

Asphärische Intraokularlinsen

Im Laufe der letzten Jahre wurden die Verfahren zur Implantation von Intraokularlinsen (IOL) sowie das Linsendesign selbst immer weiter verbessert. Moderne Verfahren und Materialien bieten Sicherheit, Stabilität, Effektivität und Vorhersagbarkeit [25, 26, 40]. Daher richtet sich ein Hauptaugenmerk der klinischen Forschung inzwischen auf den Bereich der postoperativen optischen Qualität der Patienten, also der „Güte des funktionellen Sehens“ [10].

Ein Ansatz sind dabei die asphärischen Intraokularlinsen (AIOL). Diese sollen für die optische Qualität wichtige Sehfunktionen wie das Kontrastsehen und die nächtliche Blendempfindlichkeit verbessern. Ein Überblick über das Wirkprinzip dieser Linsen und einige Beispiele sollen im folgenden Artikel aufgezeigt werden.

Asphärizität/Asphärizität des Auges

Definition der Asphäre

Die in der Ophthalmologie verwendeten asphärischen Optiken sind meist rotationssymmetrische Flächen, die von der Kugelform (sphärische Fläche) abweichen. Die Krümmungsradien einer solchen Fläche ändern sich kontinuierlich. Als Maß für diese Änderung der Krümmungsradien dient die konische Konstante Q , die sich aus den Kenngrößen der (asphärischen) Ellipse ableitet (■ **Abb. 1**). Dabei unterscheidet man 3 Fälle:

- 1 $Q=0$. Es handelt es sich um eine sphärische Fläche.

- 2 Ellipsoide Asphärizität: a) $Q>0$. Es liegt eine oblate Ellipse vor, die zentralen Krümmungsradien sind größer als die peripheren und b) $-1<Q<0$. Die zentralen Krümmungsradien sind kleiner als die peripheren, man spricht von einer prolaten Ellipse.
- 3 Die nicht ellipsoiden Fälle einer Asphäre: a) $Q<-1$ (hyperbolisch) und b) $Q=-1$ (parabolisch), die Krümmungsradien sind hier peripher ebenfalls größer als zentral.

Abbildungsfehler

In der Optik versteht man unter Abbildungsfehlern oder Aberrationen Abweichungen von der idealen optischen Abbildung, die ein unscharfes oder verzerrtes Bild bewirken. Aberration (aus dem Lateinischen „ab“: von, und „errare“: umherirren) bedeutet wörtlich „von dem richtigen Weg abwandern“. Diese Abbildungsfehler werden vereinfacht in zwei Kategorien (niederer und höherer Ordnung) eingeteilt. Die Aberrationen niederer Ordnung (ANO) sind die Verkippung (1. Ordnung) und die den bekannten Refraktionsfehlern Sphäre und Zylinder entsprechenden Abbildungsfehler 2. Ordnung (Defokus und Astigmatismus). Alle weiteren Abbildungsfehler (z. B. sphärische Aberration (SA), Koma, Trefoil, etc. werden als Aberrationen höherer Ordnung (AHO) bezeichnet. Die Einteilung der Ordnungen leitet sich hierbei von der tabellarischen Darstellung der *Zernike*-Polynome ab, deren Bedeutung und klinische Relevanz bereits eingehend beschrieben wurden [7, 8]. Für die Betrachtung der Wirkung von asphärischen Intraokularlinsen ist primär die SA von In-

teresse, weshalb auf eine Beschreibung der anderen AHO verzichtet wird. Der interessierte Leser sei hier auf die Arbeiten von Bühren und Kohnen 2007 [7, 8] verwiesen.

Sphärische Aberration

Die sphärische Aberration (Öffnungsfehler), bewirkt, dass achsparallel einfallende oder vom gleichen Objektpunkt auf der optischen Achse ausgehende Lichtstrahlen nach dem Durchgang durch ein optisches System nicht die gleiche Schnittweite haben. Dabei ist zu beachten, dass dies nicht nur für sphärische, sondern auch für asphärische Flächen zutreffen kann. Von positiver SA spricht man, wenn die Randstrahlen eine geringere bildseitige Schnittweite als die zentralen Strahlen aufweisen. Anders bei negativer SA: Hier werden die Randstrahlen weniger stark gebrochen als die zentralen Strahlen. Durch die Wahl einer entsprechenden Asphärizität kann man die SA an die jeweiligen Anforderungen an das optische System anpassen.

Okuläre Aberrationen höherer und niederer Ordnung

Im optischen System Auge treten alle bekannten Abbildungsfehler auf, wobei deren Stärke und Gewichtung individuell sehr verschieden sind [49]. Im Folgenden soll wiederum hauptsächlich auf die SA eingegangen werden, da sie für das Verständnis des Wirkprinzips von asphärischen Intraokularlinsen von zentraler Bedeutung ist.

