselinhalt unter Belassung der hinteren Linsenkapsel.

Bei der ECCE wird die vordere Linsenkapsel schlitzförmig eröffnet. Durch diese Öffnung wird die Linse als Ganzes aus dem Auge herausgespült oder durch leichten Druck nach außen exprimiert. Anschließend wird die Linsenrinde abgesaugt und eine Hinterkammerlinse eingesetzt.

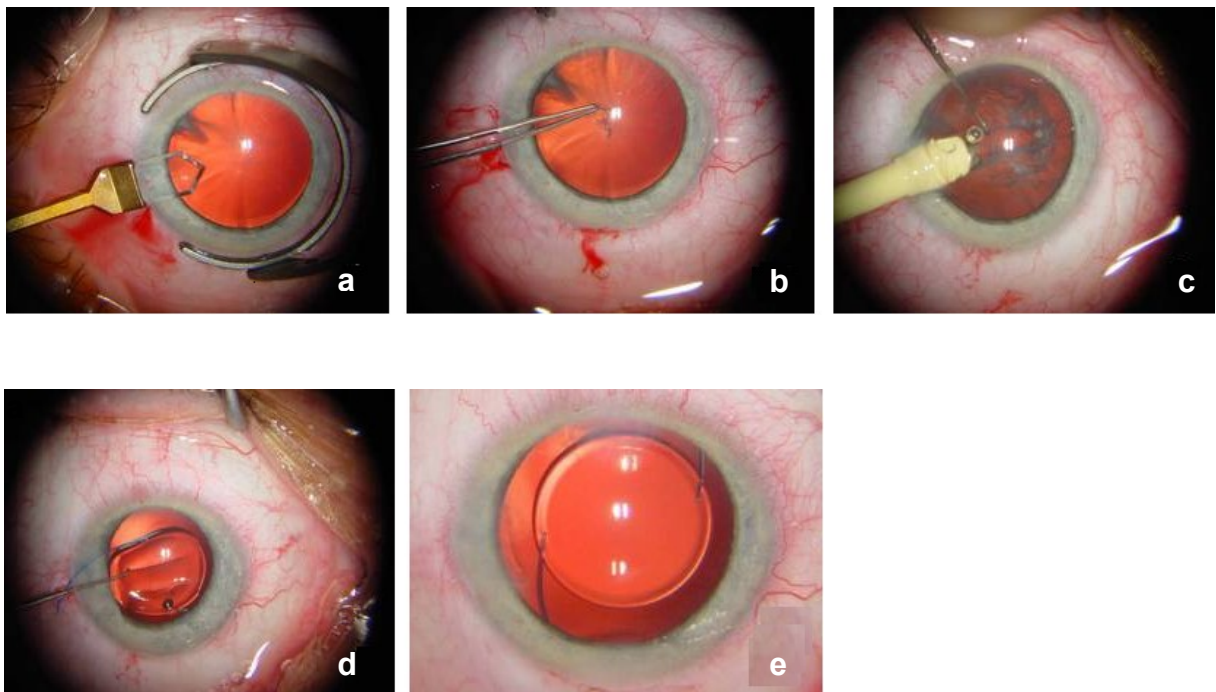
Diese Art der Kataraktextraktion wird heute noch bei sehr harten, völlig getrübten Linsen durchgeführt. Bei solchen harten Linsen wäre bei Phakoemulsifikation sehr viel Ultraschallenergie notwendig, die das empfindliche Hornhautendothel schädigen können [1].

## Phako

Die Phako ist heute die Methode der 1. Wahl bei Kataraktoperationen.

Dabei wird mit einer Kanüle über den korneoskleralen Einschnitt eine kreisrunde Öffnung in die vordere Kapsel der Linse gerissen (→*Kapsulorhexis*). Dadurch kann der Linsenkern mit Hilfe der Phakoemulsifikation durch Ultraschall zerkleinert und abgesaugt werden.

Die übrig gebliebene dünne Rindenschicht wird noch mit einem Saugspülgerät entfernt. Zurück bleibt nur mehr der hintere Kapselsack. Der Vorteil dabei ist, dass nur noch ein kleiner Eröffnungsschnitt (→*kornaler Tunnelschnitt*) an der korneoskleralen Grenze, der ohne Nähte ausheilt, erforderlich ist. Dies wurde aber erst durch die faltbaren Hinterkammerlinsen möglich. Diese können im eingerollten Zustand mit Hilfe einer Pinzette oder eines Injektors in die Hinterkammer gebracht werden, wo sie sich von selbst im hinteren Kapselsack entfalten und verankern [1,3,4].



**Abb. 20:** Phako [88]

**a** lateraler Kornealschnitt mit Diamantmesser

**b** Kapsulorhexis

**c** Phakoemulsifikation

**d** Implantation der IOL

**e** optimaler Sitz der IOL

### 1.5.5 Nachstar (Cataracta secundaria)

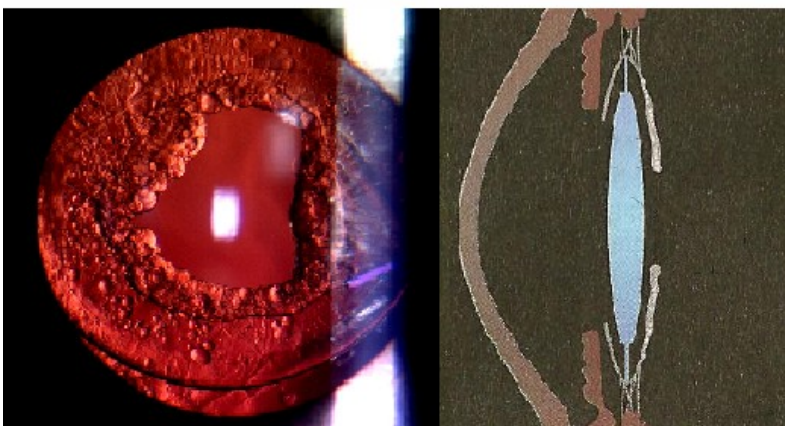
Bei 20-30% der Patienten mit einer ECCE oder Phako entsteht der so genannte Nachstar. Dabei handelt es sich um eine Trübung der Hinterkapsel. Sie entsteht durch eine Fibrosierung der Hinterkapsel (fibrotischer Nachstar) oder durch Regeneration von Linsenepithel aus zurückgelassenen Epithelzellen des Kapseläquators (regeneratorischer Nachstar).

Klinisch kann es dabei wieder zu einer Visusverminderung, Diplopie oder erhöhter Blendungsempfindlichkeit kommen.

Therapie der Wahl ist die Öffnung des zentralen Teils der Hinterkapsel mit YAG-Laser [1].



**Abb.21:** Beim Nachstar entsteht eine Trübung der Hinterkapsel mit Visusabfall [2,82]



**Abb.22:** Der Visus verbessert sich sofort nach der Durchtrennung der Hinterkapsel mit einem YAG-Laser [2,82]

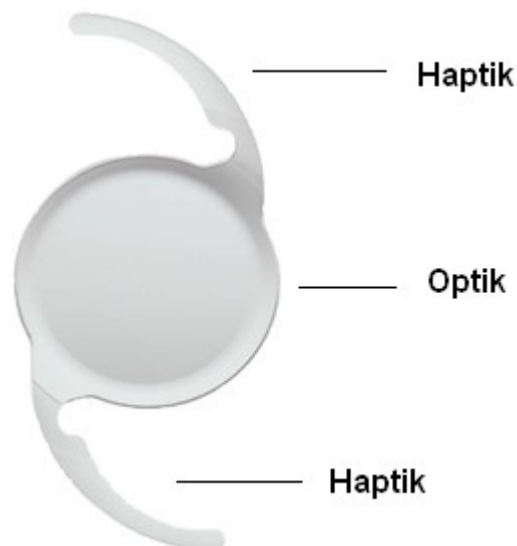
## 1.6 Intraokularlinsen

Nicht nur bei der Operation der Katarakt gab es wesentliche Fortschritte in den letzten Jahrzehnten, sondern auch in der Entwicklung moderner, dem Patienten individuell angepassten IOL.

Jede IOL besteht aus der *Optik* (zentrale refraktive Element) und der *Haptik* (2 Bügel) die zur Verankerung im Kapselsack, Sulcus Ciliaris oder Kammerwinkel dient.

Es gibt Kunstlinsen die aus 1 Stück (→ *one piece*) – Haptik und Optik bestehen aus einem Teil – und Linsen die aus 3 Stücken (→ *three piece*) – Haptik und Optik bestehen aus 3 Teilen – bestehen.

Als Material kommt dabei PMMA, Polypropylen, Polyamid und Silikon in Frage [2,4].



**Abb. 23:** One piece IOL bestehend aus Optik und Haptik [89]

Die geometrischen Konfigurationen der IOL dienen nicht nur zum verbesserten Sehen, sondern vermindern auch die Wahrscheinlichkeit eines Nachstars. Durch die scharfe hintere Kante der Optik wird das Vorwachsen der Linseneptihelzellen vom Äquator der hintern Kapsel aus verhindert [2].

Man unterscheidet starre und faltbare IOL.

Starre IOL bestehen ausschließlich aus PMMA. Um diese Linse in die Vorder- oder Hinterkammer zu bekommen, muss die Inzision größer ( $> 5\text{mm}$ ) als der Durchmesser der Optik sein. Da sie aber günstiger als die faltbaren IOL sind, werden diese Kunstlinsen noch in Entwicklungsländern verwendet.

Faltbare IOL können mit einer Pinzette oder mit einem Injektorsystem gefaltet werden. Dadurch benötigt man keine so große Inzision ( $< 3\text{ mm}$ ) und eine nahtlose Operation wird möglich [2,4].

Sphärische Linsen haben im Randbereich einen anderen Brennpunkt als im zentralen Teil der Linse. Dadurch kommt es zu sphärischen Aberrationen ( $\rightarrow$ verringerte Abbildungsqualität, da das Bild nicht auf einem Punkt der Netzhaut abgebildet wird). Bei asphärischen Linsen wird die Krümmung im Randbereich so angepasst, dass weitgehend nur ein Brennpunkt vorherrscht [13]. Da sich die Veränderungen erst im Randbereich der Linse abspielen, treten die sphärischen Aberrationen erst bei stark erweiterten Pupillen auf [14].

Vorteile von asphärischen gegenüber sphärischen Linsen:

- Geringere sphärische Aberrationen bei hohen Dioptrien und größeren Pupillendurchmesser
- Besseres Kontrastsehen
- Bessere optische Qualität
- Schärfere Abbildung
- Reduktion der Aberrationen höherer Ordnung [15]

Die gesamte Optik der monofokalen IOL hat die gleiche Brechkraft. Durch sie können Bilder immer nur in einer Entfernung (Ferne oder Nähe) scharf abgebildet werden [2]. Durch multifokale IOL können Objekte in Ferne und Nähe scharf eingestellt werden. Patienten geben an, dass sie mit dieser Linse keine oder nur in

den seltensten Fällen eine zusätzliche Brille brauchen [16]. Sie können aber nicht die optische Abbildungsqualität von monofokalen IOL erreichen [2].

Es gibt akkommodative IOL die die natürliche Akkommodation imitieren. Doch leider ist die Akkommodationsbreite nur sehr gering, so dass von Patienten oft kein Unterschied wahrgenommen wird [17].



**Abb. 24:**

**a** Multifokale IOL mit unterschiedlicher Brechkraft der Optik [90]

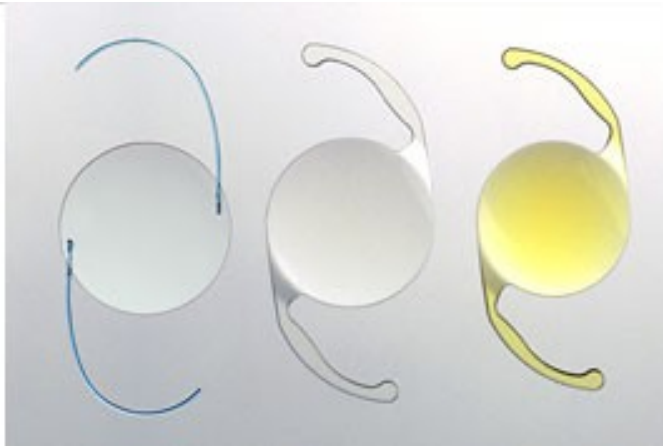
**b** Eine akkommodative IOL hat nur eine geringe Akkommodationsbreite, wodurch vom Patienten oft kein Unterschied wahrgenommen wird [91]

Zur Korrektur von einem Astigmatismus kann eine torische IOL verwendet werden. Dabei muss auf die richtige intraokulare Orientierung der Linse geachtet werden. Es kann aber zu einer Rotation der Linse kommen, was einen Zweiteingriff zur Folge hat [18]. Durch solche IOL kann man einen Astigmatismus bis maximal 12 Dioptrien behandeln [19,20].

Ende der 80-er Jahre wurden gelb gefärbte IOL eingeführt, die nicht nur das UV-Licht sondern auch das kurzwellige blaue Licht filtern. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit an einer phototoxischen AMD zu erkranken vermindert werden. Ein möglicher Nachteil dieser IOL ist ein vermindertes Kontrastsehen.

Die nächste Generation der Blaulichtfilterlinsen wären die *photochromatischen* IOL. Diese verfärben sich bei Vorhandensein von UV-Licht gelb. In der Nacht oder

bei wenig Licht wird die Linse klar (siehe DVD im Anhang). Dadurch vereinigt sie die Vorteile von klaren und gelben Linsen.



**Abb. 25:**

- a** photochromatische Linse:  
bei wenig Licht bleibt die IOL  
klar
- b** klare IOL
- c** gelbe IOL filtern das  
kurzwellige blaue Licht [82]

## 1.7 Licht induzierte AMD

### 1.7.1 Altersbedingte Makuladegeneration

Als altersbedingte Makuladegeneration (AMD) bezeichnet man die progressive Degeneration von Pigmentepithel und Photorezeptoren der Makula im höheren Lebensalter. Sie ist die häufigste Ursache für eine Erblindung ab dem 65. Lebensjahr. Die Krankheit kann genetisch bedingt sein, oder aber auch durch andere Risikofaktoren wie Nikotinabusus und intensiver Sonnenstrahlung ausgelöst werden.

Die Pathogenese liegt in einer Anhäufung von Stoffwechselprodukten, die das Netzhautzentrum zerstören können. Dieses Material entstammt aus den retinalen Pigmentepithelien (RPE). Diese Zellen müssen täglich tausende abgestoßener Scheibchen der Rezeptoraußenglieder abbauen. Wenn dies nicht mehr möglich ist, lagern sich die lipidreichen Abbauprodukte zwischen der Basalmembran der RPE und der Bruch-Membran als so genannte *Drusen* ab. Die RPE-Zellen sterben ab und es entstehen Lücken in der Bruch-Membran wodurch Gefäße aus der Choroidea einwachsen können [1,2,3,4].

Man unterscheidet 2 Formen von AMD:

1. **Trockene Makuladegeneration:** Typisch dafür sind harte, kalzifizierte phospholipidreiche Drusen, die im Verlauf der Krankheit an Größe und Anzahl zunehmen. Das Endstadium besteht aus einer geografischen chorioretinalen Atrophie der Makula.

Beim Patienten macht sich das durch eine langsame progrediente Abnahme der Sehschärfe bemerkbar. Gesichtsfelduntersuchungen zeigen ein relatives Zentralskotom.



**Abb. 26:** Trockene Makuladegeneration mit Drusen [82]

- 2. Feuchte Makuladegeneration:** Sie ist bedingt durch die choroidale Neovaskularisation (CNV). Die Ursache dafür ist ein miss-match zwischen dem Gefäßwachstum stimulierenden VEGF (vascular endothelial growth factor) und dem Wachstum supprimierenden PEDF (pigment epithel derived factor). Das führt zum Wachstum von Kapillaren aus der Aderhaut durch die defekte Bruch-Membran. Die Gefäße können sub-RPE, subretinal oder in Kombination von beiden lokalisiert sein. Häufiger kommen sie aber unterhalb der RPE vor. Das Austreten von Blut und Serum kann zu subretinalen Flüssigkeitsansammlungen, Makulaödem und Pigmentepithelabhebungen kommen. Dabei kommt es zu einem reversiblen Sehverlust. Erst durch den Verlust der Photorezeptoren und RPE und Ausbildung einer Narbe kommt es zu einem irreversiblen Sehverlust.

Symptome sind Metamorphopsien (=Verzerrtsehen), der durch einen positiven Amsler-Test diagnostiziert werden kann, und ein plötzlich auftretender Visusverlust [1,2,3,4].



**Abb. 27:** Feuchte Makuladegeneration [82]

Da die Therapien, wie z.B. Laser- und Photodynamische Therapie, oft kein zufrieden stellendes Ergebnis bringen, sollte man die Risikofaktoren wie Nikotin und intensive Sonnenstrahlung meiden [1,2,3,4].

## 1.7.2 Phototoxizität

### 1.7.2.1 Allgemeines

Viele pathologische Veränderungen im Auge werden durch energiereiche Strahlungen des Lichtes ausgelöst. Die am stärksten betroffenen Strukturen sind dabei die Linse und die Netzhaut i.e.S. die Makula. Da durch Licht aber das Sehen erst ermöglicht wird, ist das Auge einem Agens ausgesetzt, das nicht vollständig eliminiert, sondern nur reduziert werden kann.

Wenn man die Veränderungen an der Netzhaut, die durch chronische Lichtexposition verursacht wurde, betrachtet, stellt man fest, dass fast ausschließlich die Makula betroffen ist. Das lässt sich dadurch erklären, dass einfallendes Licht immer auf ein Netzhautzentrum fokussiert [21].

Die Netzhaut reagiert sehr sensibel auf den UV- und Blaulichtanteil (320 – 400 nm) des natürlichen Lichtes. Dies führt zur Bildung von reaktiven Sauerstoffmetaboliten, die zu Peroxidasereaktionen führen. Aus ungesättigten Fettsäuren der Außensegmente der Photorezeptoren und Proteinen entstehen durch diese Reaktion nicht lysosomal abbaubare Molekülaggregate die als *Lipofusazine* bezeichnet werden [22,23,24,25]. Sie nehmen vorwiegend den Blauanteil des Sonnenlichtes auf und strahlen diesen als Licht wieder ab, wodurch es zur Autofluoreszenz des Augenhintergrundes kommt. Dies führt wiederum zu vermehrter Bildung von radikalen Sauerstoffmetaboliten, die das umliegende Gewebe schädigen können. Durch die Schädigung des Pigmentepithels kommt es durch die vermutlich reduzierte antioxidative Kapazität des Pigmentepithels und der Anhäufung von den Außensegmenten der Photorezeptoren zu weiteren Lipofuszinablagerungen und Absterben der Photorezeptoren [27,28].

Dieser Alterungsvorgang führt bei der AMD zu den klumpenförmigen Drusen, die unter weiterer Lichtexposition weitere Degenerationen fördern [26].

### 1.7.2.2 Schutzfunktion des Auges

Das Auge hat Schutzmechanismen die gegen diese toxischen Schädigungen entgegenwirken.

*Melanin*, ein stark antioxidatives Bräunungspigment, befindet sich dicht verpackt in den verschiedenen Teilen des Auges und trägt einen wesentlichen Teil des wirksamen Lichtschutzes bei [29].

Die schützende Wirkung des Melanins wird über 2 Mechanismen erklärt.

1. *Absorption*: Melanin vermag Photoenergie in harmlose kinetische Energie umzuwandeln. Bei steigender Photoenergie kann Melanin die Lichtabsorptionsquote sogar noch steigern [30].
2. *Antioxidant*: Das Bräunungspigment ist ein Radikalfänger, der einen großen Teil zur antioxidativen Kapazität beiträgt [31,32].

Das Melanin des RPE ist schon im Alter von 2 Jahren voll ausgebildet und wird im weiteren Verlauf des Lebens nicht mehr regeneriert. Dadurch kommt es im Alter zu einer verminderten Melanindichte mit Reduktion der antioxidativen Kapazität [29].

Der positive Effekt von Melanin wird durch die höhere Inzidenz von AMD bei weißen und weniger pigmentierten Augen belegt. Eine US Studie zeigt, dass der prozentuelle Anteil der Erblindung durch AMD bei weißen bei 54%, bei Lateinamerikaner bei 14% und bei Schwarzen bei 5% liegt [33].

Die *Karotinoide* des Pigmentepithels vermögen über eine hohe protektive Wirkung gegenüber dem blauen Licht.

Biomolekularisch betrachtet handelt es sich dabei um die Xanthophyllisomere Zeaxanthin und Lutein. Diese sind oxidierbar und können daher die Photorezeptoren schützen [34].

Den Gehalt von Xanthophyll kann man diätisch beeinflussen. Dadurch kann man durch eine luteinreiche Ernährung die Xanthophyllkonzentration im Auge erhöhen. Bei Rauchern hingegen vermindert sich der Luteingehalt [30].

Es gibt noch weitere Radikalfänger der Netzhaut, die hier nur kurz angeführt werden:

- Superoxiddismutase liegt in höchster Konzentration in den Außensegmenten der Stäbchen vor [35]
- Glutathionperoxidase befindet sich in der Netzhaut und im RPE [36]
- Ascorbatperoxidase reduziert  $H_2O_2$  und befindet sich in der Aderhaut und im RPE [37]
- Katalaseaktivität liegt in höchster Konzentration im RPE vor und nimmt im Alter deutlich ab [38]
- Vitamine C und E sind speziell im Glaskörper und in den Lipidmembranen der Außensegmente der Photorezeptoren in hohen Konzentrationen vorhanden [30,39,40,41]

Obwohl die Netzhaut so viele Schutzmechanismen besitzt, kann eine, durch speziell im Alter auftretende Verminderung der Antioxidantien mit vermehrter Ansammlung von ungesättigten Fettsäuren, die leichter oxidativ geschädigt werden können, altersbedingte Makuladegeneration entstehen [44,45,46].

Die Hornhaut absorbiert Licht bis zu einer Wellenlänge von 300 nm. Das restliche Licht trifft auf die Linse auf. Bei einem Kind kommt dieses Licht ungehindert durch die Linse auf die Netzhaut. Erst mit dem Alter kommt es zu einer Veränderung der Linse mit Filterfunktion für Licht der Wellenlänge 300 – 400 nm [30].

Durch UV-Strahlen im Wellenlängenbereich von 295-380 nm [42,43] und dem blauen, kurzwelligen, energiereichen Anteil des sichtbaren Lichtes kommt es durch oxidative Veränderungen der Linsenproteine zu einer Quervernetzung mit wasserunlöslichen Aggregaten, die nicht mehr abgebaut werden können. Dadurch kommt es zu einer Trübung der Linse, die nun auch das blaue Licht bis zu einer Wellenlänge von ca. 400 nm filtert [30].

Wird die natürliche Linse im Rahmen einer Kataraktoperation gegen eine künstliche IOL, die nur UV-Strahlen filtert, ausgetauscht, so geht der natürliche Blaulichtfilter verloren. Damit wird die Netzhaut wieder vermehrt dem energiereichen blauen Licht ausgesetzt [47,48,49].

Abhilfe schafft dabei eine IOL mit Blaulichtfilter. Diese imitiert den Schutzmechanismus der natürlichen Linse, wodurch es zu einer verminderten Schädigung der Netzhaut kommt [50].

## **1.8 Ziel der Arbeit**

In dieser Arbeit wird die photochromatische Aurium IOL mit der Hoya AF-1 UV 60BB ohne Blaulichtfilter und Hoya AF-1 UY 60BB mit Blaulichtfilter verglichen. In der Literatur wird beschrieben, dass es durch den Blaulichtfilter, der das Auge zusätzlich zu dem UV-Licht auch vor dem kurzwelligen aggressiven blauen Licht schützt, zu Änderungen der Farb- und Kontrastwahrnehmung kommen kann. Das Ziel der Arbeit ist zu erfahren, wie sich das Farb- und Kontrastsehen der photochromatischen IOL, die bei hoher Lichtexposition gelb und bei niedriger klar ist, im Gegensatz zu den vergleichenden Intraokularlinsen verhält.

Dafür wurden drei Patientengruppen retrospektiv untersucht. Einer Gruppe wurde die photochromatische Aurium IOL, einer anderen die klare Hoya AF-1 UV 60BB IOL und der dritten die gelbe Hoya AF-1 UY 60BB IOL im Zuge einer Kataraktoperation implantiert. Sechs Monate nach Operation wurden folgende Parameter bestimmt: Bestimmung der Refraktion und des best korrigierten Visus, Kontrastsehen in der Ferne unter photopischen und mesopischen Bedingungen, Kontrastsehen in der Nähe unter hoch – mesopischen und niedrig – mesopischen Bedingungen und das Farbsehen.

Diese Daten wurden digital erfasst und die drei Patientengruppen wurden untereinander verglichen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Hoya AF-1 UV / Hoya AF-1 UY / Aurium

Bei denen in dieser Studie verwendeten Intraokularlinsen handelt es sich um Hoya AF-1 UV 60BB, Hoya AF-1 UY 60BB und Aurium IOL.

#### **Hoya AF-1 UV 60BB (klare Hoya):**

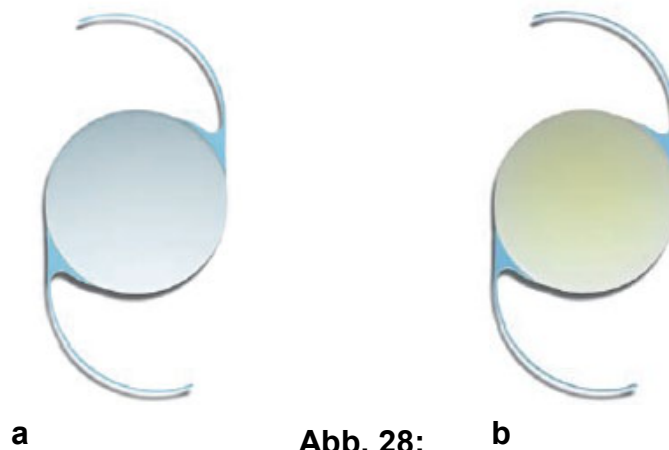
Hierbei handelt es sich um eine sphärische, faltbare Intraokularlinse mit UV-Filter. Die Optik dieser einteiligen (one piece) IOL besteht aus hydrophoben Acrylat die dank einer speziellen Herstellungstechnik (*Lathe-Cut* und *Tumble-Polish*) eine sehr glatte Oberfläche besitzt. Bei der aus chemisch gebundener PMMA bestehender Haptik handelt es sich um eine C-Haptik die in einem sogenannten *Hopper Loop* vorliegt. Diesem Design verdankt es seinem sicheren Halt in der Kapsel und sie schützt auch vor einer Deformierung der Linse durch Kontraktionen der Kapsel.

Die Gesamtlänge der IOL beträgt 12,5 mm bei einem Optikdurchmesser von 6,0 mm. Die Anwinkelung ist 5° und die geschätzte A-Konstante 118,7. Der Refraktionsindex dieser IOL beträgt 1,52.

Die Brechkraft der Linse liegt mit 0,50 dpt Abständen von +4 bis +40 dpt und in 1 dpt Abständen von -7 bis +4 dpt vor [60].

#### **Hoya AF-1 UY 60BB (gelbe Hoya):**

Diese IOL unterscheidet sich von der klaren Hoya AF-1 UV nur durch ihren in der Optik enthaltenden Blaulichtfilter, der der Intraokularlinse einen gelben Farbton verleiht. Durch diesen Filter wird nicht nur UV-Licht sondern auch kurzwelliges blaues Licht absorbiert [61].



**a** Hoya AF-1 UV 60BB (klare Hoya) [92]

**b** Hoya AF-1 UY 60BB (gelbe Hoya) [92]

### **Aurium:**

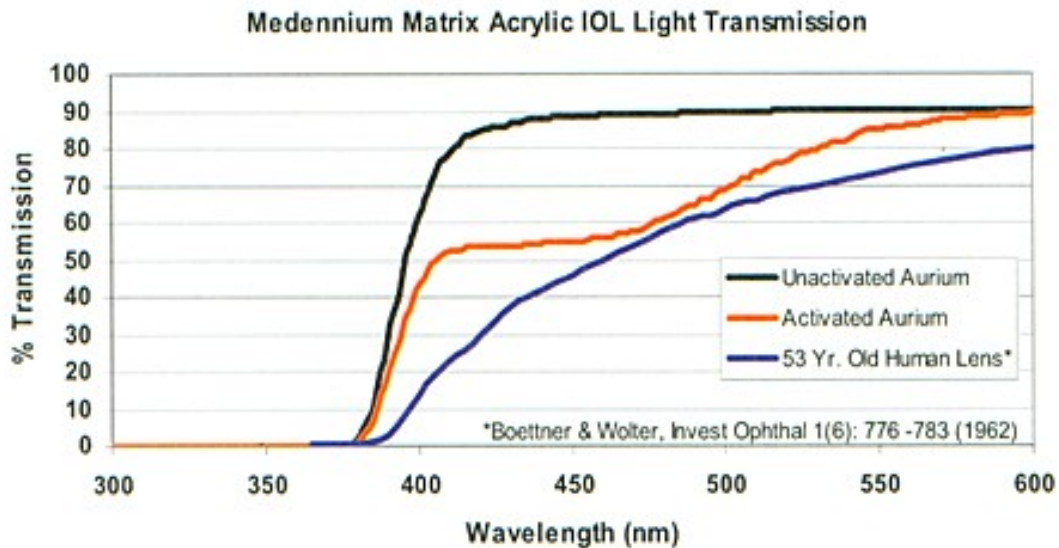
Dabei handelt es sich um eine photochromatische Linse, die sich bei Vorhandensein von UV-Licht gelb verfärbt, wodurch sie als Blaulichtfilter fungiert. In der Nacht oder bei wenig Licht wird die Linse wieder klar. (siehe DVD im Anhang)

Die Aurium-IOL ist eine three piece Linse dessen scharfkantige equikonvexe Optik aus einem hydrophoben phototropen Acrylat besteht. Die blaue C-Form Haptik besteht aus Polyvinylidenfluorid (PVDF). Die Gesamtlänge beträgt 12,5 mm bei einem Optikdurchmesser von 6,0 mm. Die Anwinkelung ist 5°. Die A-Konstante ist 118,5 und bei IOL – Master 118,7 – 118,9. Der Refraktionsindex beträgt 1,56.