Den größten Anteil an der Lichtbrechung des Auges hat mit ca. 40 dpt die

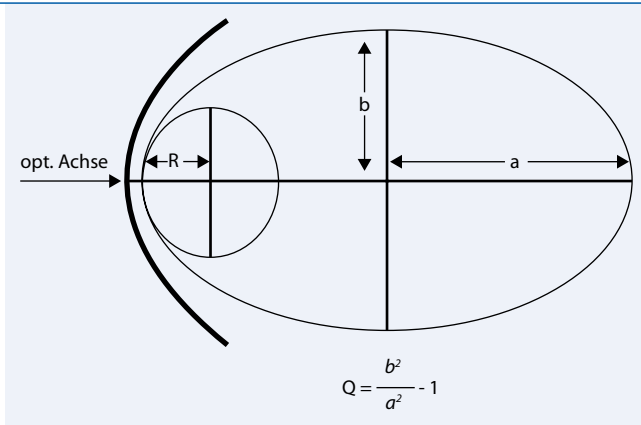


Abb. 1 ▲ Parameter der Ellipse

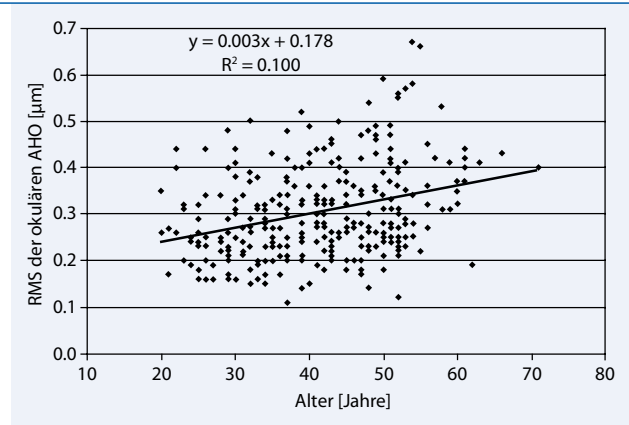


Abb. 2 ▲ Okuläre AHO RMS [μm] in Abhängigkeit vom Alter [50]

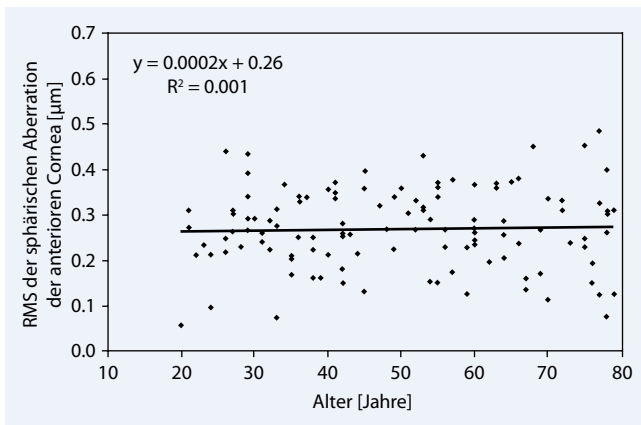


Abb. 3 ▲ SA der anterioren Kornea [μm] [49]

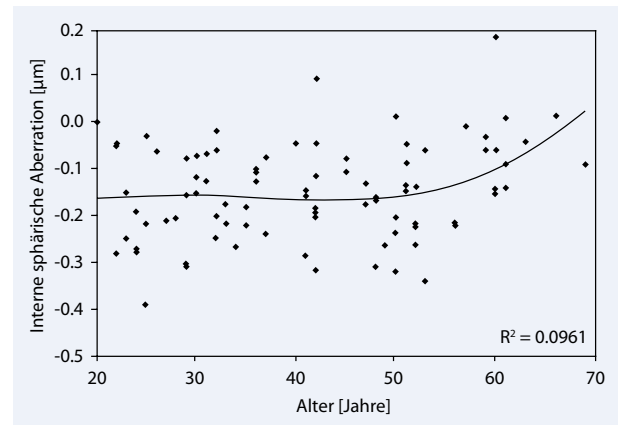


Abb. 4 ▲ Innere okuläre SA [μm] in Abhängigkeit vom Alter [51]

Kornea. Die SA der Kornea ist positiv und verändert sich im Alter wenig bis gar nicht [3, 32, 49].

Die junge Augenlinse hingegen hat eine negative SA [46]. Dies führt dazu, dass sich die SA von Hornhaut und junger Linse gegenseitig kompensieren [35]. Mit zunehmendem Alter verändert sich die SA der natürlichen Augenlinse allerdings zum positiven hin [3, 4, 14, 15, 35]. Der Kompensationseffekt nimmt ab und die gesamte AHO des Auges (und damit auch die SA) steigen an [3, 4, 50] (■ Abb. 2, 3, 4).