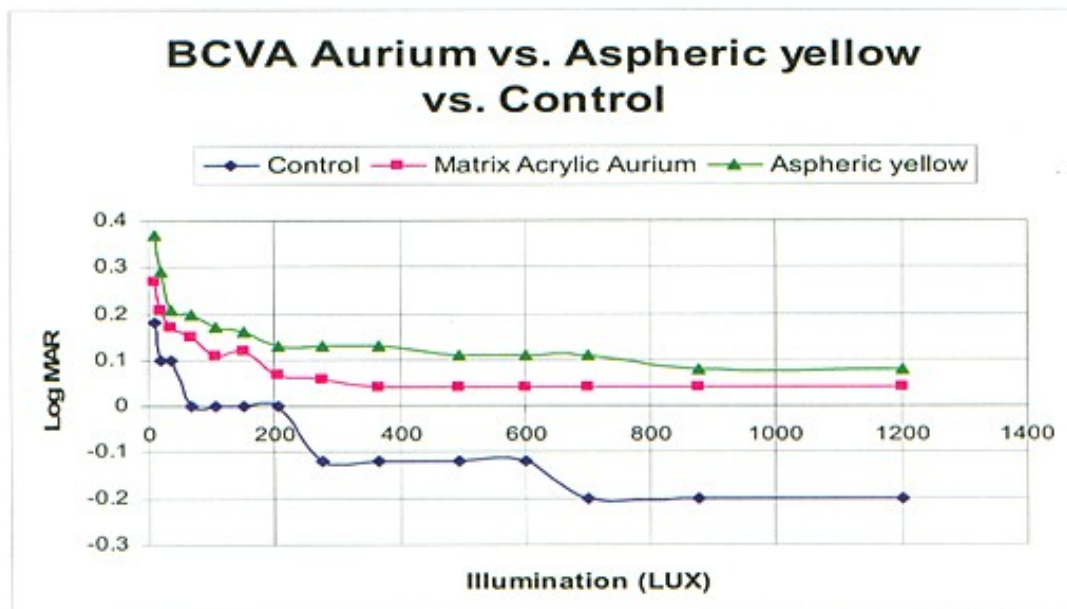
Die Linse ist in 1 dpt Schritten von 0 bis +10,0 dpt und in 0,5 dpt Schritten von +10,5 bis +30,0 dpt verfügbar [62].



**Abb. 29:** Aurium: nach UV – Exposition verfärbt sich die Linse gelb [93]



**Abb. 30:** Vergleich der Lichtdurchlässigkeit von inaktiven (klaren), aktiven (bei UV – Exposition gelb verfärbten) Aurium - IOL und der humanen Linse (über 53 Jahre). Durch die Aktivierung der Aurium – IOL nähert sich ihr Lichtabsorptionsspektrum dem der natürlichen Linse [93].



Average of 15 subjects @ 6 months, BCVA (Log MAR) at various illumination levels of Matrix Acrylic® Aurium in comparison with Aspheric Yellow and young Phakic Subjects (control). (Data on file at Medennium)

**Abb. 31:** Vergleich der Lichtillumination von photochromatischen Aurium IOL, asphärischen gelben IOL und der jungen humanen Linse [93].

## **2.2 Patienten**

Bei dieser retrospektiven Studie wurden 30 Patienten mit insgesamt 32 Intraokularlinsen untersucht. Dabei handelt es sich um 11 photochromatische IOL vom Typ Aurium, 9 klare IOL vom Typ Hoya AF-1 UV 60BB und 12 gelbe IOL mit Blaulichtfilter vom Typ Hoya AF-1 UY 60BB.

Das Alter der Patienten lag zwischen 44 und 84 Jahren. Als Ausschlusskriterium von der Studie galten weitere ophthalmologische Erkrankungen wie primäres und sekundäres Glaukom, okuläre Hypertension, Uveitis, Diabetes, Makuladegeneration und ein bestkorrigierter Visus  $< 0,8$ .

Bei allen Patienten wurde eine exakte präoperative ophthalmologische Untersuchung durchgeführt. Diese beinhaltet die Bestimmung der Refraktion, Messung des Augendrucks, Spaltlampenuntersuchung und die Funduskopie. Zusätzlich wurde noch die Refraktion der künstlichen IOL durch die Biometrie mit einem IOL – Master (IOL – Master, Carl Zeiss Meditec) erfasst. Die Zielrefraktion war ein möglichst der Emmetropie angenäherter Wert.

Anschließend unterzogen sie sich einer ein – oder beidseitigen Kataraktoperation mit der Technik der Phakoemulsifikation. Alle Intraokularlinsen wurden in den hinteren Kapselsack fixiert.

Einen Tag nach Operation erfolgte die Untersuchung durch einen Augenarzt und die Patienten wurden 5 Wochen lang mit antibiotischen und kortikosteroidhaltigen Augentropfen und –salben behandelt.

## **2.3 Untersuchung**

Die Ergebnisse dieser retrospektiven Studie beruhen auf den Untersuchungen 6 Monate post op.

Nach dem Messen der Refraktion, wurde der bestkorrigierte Visus bestimmt. Die anschließenden Untersuchungen wurden immer mit bester Korrektur durchgeführt. Dabei wurde das Kontrastsehen in der Ferne (3 m und 6 m) unter photopischen und mesopischen Bedingungen mit dem Pelli – Robson – Test, das Kontrastsehen in der Nähe unter hoch – mesopischen und niedrig – mesopischen Bedingungen mit dem Holladay Test und das Farbsehen mit Hilfe des desaturierten Lanthony D-15 Test untersucht.

Zum Abschluss wurde noch eine Spaltlampenuntersuchung mit Funduskopie durchgeführt, um etwaige Ausschlusskriterien festzustellen.

### 2.3.1 Kontrastsehen in der Ferne

Um die Kontrastsensitivität in der Ferne zu messen, wird der *Pelli – Robson Test* angewendet.

Auf einer einzelnen Tafel befinden sich Gruppen von Buchstaben die sich in ihrer Kontraststärke unterscheiden. Jede Gruppe besteht aus drei Buchstaben mit dem gleichen Kontrast. Jede Zeile beinhaltet zwei Gruppen oder sechs Buchstaben.

Die Messungen werden in 3 m und in 6 m Abstand unter photopischen und mesopischen Bedingungen durchgeführt. Dadurch erhält man vier Ergebnisse.

Die Patienten lesen mit bestkorrigiertem Visus die Buchstaben, beginnend mit dem höchsten Kontrast, bis sie zwei oder drei Fehler in einer Gruppe machen.

Jeder richtige gelesene Buchstabe wird mit einem Punkt dotiert.



**Abb. 32:** Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart [94]

### 2.3.2 Kontrastsehen in der Nähe

Mit dem Holladay Kontrastschärfe Test (Stereo Optical Co., Inc, Chicago, IL, USA) wird das Kontrastsehen in der Nähe gemessen.

Die Patienten sitzen 40 cm von den Lesekarten entfernt. Zusätzlich zum bestkorrigierten Visus erhalten sie noch eine Korrektur von + 2,5 dpt um den Lesepunkt auf 40 cm zu setzen. Die Patienten erhalten immer zwei Gläser, damit eine standardisierte Lichtabsorption gegeben ist.

Die Kontrastsensitivität wurde mit 50%, 25% und 12.5% Kontrastkarten getestet. Diese Untersuchungen wurden unter zwei verschiedenen Lichtstärken durchgeführt. Einmal mit 5 lux für hoch-mesopisches Sehen und einmal mit 0.5 lux für niedrig-mesopisches Sehen. Dadurch erhält man sechs Ergebnisse. Die Lichtintensität wurde mit einem Luxmeter (Digital Luxmeter MS – 1500, Voltcraft®, Conrad Electronic, Germany) gemessen. Der Abstand von 40 cm wurde während den Untersuchungen öfters kontrolliert, damit sich die Untersuchungsbedingungen nicht änderten. Der Test ist zu Ende, wenn der Patient drei oder mehr Fehler in einer Reihe macht [63]. Jeder richtig gelesene Buchstabe wird als ein Punkt gezählt.



**Abb. 33:** Bei diesem Test wurden 50%, 25% und 12.5% Kontrastkarten verwendet [95]

### 2.3.3 Farbsehen

Die Analyse des Farbsehens wurde mittels desaturiertem Lanthony D-15 Test monokulär mit bester Brillenkorrektur für die Nähe in 30 cm Entfernung unter photopischen ( $85\text{cd/m}^2$ ) Lichtverhältnissen durchgeführt [64].

Dabei müssen 16 unterschiedlich gefärbte Farbplättchen in die richtige Reihenfolge gebracht werden. Das erste Plättchen wird fix vorgegeben und die Patienten werden aufgefordert, die anderen Plättchen nach ihrer Ähnlichkeit nachzureihen.

Bei der Auswertung wird die vom Patienten gelegte Reihe auf einem Zettel, auf dem die richtige Reihenfolge kreisförmig angeordnet ist, eingezeichnet. Die Kurve ist kreisförmig wenn die Farbplättchen in der richtigen Reihenfolge gelegt sind. Sind die Plättchen nicht richtig gelegt, so entstehen bei der Auswertung Zacken, aus der man die Farbfehlsichtigkeit ermitteln kann.



**Abb. 34:** Desaturierter Lanthony D-15 Test [82]

## **2.4 Statistik**

Die erhobenen Daten wurden im File Maker Pro 8.0 erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Version 10.0. Mittels des One Way Tests wurde aus den erfassten Daten der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung ermittelt. Diese Daten wurden mit Hilfe der Box-Plot Graphik dargestellt.

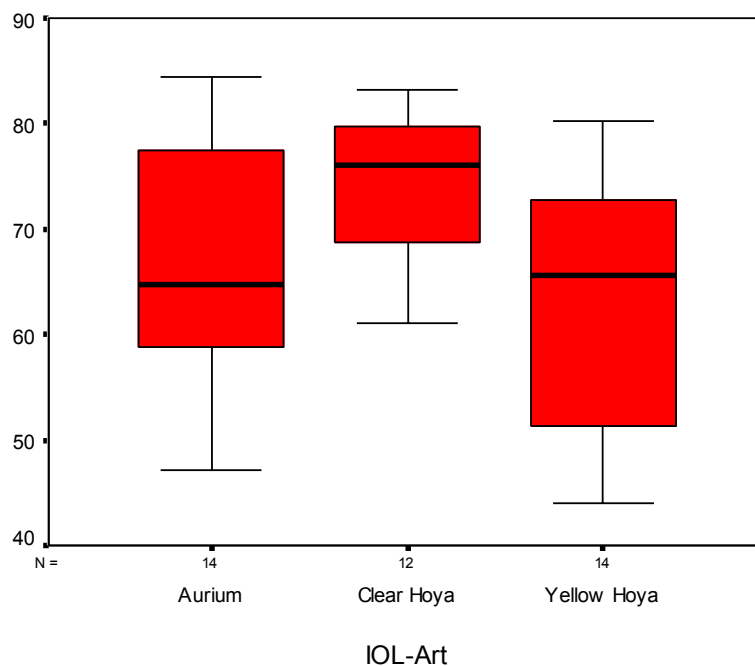
Die Normalverteilung der Variablen wurde mit Hilfe des Kolmogorov - Smirnow - Tests geprüft. Bei  $p > 0,05$  wurde eine Normalverteilung angenommen. Bei normal verteilten Variablen wurde der Student's T-Test, bei nicht normal verteilten der Mann - Whitney - U - Test durchgeführt. Dadurch konnten die drei verschiedenen Intraokularlinsen untereinander verglichen werden. Bei  $p < 0,1$  spricht man von einem Trend, bei  $p < 0,05$  von signifikant und bei  $p < 0,01$  von hoch signifikant.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Alter

Das durchschnittliche Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (6 Monate post OP) betrug für die Aurium IOL  $65,40 \pm 7,44$  Jahre (min. 47 Jahre bis max. 84 Jahre), für die klare Hoya  $73,74 \pm 4,64$  Jahre (min. 61 Jahre bis max. 83 Jahre) und für die gelbe Hoya  $63,10 \pm 6,73$  (min. 44 Jahre bis max. 80 Jahre).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,059$  und zeigt somit einen Trend zugunsten der Aurium IOL. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,623$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,012$  und es zeigt sich somit eine Signifikanz zugunsten der gelben Hoya.

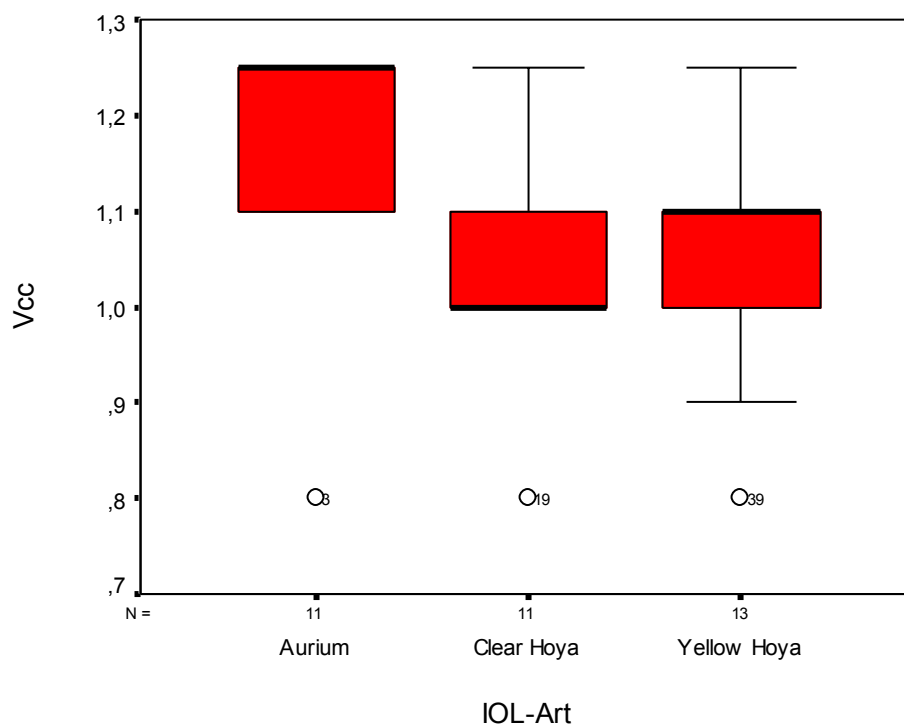


**Abb. 35:** Boxplot der statistischen Verteilung des Alters zwischen den drei verglichenen Intraokularlinsen

### 3.2 Visus mit Korrektur

Der durchschnittliche Visus mit Korrektur (Vcc) der Patienten betrug für die Aurium IOL  $1,17 \pm 0,09$  (min. 0,80 bis max. 1,25), für die klare Hoya  $1,03 \pm 0,07$  (min. 0,8 bis max. 1,25) und für die gelbe Hoya  $1,06 \pm 0,08$  (min. 0,80 bis max. 1,25).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,020$  und zeigt somit eine Signifikanz zugunsten der Aurium IOL. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,061$  und es zeigt sich somit ein Trend zugunsten der Aurium IOL. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,546$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

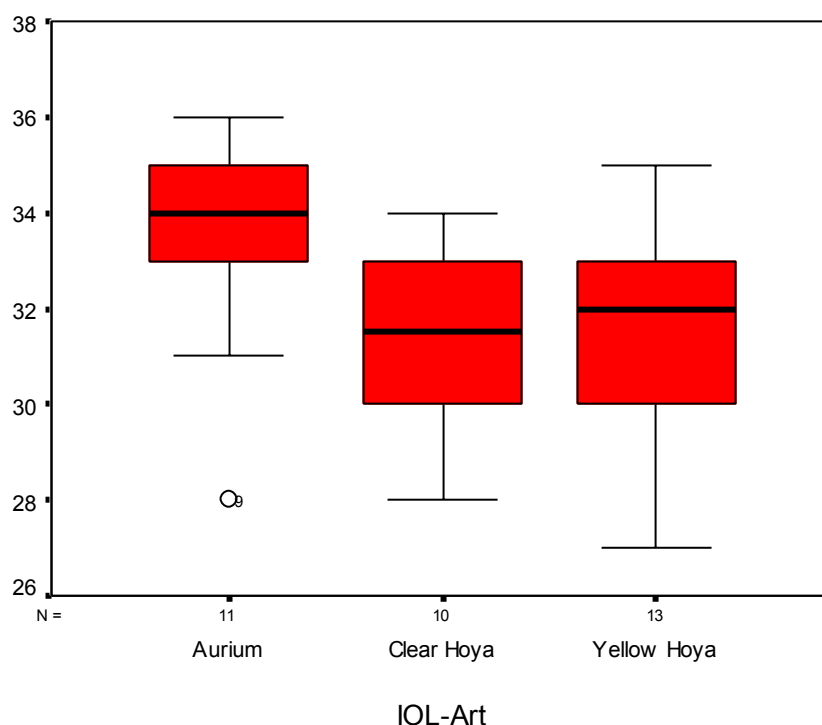


**Abb. 36:** Boxplot der statistischen Verteilung des Visus mit Korrektur mit einer Signifikanz zugunsten der Aurium IOL

### 3.3 Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter photopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter photopischen Bedingungen betrug für die Aurium IOL  $33,55 \pm 1,6$  (min. 28 bis max. 36), für die klare Hoya  $31,30 \pm 1,47$  (min. 28 bis max. 34) und für die gelbe Hoya  $31,62 \pm 1,39$  (min. 27 bis max. 35).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,033$  und zeigt somit eine Signifikanz zugunsten der Aurium IOL. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,061$  und es zeigt sich somit ein Trend zugunsten der Aurium IOL. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,736$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

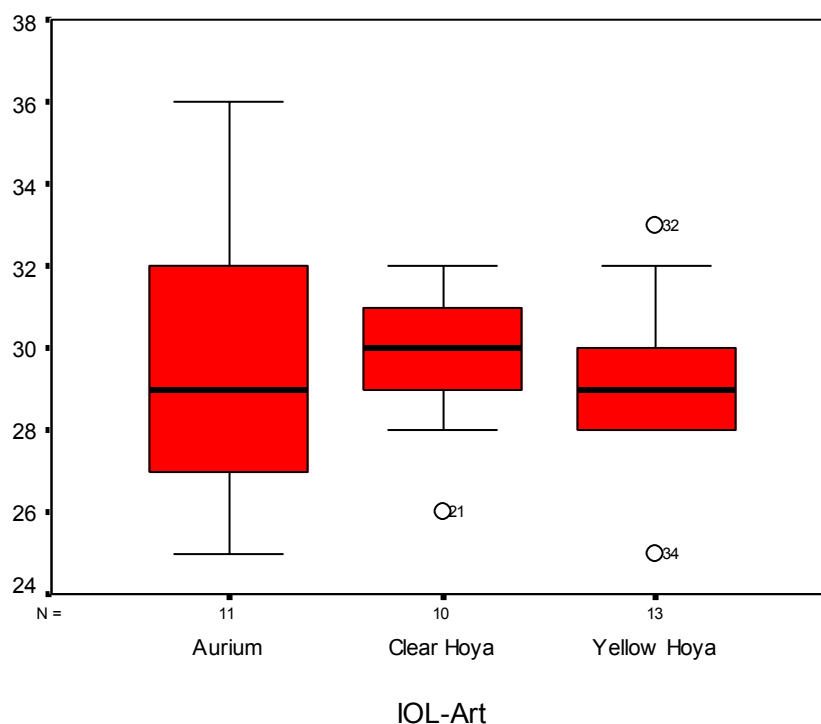


**Abb. 37:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens aus 3 m Entfernung unter photopischen Bedingungen mit Vorteilen zugunsten der Aurium IOL

### 3.4 Kontrastsehen aus 6 m Entfernung unter photopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen aus 6 m Entfernung unter photopischen Bedingungen betrug für die Aurium IOL  $29,73 \pm 2,29$  (min. 25 bis max. 36), für die klare Hoya  $29,70 \pm 1,22$  (min. 26 bis max. 32) und für die gelbe Hoya  $29,31 \pm 1,20$  (min. 25 bis max. 33).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,982$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,710$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,622$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

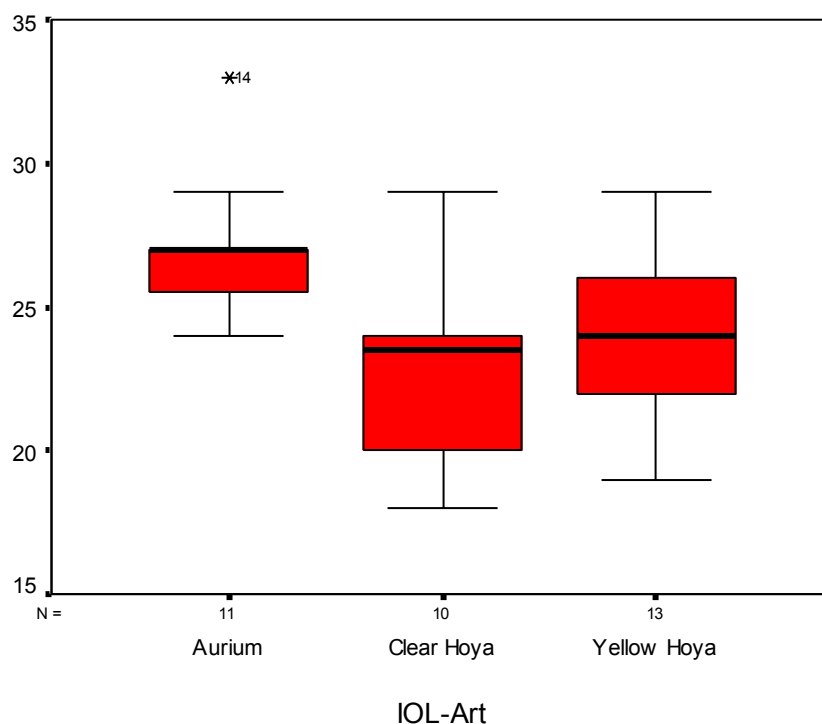


**Abb. 38:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens aus 6 m Entfernung unter photopischen Bedingungen

### 3.5 Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen betrug für die Aurium IOL  $26,91 \pm 1,69$  (min. 24 bis max. 33), für die klare Hoya  $23,20 \pm 2,36$  (min. 18 bis max. 29) und für die gelbe Hoya  $24,08 \pm 1,68$  (min. 19 bis max. 29).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,009$  und zeigt somit eine hohe Signifikanz zugunsten der Aurium IOL. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,016$  und es zeigt sich somit eine Signifikanz zugunsten der Aurium IOL. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,496$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

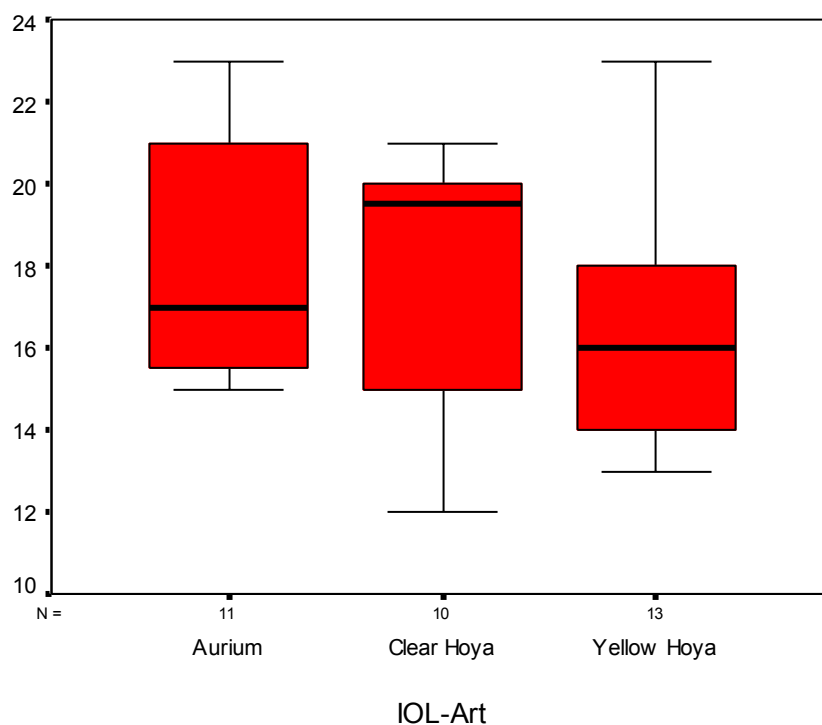


**Abb. 39:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens aus 3 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen mit einer Signifikanz zugunsten der Aurium IOL

### 3.6 Kontrastsehen aus 6 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen aus 6 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen betrug für die Aurium IOL  $18,18 \pm 2,06$  (min. 15 bis max. 23), für die klare Hoya  $18,00 \pm 2,21$  (min. 12 bis max. 21) und für die gelbe Hoya  $16,92 \pm 2,15$  (min. 13 bis max. 23).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,894$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,367$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,454$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

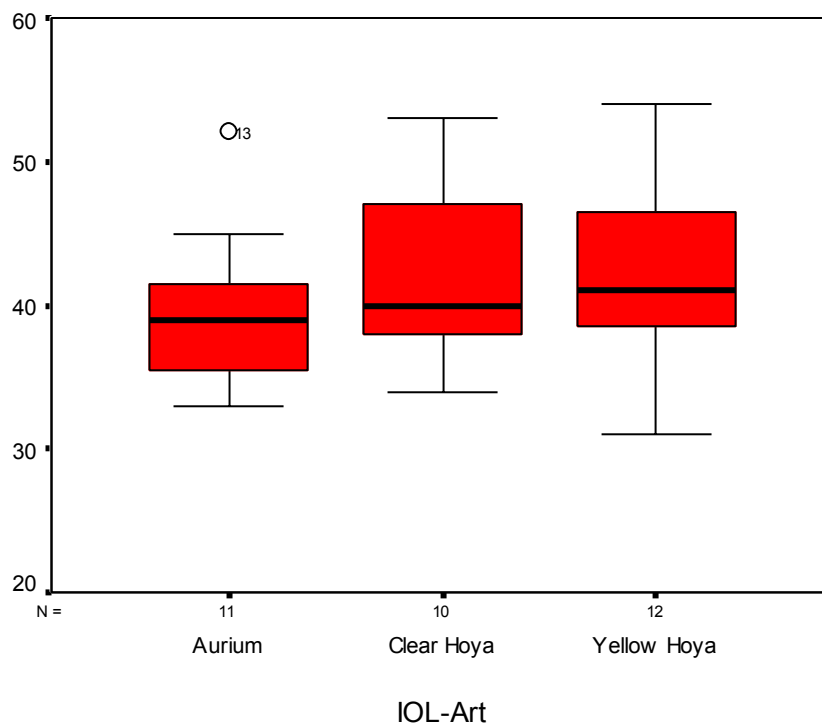


**Abb. 40:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens aus 6 m Entfernung unter mesopischen Bedingungen

### 3.7 Kontrastsehen in der Nähe mit 50%-iger Kontrasttafel unter hoch - mesopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen in der Nähe mit einer 50%-igen Kontrasttafel unter hoch – mesopischen Bedingungen (5 lux) betrug für die Aurium IOL  $39,45 \pm 3,82$  (min. 33 bis max. 52), für die klare Hoya  $41,80 \pm 4,25$  (min. 34 bis max. 53) und für die gelbe Hoya  $41,92 \pm 3,99$  (min. 31 bis max. 54).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,367$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,337$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,965$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

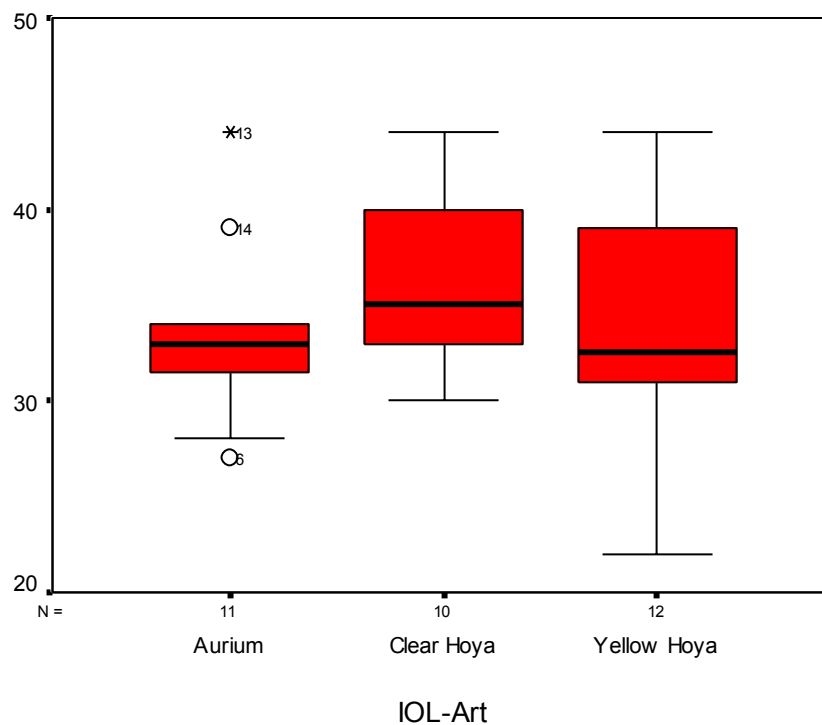


**Abb. 41:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens in der Nähe mit 50%-iger Kontrasttafel unter hoch-mesopischen Bedingungen

### 3.8 Kontrastsehen in der Nähe mit 25%-iger Kontrasttafel unter hoch - mesopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen in der Nähe mit einer 25%-igen Kontrasttafel unter hoch – mesopischen Bedingungen (5 lux) betrug für die Aurium IOL  $33,55 \pm 3,18$  (min. 27 bis max. 44), für die klare Hoya  $36,40 \pm 3,36$  (min. 30 bis max. 44) und für die gelbe Hoya  $34,00 \pm 4,02$  (min. 22 bis max. 44).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,181$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,848$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,333$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

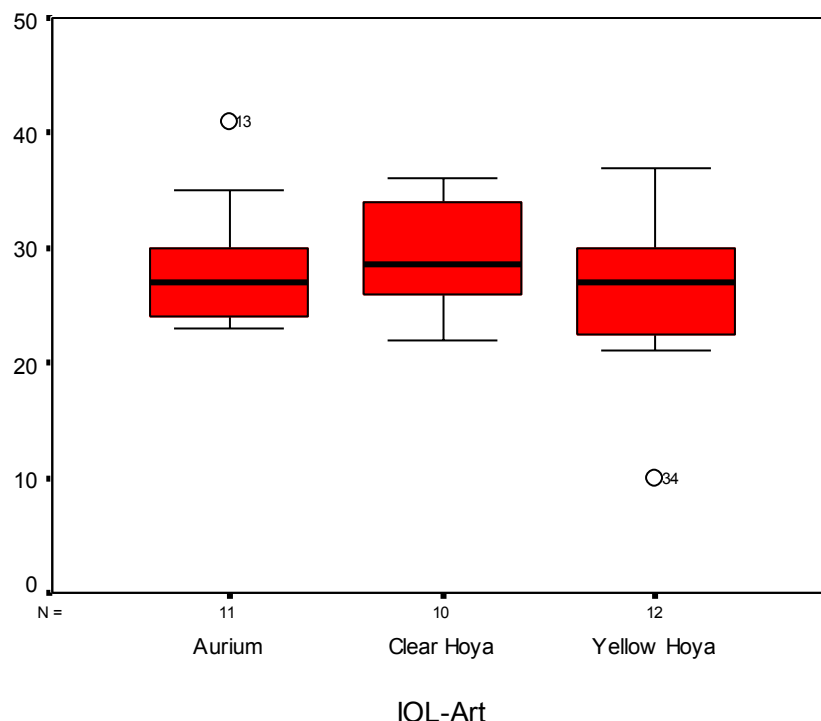


**Abb. 42:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens in der Nähe mit 25%-iger Kontrasttafel unter hoch-mesopischen Bedingungen

### 3.9 Kontrastsehen in der Nähe mit 12,5%-iger Kontrasttafel unter hoch - mesopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen in der Nähe mit einer 12,5%-igen Kontrasttafel unter hoch – mesopischen Bedingungen (5 lux) betrug für die Aurium IOL  $28,36 \pm 3,74$  (min. 23 bis max. 41), für die klare Hoya  $29,50 \pm 3,64$  (min. 22 bis max. 36) und für die gelbe Hoya  $26,08 \pm 4,38$  (min. 10 bis max. 37).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,632$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,395$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,209$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

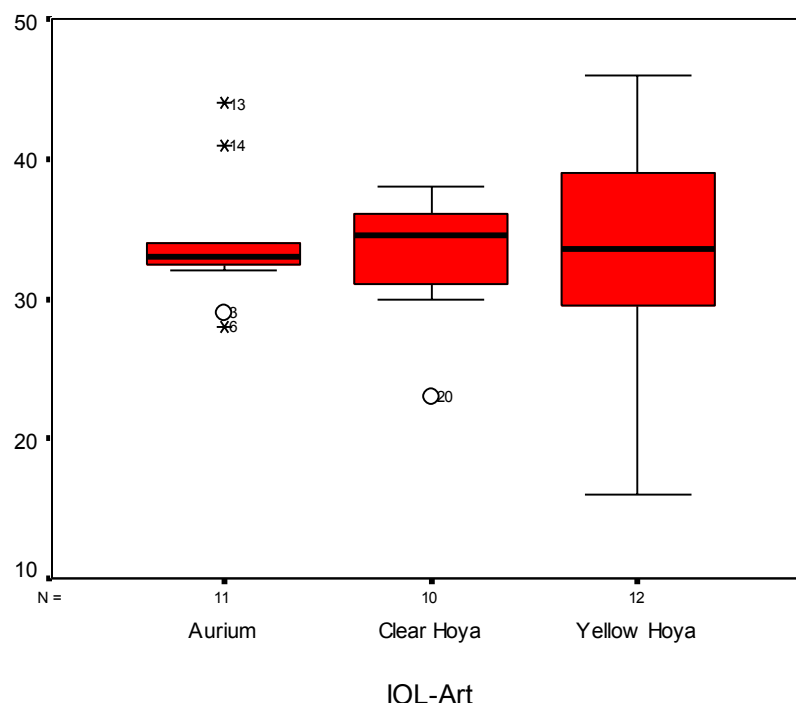


**Abb. 43:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens in der Nähe mit 12,5%-iger Kontrasttafel unter hoch-mesopischen Bedingungen

### **3.10 Kontrastsehen in der Nähe mit 50%-iger Kontrasttafel unter niedrig - mesopischen Bedingungen**

Das durchschnittliche Kontrastsehen in der Nähe mit einer 50%-igen Kontrasttafel unter niedrig – mesopischen Bedingungen (0,5 lux) betrug für die Aurium IOL  $34,09 \pm 3,13$  (min. 28 bis max. 44), für die klare Hoya  $33,30 \pm 3,16$  (min. 23 bis max. 38) und für die gelbe Hoya  $32,92 \pm 5,20$  (min. 16 bis max. 46).

Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,695$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,680$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,896$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.

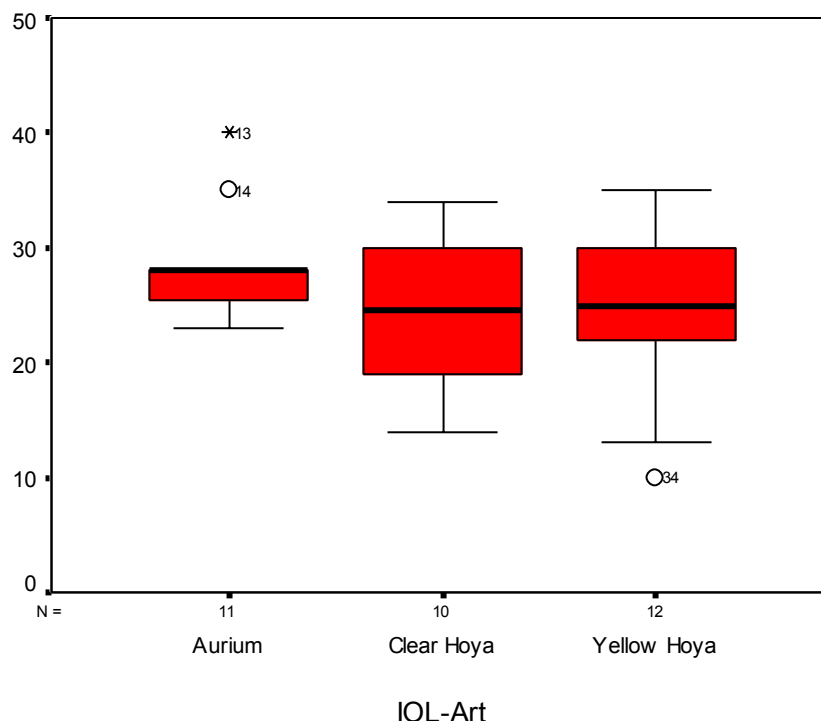


**Abb. 44:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens in der Nähe mit 50%-iger Kontrasttafel unter niedrig - mesopischen Bedingungen

### 3.11 Kontrastsehen in der Nähe mit 25%-iger Kontrasttafel unter niedrig - mesopischen Bedingungen

Das durchschnittliche Kontrastsehen in der Nähe mit einer 25%-igen Kontrasttafel unter niedrig – mesopischen Bedingungen (0,5 lux) betrug für die Aurium IOL  $28,36 \pm 3,34$  (min. 23 bis max. 40), für die klare Hoya  $24,70 \pm 4,89$  (min. 14 bis max. 34) und für die gelbe Hoya  $24,75 \pm 4,82$  (min. 10 bis max. 35).

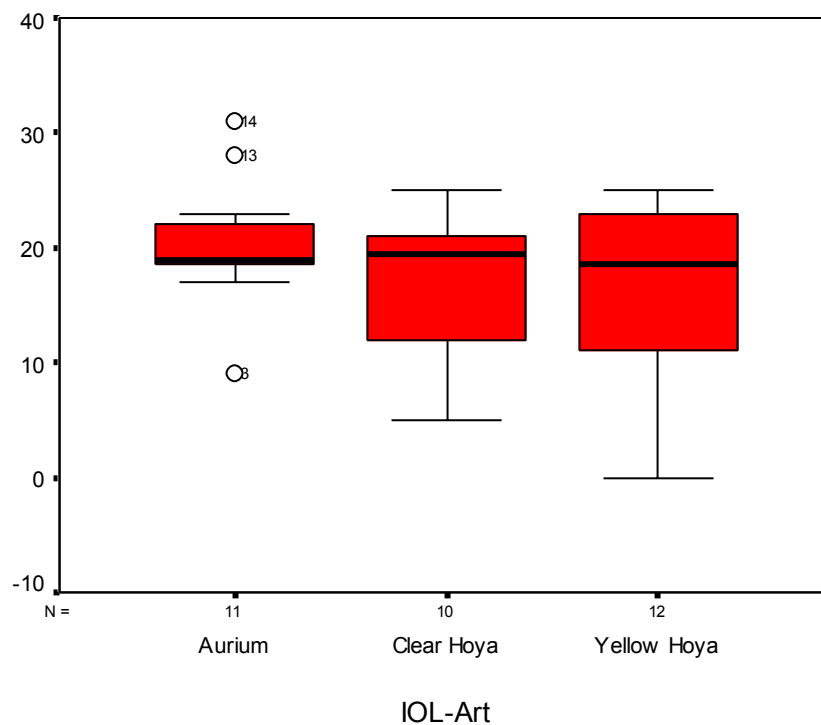
Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,173$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,195$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,987$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.



**Abb. 45:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens in der Nähe mit 25%-iger Kontrasttafel unter niedrig - mesopischen Bedingungen

### **3.12 Kontrastsehen in der Nähe mit 12,5%-iger Kontrasttafel unter niedrig - mesopischen Bedingungen**

Das durchschnittliche Kontrastsehen in der Nähe mit einer 12,5%-igen Kontrasttafel unter niedrig – mesopischen Bedingungen (0,5 lux) betrug für die Aurium IOL  $20,36 \pm 3,87$  (min. 9 bis max. 31), für die klare Hoya  $16,50 \pm 4,66$  (min. 5 bis max. 25) und für die gelbe Hoya  $16,58 \pm 4,82$  (min. 0 bis max. 25). Beim Vergleich zwischen der Aurium IOL und der klaren Hoya ist  $p = 0,165$  und zeigt somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der Aurium IOL und der gelben Hoya ist  $p = 0,196$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen. Zwischen der klaren Hoya und der gelben Hoya ist  $p = 0,978$  und es zeigt sich somit keine Signifikanz zwischen diesen beiden Intraokularlinsen.



**Abb. 46:** Boxplot der statistischen Verteilung des Kontrastsehens in der Nähe mit 12,5%-iger Kontrasttafel unter niedrig - mesopischen Bedingungen

### **3.13 Farbsehen mit desaturiertem Lanthony D-15 Test**

Ein Patient mit gelber Hoya und ein Patient mit klarer Hoya machten jeweils einen Fehler. Die Patienten mit der photochromatischen Aurium IOL absolvierten den Test ohne Fehler. Es zeigte sich aber kein signifikanter Unterschied zwischen diesen drei Gruppen.

## 4 Diskussion

Die Katarakt ist eine Trübung der Linse die zu einer starken Sehverschlechterung der Patienten mit einer Einschränkung der alltäglichen Tätigkeiten führt. Mit 90% aller Katarakte ist der graue Altersstar die häufigste Ursache einer Visusverminderung im höheren Alter. Die Inzidenz beträgt bei den über 70-jährigen 5%, bei den über 80-jährigen schon 10% und sie nimmt mit dem Alter kontinuierlich zu. Durch die immer höhere Lebenserwartung steigt damit auch die Inzidenz in der Gesamtbevölkerung.

Die einzig therapeutische Möglichkeit zur Verbesserung der Sehkraft liegt in einer chirurgischen Entfernung der getrübten Linse. Die Kataraktoperation ist heutzutage die weltweit häufigste durchgeführte Operation. Durch die Einführung moderner operativer Methoden, wie z.B. der Phakoemulsifikation, und Weiterentwicklung von faltbaren Intraokularlinsen, die anstatt der natürlichen Linsen eingesetzt werden, konnte nicht nur das Risiko von intra- und postoperativen Komplikationen verringert werden sondern es führte auch zu einer wesentlichen Verbesserung der Sehkraft. Die Dioptriestärke der Intraokularlinsen wird für jeden Patienten individuell bestimmt, so dass oftmals nach der Operation keine Brille für die Ferne mehr von Nöten ist.

Die Trübung der Linse spiegelt nicht nur einen negativen Effekt des Älterwerdens dar, sondern sie bildet auch einen wichtigen Schutzmechanismus für die Netzhaut gegenüber phototoxischen Schäden.

Die Hornhaut absorbiert Licht bis zu einer Wellenlänge von 300 nm. Bei einer jungen Linse dringt dieses Licht ungehindert bis zur Netzhaut vor. Durch eine Licht induzierte Quervernetzung von wasserunlöslichen Aggregaten kommt es zu einer Trübung mit Filterfunktion der Linse. Diese Linse ist nun in der Lage nicht nur schädigende UV-Strahlen (295 – 380 nm) sondern auch kurzwelliges hochaktives blaues Licht zu filtern. Durch den Austausch der natürlichen Linse mit einer klaren IOL geht diese Filterfunktion verloren.

Studien haben belegt, dass nach einer Kataraktoperation mit Entfernung der natürlichen Linse, das Risiko einer altersbedingten Makuladegeneration erhöht ist. *Wang et al.* [65] untersuchte den Zusammenhang zwischen Kataraktoperation und AMD. Dabei verglich er die Daten von 2 Kohortenstudien, der Beaver Dam Eye Study und der Blue Mountains Eye Study. Die Beaver Dam Eye Study beinhaltet 4926 Personen über 43 Jahre und die Blue Mountains Eye Study 3654 Menschen über 49 Jahre. Nach 5 Jahren wurden bei der Beaver Dam Eye Study 3684 und bei der Blue Mountains Eye Study 2335 Personen nachuntersucht. Dabei stellte sich heraus, dass bei 6,0% bis 7,5% der kataraktoperierten Augen und nur 0,7% der nicht operierten Augen eine AMD mit Neovaskularisation oder geographischen Atrophien eintrat. Damit unterstützte Wang die Hypothese, dass die Inzidenz, an einer AMD zu erkranken, durch eine Kataraktoperation erhöht wird.

*Pollack et al.* [66] untersuchte 24 Patienten mit bilateralen, symmetrischen und frühen Stadien der altersbedingten Makuladegeneration. Bei einem Auge wurde eine extrakapsuläre Kataraktoperation durchgeführt und das zweite Auge diente als Vergleich. Bei neun operierten Augen, im Vergleich zu nur zwei Vergleichsaugen, schritt die AMD voran. Dadurch wurde erkenntlich, dass die Kataraktoperation einen negativen Einfluss auf die Progression einer AMD hat.

Da die Annahme sehr nahe liegt, dass das vermehrte Auftreten und Fortschreiten einer AMD mit dem Verlust des natürlichen Filters, der die phototoxischen Strahlen abschwächt, zusammenhängt, war man bemüht, die künstliche IOL der natürlichen Linse nachzuempfinden. Bereits in den 80-er Jahren wurden gelb gefärbte IOL mit einem Blaulichtfilter eingeführt. Diese schützen zusätzlich zu den UV-Strahlen auch vor kurzweiligem Blaulicht.

1989 untersuchte *Nilsson et al.* [67] retinale Pigmentepithelzellen und Neuroretina von Kaninchen nach einer 3,5 h Lichtexposition mit einer Xenonlampe. Dabei wurde einem Auge des Kaninchens ein klarer PMMA-Filter und dem anderen ein gelber Blaulichtfilter vorgesetzt. Die Augen wurden 1 Tag vor und 4-6 Tage nach der Lichtexposition untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die RPE-Zellen und die Neuroretina der Augen, die durch den Blaulichtfilter geschützt wurden, deutlich weniger geschädigt waren, als jene, die durch den klaren PMMA-Filter geschützt wurden.

Eine ähnliche Versuchsreihe wurde von *Tanito et al.* [68] durchgeführt. Um die protektive Wirkung der gelb gefärbten Linsen zu untersuchen, setzte er Albino-Ratten einem 4,5 k lux starken blau fluoereszierenden Licht mit einer Wellenspitze von 420 nm (kurzwelliges blaues Licht) und 446 nm (langwelliges blaues Licht) für 6 h aus. Einem Auge wurde eine gelbe und dem anderen eine klare Linse dazugefügt. Es stellte sich heraus, dass der gelbe Blaulichtfilter das Auge besser vor kurzwelligem Licht und die daraus resultierenden Schäden schützt als die klaren Linsen.

*Sparrow et al.* [69] untersuchte in vitro die schützende Wirkung von Blaulichtfilter. Dafür verglich er unterschiedliche IOL mit und ohne Blaulichtfilter. Für diese Versuchsreihe benötigte er eine Kultur von humanen RPE-Zellen die er blauen (430 nm  $\pm$  30 nm), grünen (550 nm  $\pm$  10 nm) und weißen (390 nm bis 750 nm) Licht aussetzte. Der Zelltod war bei den mit Blaulichtfilter geschützten Zellen signifikant erniedrigt. Er war sogar noch niedriger als man durch die Lichtabsorption des Filters annehmen hätte können.

Es gibt aber auch Studien die keinen Zusammenhang von Lichtexposition und altersbedingter Makuladegeneration zeigen. *Darzin et al.* [70] untersuchte anhand einer klinischen Studie den Zusammenhang von Lichtexposition und AMD. Er verglich eine Fallgruppe von 409 Personen mit AMD mit einer Kontrollgruppe von 286 Personen ohne AMD. Rückwirkend wurde ermittelt wie lange sie dem Sonnenlicht ausgesetzt waren und zusätzlich wurde noch die Sonnenlichtempfindlichkeit charakterisiert. Diese Studie konnte die Hypothese, dass vermehrtes Sonnenlicht ein Risikofaktor für AMD ist, nicht unterstützen. Es zeigte sich sogar eine vermehrte durchschnittliche Sonnenlichtexposition bei der Kontrollgruppe (865 Stunden / Jahr) als bei der Fallgruppe (723 Stunden / Jahr). Aber es stellte sich heraus, dass sonnenlichtempfindliche und Personen mit hellerer Hautfarbe ein erhöhtes Risiko für eine altersbedingte Makuladegeneration aufweisen. Daraus könnte man schließen, dass die AMD nicht nur von der Quantität und Qualität der Lichtexposition, sondern auch von der Empfindlichkeit des Individuums abhängt.

Eine ähnliche Studie wurde von *Celcourt et al.* [71] durchgeführt. Er untersuchte 2584 Einwohner der Stadt Sète in Südfrankreich. Auch hier stellte sich kein Zusammenhang zwischen vermehrter Lichtexposition und AMD dar. Jedoch bei

Personen die regelmäßig Sonnenbrillen trugen, zeigte sich ein vermindertes Risiko für weiche Drusen.

Es wird nicht nur die schützende Funktion von den gelb – gefärbten Intraokularlinsen mit Blaulichtfilterfunktion diskutiert, sondern es wird oft ein negativer Effekt auf das Sehvermögen angenommen. Vor allem das Kontrast- und das Farbsehen (speziell im Blaulichtbereich) mit den gelben IOL werden oftmals in Frage gestellt. Man nimmt an, dass durch das Filtern von Licht bis zu einer Wellenlänge von 400 nm das Kontrastsehen unter verschiedenen Bedingungen vermindert wird.

Durch die Einführung der photochromatischen Intraokularlinse von Aurium wurden die Vorteile der konventionellen klaren und der gelben IOL miteinander verbunden. Bei dieser neuartigen Linse handelt es sich um ein hydrophobes phototropes Acrylat, dass die Farbe bei Lichtexposition ändert. So ist sie bei wenig Licht oder in der Nacht klar und bei Vorhandensein von UV-Licht gelb. Somit soll das Sehvermögen unter mesopischen Lichtbedingungen, mit zusätzlichem Schutz gegen das kurzwellige blaue Licht unter photopischen Bedingungen, nicht negativ beeinflusst werden.

In der bei uns durchgeführten Studie an der Augenklinik der Medizinischen Universität Graz wurden 30 Patienten mit insgesamt 32 Intraokularlinsen untersucht. Davon waren 11 photochromatische IOL vom Typ Aurium, 9 klare IOL vom Typ Hoya AF-1 UV 60BB und 12 gelb gefärbte IOL mit Blaulichtfilter vom Typ Hoya AF-1 UY 60BB. Das Alter der untersuchten Patienten lag zwischen 44 und 84 Jahren. Als Ausschlusskriterium galten Komorbiditäten wie primäres und sekundäres Glaukom, okuläre Hypertension, Uveitis, Diabetes und Makuladegeneration so wie ein bestkorrigierter Visus  $< 0,8$ . Präoperativ wurde die Refraktion der künstlichen Linse, mit Ziel einer postoperativen Emmetropie, bestimmt. Anschließend unterzog sich jeder dieser Patienten einer komplikationslos verlaufenden Kataraktoperation mittels Phakoemulsifikation und Fixation der IOL in den hinteren Kapselsack. Nach 6 Monaten post OP wurden die Daten für diese Studie ermittelt. Zuerst wurde die Refraktion ermittelt um den bestkorrigierten Visus zu bestimmen. Die nachfolgenden Untersuchungen wurden alle mit bestkorrigierten Visus durchgeführt. Es wurde das Kontrastsehen in der Ferne (3 m und 6 m) unter photopischen und mesopischen Bedingungen mit dem

Pelli – Robson – Test, das Kontrastsehen in der Nähe unter hoch – mesopischen (5 lux) und niedrig – mesopischen (0,5 lux) Bedingungen mit dem Holladay Test und das Farbsehen mittels desaturiertem Lanthony D-15 Test untersucht. Die Daten wurden statistisch aufgearbeitet und untereinander verglichen. Dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Hoya IOL bei den ermittelten Parametern. Zwischen der Aurium IOL und den beiden HOYA IOL zeigte sich jedoch ein signifikanter Unterschied beim bestkorrigierten Visus und beim Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter mesopischen und photopischen Bedingungen zugunsten der photochromatischen IOL.

In der bisherigen Literatur gibt es noch keine Studie, die die Sehqualität von photochromatischen Linsen untersucht. Es wurden stets die klaren mit den gelb gefärbten Intraokularlinsen miteinander verglichen.

*Mester et al.* [72] untersuchte die Unterschiede von Kontrast- und Farbsehen zwischen der Hoya IOL mit Blaulichtfilter und der Hoya IOL ohne Blaulichtfilter. Postoperativ wurde der unkorrigierte und bestkorrigierte Visus, Pupillengröße, Kontrastsehen unter photopischen und mesopischen Bedingungen und das photopische und mesopische Farbsehen mittels des Farnsworth-Munsell 100-hue Test ermittelt. Bis auf das Farbsehen waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Beim Farbsehen war die Farbwahrnehmung im Blaulichtbereich mit der gelben IOL über 12 Monate unter mesopischen und über 6 Monate unter photopischen Bedingungen reduziert. Die Patienten selbst bemerkten aber keine Einschränkung in der Farbwahrnehmung.

*Hayashi K et Hayashi H* [73] untersuchten 74 Patienten mit bilateraler Kataraktoperation mit Implantation von gelber oder klarer Hoya IOL in beide Augen. 2 Wochen und 3 Monate post OP wurden sie auf Sehschärfe, Zyanopsie und Kontrastsehen unter photopischen und hoch - mesopischen Bedingungen untersucht. Bei der Sehschärfe und dem Kontrastsehen stellte sich kein signifikanter Unterschied dar. Jedoch das Auftreten von Zyanopsie war bei den klaren IOL nach 2 Wochen signifikant erhöht. Nach 3 Monaten post OP wurde von keinem Patienten mehr eine Zyanopsie bemerkt.

Ein weiterer Vergleich von der Hoya IOL mit und ohne Blaulichtfilter wurde von *Wohlfahrt et al.* [74] auf der Medizinischen Universität Graz durchgeführt. Untersucht wurden 21 Patienten mit gelber Hoya IOL und 22 Patienten mit klarer

Hoya IOL. 3 Monate post OP wurde der unkorrigierte und bestkorrigierte Visus, mesopisches und photopisches Kontrastsehen, Farbsehen und subjektive Qualität mit Hilfe von Fragebögen bestimmt. Auch in dieser Studie zeigte sich kein signifikanter Unterschied in allen ermittelten Parametern.

Diese 3 Studien unterstützen diese vorliegende Arbeit in der Aussage, dass sich keine signifikanten Unterschiede in der Sehstärke und dem Kontrastsehen zwischen der gelben und der klaren Hoya IOL ergeben. Hierbei sei noch einmal angemerkt, dass sich aber sehr wohl bei der photochromatischen Aurium IOL ein verbesserter bestkorrigierter Visus und verbessertes Kontrastsehen in 3 m unter photopischen und mesopischen Bedingungen ergeben haben.

*Yuan et al.* [75] untersuchte 60 Patienten 6 Monate nach extrakapsulärer Kataraktoperation und Implantation einer gelben oder einer klaren Intraokularlinse auf Sehschärfe, Kontrastsensitivität und Farbwahrnehmung. Bei der gelben IOL zeigte sich eine signifikant erhöhte räumliche Kontrastsensitivität im niedrigeren und mittleren Frequenzbereich. In der Farbwahrnehmung stellte sich kein signifikanter Unterschied dar. Bei der IOL mit Blaulichtfilter war die Inzidenz von postoperativer Photophobie und Zyanopsie erniedrigt.

Eine Studie von Vitrektomien mit kombinierter Kataraktchirurgie mit Implantation einer künstlichen Intraokularlinse wurde von *Falkner-Radler et al.* [76] veröffentlicht. Dabei wurden 60 Patienten auf intra- und postoperative Komplikationen und die postoperativen Ergebnisse wie bestkorrigierte Sehschärfe, Kontrast- und Farbsehen untersucht. Zum Einsatz kamen entweder klare oder gelbe Intraokularlinsen. Es kam zu keiner intra- oder auch postoperativen Komplikation durch den Einsatz der IOL. Bei postoperativen Untersuchungen zeigten sich auch keine Unterschiede in den einzelnen Parametern. Die kombinierte Operation von Vitrektomie und Kataraktoperation ist kein Hindernis für den Einsatz einer IOL mit Blaulichtfilter.

Eine weitere Studie mit bestkorrigierter Sehschärfe, Kontrastsehen und Farbsehen mit gelben und klaren IOL wurde von *Leibovitch et al.* [77] durchgeführt. Dabei wurden 9 Augen mit gelber IOL und 10 Augen mit klarer IOL mit den präoperativen Parametern verglichen. Die Kontrastsensitivität wurde mit dem Pelli – Robson – Test und das Farbsehen mit dem Farnsworth-Munsell D-15 Test ermittelt. Die postoperativen Untersuchungen folgten 1, 3 und 6 Monate post OP. Es zeigten

sich bei beiden Intraokularlinsen signifikante Verbesserungen der drei Parameter im Gegensatz zu den präoperativen Ergebnissen. Vergleich man beide Intraokularlinsen untereinander so wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt.

Diese Studien gehen mit unseren Ergebnissen einher, da bei uns auch keine signifikanten Unterschiede in den untersuchten Parametern zwischen der gelben und der klaren IOL feststellbar waren.

In anderen Studien werden Patienten nach beidseitiger Kataraktoperation mit bilateraler Implantation von zwei unterschiedlichen IOL untersucht. Dabei wurde das Augenmerk auf das Kontrast- und Farbsehen und subjektive Farbwahrnehmung gelegt.

Die Studie von *Wirtitsch et al.* [63] beinhaltet 48 Augen von 24 Patienten. Jedem Patienten wurde aus dem Grund eines bilateralen Altersstars eine gelbe Hoya AF-1 (UY) YA-60BB in ein Auge und ein Monat später eine klare Hoya AF-1 (UV) VA-60BB IOL in das andere Auge implantiert. Die Kontrastsensitivität wurde mit dem Holladay Test mit 100%, 50%, 25%, 12.5% und 6.5% Kontrasttafeln unter der Lichtstärke von 500, 5 und 0,5 lux gemessen. Die Farbwahrnehmung ermittelte man mit dem desaturierten Lanthony D-15 Test, dem Lanthony new color Test (Munsell chroma 2 und 4) und einem Anomaloscop. Die blau / gelb Schwelle der Fovea testete man mit einer automatisierten Kurzwellenperimetrie. Zusätzlich wurde noch der subjektive Eindruck der Patienten mit einem Fragebogen beurteilt. Ein negativer Effekt bei der blau / gelb Schwelle und dem Kontrastsehen zeigte sich bei den IOL mit Blaulichtfilter. Farbwahrnehmung und das Kontrastsehen bei höheren Kontrastunterschieden zeigten keinen signifikanten Unterschied. Bei der Befragung gaben 3 Patienten einen Unterschied zwischen den beiden Linsen an. Zwei von ihnen bemerkten einen gelblichen Ton und einer gab ein schlechteres Sehen in der Dunkelheit mit der gelben IOL an. Alle drei Patienten sind aber dadurch beim räumlichen Sehen nicht eingeschränkt. Der Autor gibt an, obwohl die Unterschiede der beiden IOL nicht groß sind, dass eine bilaterale Implantation von einer klaren und einer gelben Intraokularlinsen zu vermeiden ist.

Aber es gibt auch andere Studien die diese Aussage nicht untermauern. *Mayer et al.* [78] untersuchte 14 Patienten mit bilateraler Katarakt. Ein Auge wurde eine gelbe IOL und ein Monat später wurde dem anderen Auge eine klare IOL

implantiert. Die Ergebnisse dieser Studie beziehen sich auf die Untersuchungen 1 Tag und 4 Wochen nach der Operation. Dabei wurde die Kontrastsensitivität unter mesopischen und hoch-mesopischen Bedingungen in einer Ginsburg Box getestet. Anschließend wurden die Patienten nach dem Befinden mit der IOL befragt. Dabei stellte sich kein signifikanter Unterschied der beiden Intraokularlinsen dar. Auch in der Studie von *Rodríguez-Galietero et al.* [79] konnte kein signifikanter Unterschied zwischen einer IOL mit Blaulichtfilter und einer ohne bei bilateraler Kataraktoperation festgestellt werden. Es wurden insgesamt 40 Augen von 20 Patienten mit je einer gelben und einer klaren IOL untersucht. Drei Monate nach der Operation wurden das Kontrastsehen in der Ferne mit den CSV 1000-E Kontrast Karten und die Farbwahrnehmung mit dem Farnsworth-Munsell 100 Hue Test, ohne signifikanten Unterschied, bestimmt.

Die Studie von *Bhattacharjee et al.* [80] umfasst 26 Augen von 13 Patienten mit bilateraler Katarakt. Einem Auge wurde eine gelbe IOL und dem anderen eine klare IOL eingesetzt. Die endgültigen Ergebnisse wurden 18 Monate nach der Operation ermittelt. Dabei wurden der bestkorrigierte Visus, Farbwahrnehmung und Kontrastsehen untersucht. Eine Gruppe von gleichaltrigen Personen ohne Katarakt wurde als Kontrollgruppe für das Kontrastsehen herangezogen. Verglichen zu den präoperativen Untersuchungen zeigten die postoperativen Ergebnisse eine signifikante Verbesserung der untersuchten Parameter. Vergleich man die IOL untereinander, so war kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Setzte man aber die beiden künstlichen IOL der Vergleichsgruppe gleich, so bemerkte man bei der gelben IOL mit Blaulichtfilter eine bessere Annäherung des Kontrastsehens an die gesunde natürliche Linse als bei der IOL ohne Blaulichtfilter.

*Olson et Miller* [81] berichten von fünf Patienten mit je einer gelben IOL im einen und einer klaren IOL im anderen Auge. Vier von den fünf Patienten bemerkten von selbst aus keinen Unterschied der beiden Intraokularlinsen. Erst nachdem ihnen mitgeteilt wurde, dass sie zwei unterschiedliche Linsen haben, nahmen sie einen Unterschied wahr, der sie aber nicht beeinträchtigt. Der fünfte Patient berichtete, dass bei dem Auge mit der gelben IOL ein beiger Farbton vorhanden ist, der ihn aber beim Sehen nicht einschränkt. Keiner von den Patienten wollte einen Austausch der künstlichen Linse.

Diese Studie an der Augenklinik der Medizinischen Universität Graz konnte zeigen, dass die photochromatischen Intraokularlinsen ein weiterer Schritt in Richtung Zukunft betreffend der Kataraktoperationen sind. Im Verlauf dieser Arbeit konnte nicht nur gezeigt werden, dass die photochromatische Aurium IOL im Bezug der Sehqualität den vergleichenden Hoya IOL mit und ohne Blaulichtfilter ebenbürtig sind, sondern es zeigten sich sogar statistisch signifikante Vorteile im Bezug auf den bestkorrigierten Visus und dem Kontrastsehen aus 3 m Entfernung unter photopischen und mesopischen Bedingungen.

Durch die Kombination der Eigenschaften der klaren Hoya und der gelben Hoya mit Blaulichtfilter – klare, transparente Linse bei Nacht oder wenig Licht und gelbe Linse bei vermehrter Lichtexposition – ist nicht nur ein qualitativ hochwertiges Sehen sondern auch die Möglichkeit des Schutzes der Netzhaut vor Licht induzierter Makuladegeneration gegeben.

Weitere Studien mit erhöhter Fallzahl und einheitlichen Messmethoden wären überlegenswert, um die Ergebnisse der photochromatischen IOL einer höheren Aussagekraft zu verleihen. Es wäre auch noch ein längeres Follow – Up mit Schwerpunkt auf Veränderungen der Makula zu empfehlen, um eine schützende Funktion dieser IOL zu untersuchen.

## 5 Zusammenfassung

Nicht nur die Seh- sondern auch die Lebensqualität wird durch eine Katarakt negativ beeinflusst. Durch verminderte Sehschärfe, vermindertes Kontrast- und Farbsehen und durch vermehrte Blendung wird man in der Arbeit so wie auch im alltäglichen Leben eingeschränkt. Abhilfe hierbei schafft eine Kataraktoperation mit Entfernung der getrübten Linse und Implantation einer künstlichen Intraokularlinse. Durch die fortschrittliche Entwicklung in der Kataraktchirurgie, die nicht nur die Operationstechnik mit Phakoemulsifikation, sondern auch die Entwicklung der faltbaren IOL betrifft, handelt es sich bei dieser Operation meist um einen komplikationslosen Eingriff der auch ambulant durchführbar ist.

Ziel eines solchen chirurgischen Eingriffes ist nicht nur die Verbesserung der Sehqualität, sondern auch der Schutz des Auges vor weiteren Schäden. Man nimmt an, dass kurzwelliges blaues Licht eine toxische Wirkung auf die Netzhaut ausübt. Dabei kommt es zu einer Schädigung und Absterben der retinalen Pigmentepithelzellen, die zu einer altersbedingten Makuladegeneration führen kann. Aus diesem Grund wurden IOL mit Blaulichtfilter, die zusätzlich zu dem UV-Licht auch das toxische kurzwellige blaue Licht filtern, entwickelt. Da solche Intraokularlinsen aber eine gelbe Tönung aufweisen, nimmt man an, dass es dadurch zu einer Verminderung in der Kontrast- und Farbwahrnehmung kommt. Eine logische Konsequenz war eine IOL die die Vorteile einer herkömmlichen klaren IOL mit UV-Filter und einer gelben IOL mit zusätzlichem Blaulichtfilter miteinander verbindet. Eine photochromatische IOL weist diese Eigenschaften auf. In der Nacht oder bei wenig Licht ist sie transparent und bei vermehrter Lichtexposition wird sie gelb und bekommt die Eigenschaft eines Blaulichtfilters.

In dieser Arbeit wurden drei IOL miteinander verglichen. Dabei handelt es sich um eine klare Hoya AF-1 UV 60BB, eine gelbe Hoya AF-1 UY 60BB mit Blaulichtfilter und einer photochromatischen Aurium IOL. Bei dieser Untersuchung wurden folgende Parameter bestimmt: bestkorrigierter Visus in der Ferne, Kontrastsehen in der Ferne unter photopischen und mesopischen Bedingungen, Kontrastsehen in der Nähe unter hoch – und niedrig – mesopischen Bedingungen und das

Farbsehen mittels desaturiertem Lanthony D-15 Test. Die Daten wurden statistisch ausgearbeitet und miteinander verglichen. Dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Hoya ohne und mit Blaulichtfilter. Jedoch die photochromatische IOL vom Typ Aurium zeigte statistisch signifikante Vorteile im Vergleich zu den beiden anderen Intraokularlinsen. Patienten mit der Aurium IOL hatten durchschnittlich einen höheren bestkorrigierten Visus und auch ein besseres Kontrastsehen in 3 m Entfernung unter photopischen und mesopischen Bedingungen.

Da diese neuartige IOL unter Umständen die Netzhaut vor oxidativen Schäden durch aggressives kurzwelliges Licht schützt und zugleich eine bessere Kontrastsensitivität als die zwei vergleichenden IOL aufweist, wäre es empfehlenswert in Zukunft auf diese IOL bei Kataraktoperationen zurückzugreifen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Grehn, Augenheilkunde, Springer, 30. Auflage
2. Lang, Augenheilkunde, Thieme, 3. Auflage
3. Sachsenwenger, Augenheilkunde, Thieme, 2. Auflage
4. Kanski, Klinische Ophthalmologie, Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, 6. Auflage
5. Koelbing HM, Boldness and caution: Jacques Daviel's approach to cataract extraction (1745-1752), Klinische Monatsblätter Augenheilkunde, 1985 Mar; 186: 235-238
6. Obuchowska I., Mariak Z., Jacques Daviel – the inventor of the extracapsular cataract extraction surgery, Klein Oczna 2005; 107-109: 567-571
7. Dr. med. Jörg Stürmer, Operation des grauen Stars – gestern, heute, morgen, Bazillus, 2006 Jun: 3-7
8. Fjodorow S. N., Implantation einer künstlichen Augenlinse, 1. Auflage, Thieme Georg Verlag 1981
9. Pia Gwendolyn Gabriel, Doktorarbeit: Biaxiale Phakoemulsifikation im Rahmen der Kataraktoperation, aus der Klinik für Augenheilkunde im Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langedeek, 2007

10. Pandey S.K., Milverton E.J., Maloof A.J., A tribute to Charles David Kelman MD: ophthalmologist, inventor and pioneer of phacoemulsification surgery, Clin Experiment Ophthalmol. 2004 Oct; 32-35: 529-33
11. Linebarger E.J., Hardten D.R., Shah G.K. Lindstrom R.L., Phacoemulsification and modern cataract surgery, Surv Ophthalmol. 1999 Sep-Oct; 44: 123-147
12. Gimbel H.V., Neuhann T., Development, advantages, and methods of the continuous circular capsulorhexis technique, J Cataract Refract Surgery 1990 Jan; 16: 31-37
13. Wikipedia, die freie Enzyklopädie:  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Linse\\_\(Optik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Linse_(Optik))  
Letzter Zugriff 22.04.2009
14. Kohnen T., Klaproth O.K. Asphärische Intraokularlinsen, Der Ophthalmologe, Volume 105, Number 3, March 2008; 234-240(7)
15. Zeiss, we make it visible,  
<http://zeiss.acritec.eu/intraokularlinsen.42.0.html>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
16. Nijkamp, Dolders, de Brabander J., van den Borne B., Hendrikse F., Nuijts, Effectiveness of multifocal intraocular lenses to correct presbyopia after cataract surgery: a randomized controlled trial, Ophthalmology 2004 Oct; 111: 1832-1839
17. Uthoff D., Gulati A., Hepper D., Holland D., Potentially accommodating 1CU intraocular lens: 1-year results in 553 eyes and literature review, Refract Surg. 2007 Feb; 23: 159-171

18. G. Gerten, A. Michels, A. Olmes, Torische Intraokularlinsen: Klinische Ergebnisse und Rotationsstabilität, *Der Ophthalmologe*, Volume 98, Number 8 / August 2001, 715-720
19. Georg Thieme Verlag Stuttgart New York  
Tehrani M., Dick H.B., Faltbare torische Intraokularlinse mit Z-Haptik zur Korrektur eines hohen Astigmatismus, *Klinische Monatsblatt Augenheilkunde* 2002
20. Tehrani M., Schwenn O. Dick H.B., Toric intraocular lens to correct high astigmatism after penetrating keratoplasty in a pseudophakic eye – a case report, *Klinische Monatsblatt Augenheilkunde* 2001 Dec; 218: 795-799
21. Young RW, Solar radiation and age-related macular degeneratioin, *Surv Ophthalmol.* 1988 Jan-Feb; 32: 252-269
22. Zhou J, Jang YP, Kim SR, Sparrow JR, Complement activation by photooxidation products of A2E, a lipofuscin constituent of the retinal pigment epithelium, *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2006 Oct; 103: 16182-16187
23. Pawlak A, Wrona M, Rózanowska M, Zareba M, Lamb LE, Roberts JE, Simon JD, Sarna T, Comparison of the aerobic photoreactivity of A2E with its precursor retinal, *Photochem Photobiol.* 2003 Mar; 77: 253-258
24. Haralampus-Grynaviski NM, Lamb LE, Clancy CM, Skumatz C, Burke JM, Sarna T, Simon JD, Spectroscopic and morphological studies of human retinal lipofuscin granules, *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2003 Mar; 100: 3179-3184
25. Sparrow JR, Boulton M, RPE lipofuscin and its role in retinal pathobiology, *Exp Eye Res.* 2005 May; 80: 595-606

26. Hünig S, Optimized protection from light-inflicted eye damage. A pressing problem and a simple solution, *Z. prakt. Augenheilkunde* 2008; 29: 197-205
27. Liles MR, Newsome DA, Oliver PD, Antioxidant enzymes in the aging human retinal pigment epithelium, *Arch Ophthalmol.* 1991 Sep; 109: 1285-1288
28. Kaemmerer E, Schutt F, Krohne TU, Holz FG, Kopitz J, Effects of lipid peroxidation-related protein modifications on RPE lysosomal functions and POS phagocytosis, *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, 2007 Mar; 48: 1342-1347
29. Wang Z, Dillon J, Gaillard ER, Antioxidant properties of melanin in retinal pigment epithelial cells, *Photochem Photobiol.* 2006 Mar-Apr; 82: 474-479
30. Augsutin AJ, Dick HB, Winkgen A, Schmidt-Erfurth U, Cause and prevention of oxidative damage to the eye. Current knowledge, *Ophthalmologie* 2001; 98: 776-797
31. Armstrong D, Santangelo G, Connole E, The distribution of peroxide regulating enzymes in the canine eye, *Curr Eye Res.* 1981; 1: 225-242
32. Armstrong D, Hiramitsu T, Gutteridge J, Nilsson SE, Studies on experimentally induced retinal degeneration. 1. Effect of lipid peroxides on electroretinographic activity in the albino rabbit, *Exp Eye Res.* 1982 Aug; 35: 157 – 171
33. Congdon N, O'Colmain B, Klaver CC, Klein R, Muñoz B, Friedman DS, Kempen J, Taylor HR, Mitchell P, Causes and prevalence of visual impairment among adults in the United States, *Arch Ophthalmol.* 2004 Apr; 122: 477-485

34. Loane E, Nolan JM, O'Donovan O, Bhosale P, Bernstein PS, Beatty S, Transport and retinal capture of lutein and zeaxanthin with reference to age-related macular degeneration, *Surv Ophthalmol*, 2008 Jan-Feb; 53: 68-81
35. Rao NA, Thaete LG, Delmage JM, Sevanian A, Superoxide dismutase in ocular structures, *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1985 Dec; 26: 1778-1781
36. Atalla LR, Sevanian A, Rao NA, Immunohistochemical localization of glutathione peroxidase in ocular tissue, *Curr Eye Res*, 1988 Oct; 7: 1023-1027
37. Kaul K, Lam KW, Fong D, Lok C, Berry M, Treble D., Ascorbate peroxidase in bovine retinal pigment epithelium and choroids, *Curr Eye Res*. 1988 Jul; 7: 675-679
38. Liles MR, Newsome DA, Olivier PD, Antioxidant enzymes in the aging human retinal pigment epithelium, *Arch Ophthalmol*. 1991 Sep; 109: 1285-1288
39. Organisciak DT, Wang HM, Kou AL, Ascorbate and glutathione levels in the developing normal and dystrophic rat retina: effect of intense light exposure, *Curr Eye Res*. 1984 Jan; 3: 257-267
40. Stephens RJ, Negi DS, Short SM, van Kuijk FJ, Dratz EA, Thomas DW, Vitamin E distribution in ocular tissues following long-term dietary depletion and supplementation as determined by microdissection and gas chromatography-mass spectrometry, *Exp Eye Res*. 1988 Aug; 47: 237-245
41. Tso MO, Woodford BJ, Lam KW, Distribution of ascorbate in normal primate retina and after photic injury: a biochemical, morphological correlated study, *Curr Eye Res*. 1984 Jan; 3: 181-191

42. Andley UP, Clark BA, Generation of oxidants in the near-UV photooxidation of human lens alpha-crystallin, Invest Ophthalmol Vis Sci. 1989 Apr; 30: 706-713
43. Ayala MN, Michael R, Söderberg PG, In vivo cataract after repeated exposure to ultraviolet radiation, Exp Eye Res. 2000 Apr; 70: 451-456
44. De La Paz MA, Anderson RE, Lipid peroxidation in rod outer segments. Role of hydroxyl radical and lipid hydroperoxides, Invest Ophthalmol Vis Sci. 1992 Jun; 33: 2091-2096
45. De La Paz MA, Anderson RE, Region and age-dependent variation in susceptibility of the human retina to lipid peroxidation, Invest Ophthalmol Vis Sci. 1992 Dec; 33: 3497-3499
46. Van Kuijk FJ, Buck P. Fatty acid composition of the human macula and peripheral retina, Invest Ophthalmol Vis Sci. 1992 Dec; 33: 3493-3496
47. Pollack A, Marcovich A, Bukelman A, Oliver M, Age-related macular degeneration after extracapsular cataract extraction with intraocular lens implantation, Ophthalmology. 1996 Oct; 103: 1546-1554
48. Wang JJ, Klein R, Smith W, Klein BE, Tomany S, Mitchell P, Cataract surgery and the 5-year incidence of late-stage age-related maculopathy: pooled findings from the Beaver Dam and Blue Mountains eye studies, Ophthalmology. 2003 Oct; 110: 1960-1967
49. Klein R, Klein BE, Jensen SC, Cruickshanks KJ, The relationship of ocular factors to the incidence and progression of age-related maculopathy, Arch Ophthalmol. 1998 Apr; 116: 506-513
50. Tanito M, Kaidzu S, Anderson RE, Protective effects of soft acrylic yellow filter against blue light-induced retinal damage in rats, Exp Eye Res. 2006 Dec; 83: 1493-1504

51. Wikipedia, die freie Enzyklopädie:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wellenfrontanalyse>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
52. Wikipedia, die freie Enzyklopädie:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Abbildungsfehler>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
53. Taketani F, Matuura T, Yukawa E, Hara Y, Influence of intraocular lens tilt and decentration on wavefront aberrations, *Cataract Refract Surg.* 2004 Oct; 30: 2158-2162
  
54. Oshika T, Kawana K, Hiraoka T, Kaji Y, Kiuchi T, Ocular higher-order wavefront aberration caused by major tilting of intraocular lens, *Am J Ophthalmol.* 2005 Oct; 140: 744-746
  
55. Dr. Michael Kaschke (Carl Zeiss AG); KSOP – University of Karlsruhe (TH), *Refraktion und Aberration des Auges*
  
56. Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille JF, Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wavefront sensor, *J Opt Soc Am Opt Image Sci Vis.* 1994 Jul; 11: 1949-1957
  
57. Marcos S, Rosales P, Llorente L, Barbero S, Jiménez-Alfaro I, Balance of corneal horizontal coma by internal optics in eyes with intraocular artificial lenses: evidence of a passive mechanism, *Vision Res.* 2008 Jan; 48: 70-79
  
58. Kelly JE, Mihashi T, Howland HC, Compensation of corneal horizontal/vertical astigmatism, lateral coma, and spherical aberration by internal optics of the eye, *J Vis.* 2004 Apr; 4: 262-271
  
59. Smith G, Cox MJ, Claver R, Garner LF, The spherical aberration of the crystalline lens of the human eye, *Vision Res.* 2001 Jan; 41: 235-243

60. Rockmed  
<http://www.rockmed.nl/Ourproducts/IOL/Hoyablue/Hoyablue.html>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
61. Rockmed  
<http://www.rockmed.nl/Ourproducts/IOL/Hoyayellow/Hoyayellow.html>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
62. Argonoptics  
<http://www.argonoptics.com/Acryl-IOL-hydrophobe.31.0.html>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
63. Wirtitsch MG, Schmidinger G, Prskavec M, Rubey M, Skorpik F, Heinze G, Findl O, Karnik N, Influence of Blue Light – Filtering Intraocular Lenses on Color Perception and Contrast Acuity, *Ophthalmology*. 2009 Jan; 116: 39-45
  
64. Wenzl E, Wohlfart C, Vidic B, Zalaudek K, El-Shabrawi Y, Wirtitsch MG, Wedrich A, Ardjomand N, Colour vision and contrast sensitivity with photochromatic IOL, *Spektrum der Augenheilkunde* 2009 Jan; 23: 17-20
  
65. Wang JJ, Klein R, Smith W, Klein BE, Tomany S, Mitchell P, Cataract surgery and the 5-year incidence of late-stage age-related maculopathy: pooled findings from the Beaver Dam and Blue Mountains eye studies, *Ophthalmology*. 2003 Oct; 110: 1960-1967
  
66. Pollack A, Marcovich A, Bukelman A, Oliver M, Age-related macular degeneration after extracapsular cataract extraction with intraocular lens implantation, *Ophthalmology*. 1996 Oct; 103: 1546-1554
  
67. Nilsson SE, Textorius O, Andersson BE, Swenson B, Clear PMMA versus yellow intraocular lens material. An electrophysiologic study on pigmented rabbits regarding “the blue light hazard”, *Prog Clin Biol Res*. 1989; 314: 539-553

68. Tanito M, Kaidzu S, Anderson RE, Protective effects of soft acrylic yellow filter against blue light-induced retinal damage in rats, *Exp Eye Res.* 2006 Dec; 83: 1493-1504
69. Sparrow JR, Miller AS, Zhou J, Blue light - absorbing intraocular lens and retinal pigment epithelium protection in vitro, *J Cataract Refract Surg.* 2004 Apr; 30: 873-878
70. Darzin P, Mitchell P, Heller RF, Sun exposure and age-related macular degeneration. An Australian case-control study. *Ophthalmology.* 1997 May; 104: 770-776
71. Delcourt C, Carrière I, Ponton - Sanchez A, Fourrey S, Lacroux A, Papoz L; POLA Study Group, Light exposure and the risk of age - related macular degeneration: the Pathologies Oculaires Liées à l'Age (POLA) study, *Arch Ophthalmol.* 2001 Oct; 119: 1463-1468
72. Mester U, Holz F, Kohnen T, Iohmann C, Tetz M, Intraindividual comparison of blue-light filter on visual function: AF-1 (UY) versus AF-1 (UV) intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2008 Apr; 34: 608-615
73. Hayashi K, Hayashi H, Visual function in patients with yellow tinted intraocular lenses compared with vision in patients with non-tinted intraocular lenses, *Br J Ophthalmol.* 2006 Aug; 90: 1019-1023
74. Wohlfahrt C, Tschuschnig K, Fellner P, Weiss K, Vidic B, El-Shabrawi Y, Ardjomand N, Visual function with blue light filter IOL, *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 2007 Jan; 224: 23-27
75. Yuan Z, Reinach P, Yuan J, Contrast sensitivity and color vision with a yellow intraocular lens, *Am J Ophthalmol.* 2004 Jul; 138: 138-140

76. Falkner-Radler CI, Benesch T, Binder S, Blue light-filter intraocular lenses in vitrectomy combined with cataract surgery: results of randomized controlled clinical trial, *Am J Ophthalmol*. 2008 Mar; 145: 499-503
77. Leibovitch I, Lai T, Porter N, Pietris G, Newland H, Selva D, Visual outcomes with the yellow intraocular lens, *Acta Ophthalmol Scand*. 2006 Feb; 84: 95-99
78. Mayer S, Wirbelbauer C, Pham DT, Functional results after intraocular lens implantation with or without blue light filter: an intraindividual comparison, *Klinische Monatsblätter Augenheilkunde*, 2006 Feb; 223: 142-146
79. Rodríguez-Galietero A, Montés-Micó R, Muñoz G, Albarrán-Diego C, Comparison of contrast sensitivity and color discrimination after clear and yellow intraocular lens implantation, *J Cataract Refract Surgery*, 2005 Sep; 31: 1736-1740
80. Bhattacharjee H, Bhattacharjee K, Medhi J, Visual performance: Comparison of foldable intraocular lenses, *J Cataract Refract Surgery*, 2006 Mar; 32: 451-455
81. Olson MD, Miller KM, Implanting a clear intraocular lens in one eye and a yellow lens in the other eye: a case series, *Am J Ophthalmol*, 2006 May; 141: 957-958
82. Augenheilkunde Medizinische Universität Graz
83. Waldner Optik  
<http://www.daischerja.ch/akkommodation.jpg>  
Letzter Zugriff 22.04.2009

84. The Foundation Of The American Academy Of Ophthalmology  
<http://www.aaofoundation.org/what/heritage/exhibits/online/cataract/images/antiquity.gif>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
85. Universität Wien  
<http://www.univie.ac.at/sozialgeschichte-medizin/propst/pic/Starstich.jpg>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
86. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
[http://www.gesch.med.uni-erlangen.de/messer/ausstell/star/\\_bild/i\\_star18x.jpg](http://www.gesch.med.uni-erlangen.de/messer/ausstell/star/_bild/i_star18x.jpg)  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
87. Rayner Surgical GmbH  
[http://www.rayner-surgical.de/Historie\\_4.html](http://www.rayner-surgical.de/Historie_4.html)  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
88. Augenklinik Tausendfensterhaus, Dr. Klein GmbH Duisburg  
<http://www.augenklinik-tausendfensterhaus.de/krankheitsbilder-und-ihre-behandlung/der-graue-starkatarakt.html>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
89. OphthalmologyWeb  
<http://www.ophthalmologyweb.com/Images/Miscellaneous/tecnis.jpg>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
90. UCLA Laser Refractive Center at Jules Stein Eye Institute  
<http://www.uclaser.com/images/rezoom%20iol%20picture.jpg>  
Letzter Zugriff 22.04.2009

91. Mimler C, Spritzgießbare Polymere für faltbare Intraokularlinsen –  
Materialauswahl mit Hilfe rheologischer Methoden  
[http://www.lsp.uni-erlangen.de/deutsch/projekte/mimler/  
Projektzusammenfassung\\_de.html](http://www.lsp.uni-erlangen.de/deutsch/projekte/mimler/Projektzusammenfassung_de.html)  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
92. Hoya  
[http://www.hoya-medical.eu/front\\_content.php?idcat=16](http://www.hoya-medical.eu/front_content.php?idcat=16)  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
93. Argonoptics  
<http://www.argonoptics.com/Acryl-IOL-hydrophobe.31.0.html>  
Letzter Zugriff 22.04.2009
  
94. Pelli DG, Robson JG, Wilkins AJ, The Design of a new letter chart for  
measuring contrast sensitivity, Clinical Vision Sciences, 1988; 2:  
187-199
  
95. Visus GmbH  
[http://s34027642.shoplite.de/sess/utn;jsessionid=1549ef4cd086ba4/sho  
pdata/index.shopscrip](http://s34027642.shoplite.de/sess/utn;jsessionid=1549ef4cd086ba4/shopdata/index.shopscrip)  
Letzter Zugriff 22.04.2009

# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name	Thomas Mark
Geboren	11. Mai 1982 in Klagenfurt
Familienstand	ledig
Staatsbürgerschaft	Österreich
Wohnanschrift	Walter – Goldschmidt – Gasse 57, 8042 Graz Tel. Nr.: 0650 / 55 10 267 e-mail: tommy.mark@gmail.com

## Schulbildung

1988 – 1992	Volksschule in Klagenfurt – Viktring, Kärnten
1992 – 2000	BRG Klagenfurt – Viktring, Matura im Juni 2000
2001 – heute	Studium der Humanmedizin an der Medizinischen Universität Graz (derzeit im 3. Studienabschnitt)

## Zivildienst

2000 – 2001	Zivildienst im Rettungsdienst beim Roten Kreuz Kärnten, Bezirksstelle Klagenfurt
-------------	--

## Ehrenamtliche Tätigkeiten

2001 – 2008	Rotes Kreuz Kärnten, Bezirksstelle Klagenfurt
-------------	---

## **Medizinisch berufliche Tätigkeiten**

2006 – 2008            geringfügige Beschäftigung am Institut für Pathologie in der  
Arbeitsgruppe der Gewebebank

2008 – heute            geringfügige Beschäftigung an der Biobank der  
Medizinischen Universität Graz

## **Weitere Kenntnisse**

Sprachen                Englisch: fließend in Wort und Schrift

EDV-Kenntnisse        MS Office<sup>®</sup>, Statistik (SPSS<sup>®</sup>), Datenbank (FileMakerPro<sup>®</sup>),  
AuraWeb<sup>®</sup>, Medocs<sup>®</sup>

**Hobbys**                Fußball, Tennis, Tauchen, Schwimmen, Schifahren,  
Wandern, Klettern