Optische Qualität

Unter der optischen Qualität versteht man die funktionelle Fähigkeit des visuellen Systems, den gegebenen Anforderungen entsprechend ausreichend bis gut zu sehen [23, 24]. Zur Bewertung der optischen Qualität stehen verschiedene Kriterien zur Verfügung, die sich im Wesentlichen in zwei Kategorien einteilen lassen:

Die erste Kategorie beinhaltet die objektiven Messgrößen. Ein Weg zur Umschreibung der optischen Qualität ist die Angabe der Größe und Gewichtung der einzelnen sowie der gesamten Aberrationen höherer Ordnung. Zu nennen ist hier die Standardabweichung des Gesamtfehlers der Wellenfront. Diese wird als RMS („root mean square“ – Wurzel aus der quadrierten Summe der Einzelabweichungen) bezeichnet [7, 8]. Zur Angabe der optischen Qualität ist dieser Gesamtwert allein allerdings ungeeignet [1]. Die Aberrationen können auch getrennt nach Ordnungen oder Gruppen (je nach Fragestellung) angegeben werden (z. B. RMS der AHO der 3., 4. oder 5. Ordnung). Einzelne Aberrationen werden mit ihren Gewichtungsfaktoren [μm] am Gesamtwellenfrontfehler angegeben [1]. Anstatt der RMS-Werte werden zur Veranschaulichung oft auch die Modulationsübertragungsfunktion (MTF) und die Punktbildverwaschungsfunktion (PSF) dargestellt [10]. Die MTF beschreibt im Wesent-

lichen die Kontrastübertragung eines optischen Systems [9]. Eine einfachere, aber etwas weniger aussagefähige Größe ist die *Strehl*-Definitions-helligkeit, die das Verhältnis der von einem idealen optischen (nur beugungsbegrenzten) System übertragenen Maximalintensität zu dem Intensitätsmaximum der PSF angibt [28].

Die zweite Kategorie der Parameter, die zur Beurteilung der optischen Qualität herangezogen werden können, ist die der subjektiven Größen. Die bekannteste ist die zentrale Trennschärfe (Visus). Diese allein ist wiederum nicht ausreichend, um die optische Qualität des visuellen Systems zu beschreiben [12, 22, 43, 44]. Als weitere Größe von Bedeutung hat sich in verschiedenen Studien die Kontrastempfindlichkeit (KE) herausgestellt [2, 22, 34, 35, 44]. Die KE ist abhängig von Kontrast und Ortsfrequenz, aber auch von der Kontrastübertragung im visuellen System. Sie kann mittels verschiedener Tests für verschiedene Bedingungen (z. B. mit und ohne Blendung, bei mesopischen oder pho-

Tab. 1 Beispiele für monofokale Null SA AIOL								
Hersteller	Bezeichnung	Material	Durchmesser [mm]	Durchmesser optische Zone [mm]	Wirkung [dpt]	Aufbau	SA [μm]	Asphärische Fläche
Acri.Tec	Acry.Lyc LC Acri.Smart LC	Acrylat mit 25% Wassergehalt, hydrophobe Oberfläche	Verschiedene Linsen mit verschiedenen Größen und Wirkspektren, 1-teilig, alle mit Null SA					
Bausch & Lomb	SoftPort AOV	Silikon	13	6	0–34	3-teilig	0,00	Anterior
	Akreos AO Mi60	Acryl-Material mit 26% Wasseranteil	10,5–11,0	5,6–6,2	10–30	1-teilig	0,00	Beide
	Akreos AO	Acrylat mit 26% Wassergehalt	10,5–11	6	0–30	1-teilig	0,00	Beide
Rayner	C-flex 970 C	Hydrophiles Acrylat	12	5,75	18–34	1-teilig	0,00	Anterior
	Superflex 920 H	Hydrophiles Acrylat	12,5	6,25	(–10)–22	1-teilig	0,00	Anterior
Technomed	EasAcryl 100 Plus HsA	Acryl, 26% Wasseranteil mit hydrophober Oberfläche	12,5	6	(–5)–35	1-teilig	0,00	Anterior

Tab. 2 Beispiele für monofokale SA kompensierende AIOL								
Hersteller	Bezeichnung	Material	Durchmesser [mm]	Durchmesser optische Zone [mm]	Wirkung [dpt]	Aufbau	SA [μm]	Asphärische Fläche
Acri.Tec	Acri.Lyc A Acri.Smart A	Acrylat mit 25% Wassergehalt, hydrophobe Oberfläche	Verschiedene Linsen mit verschiedenen Größen, Wirkspektren und Haptiken, alle mit negativer SA					
Alcon	AcrySof IQ SN60WF	Kopolymer Acrylat/Methacrylat Hydrophobes Acryl, Wassergehalt <0,3%	13	6	6–30	1-teilig	–0,20	Posterior
AMO	Tecnis ZA 9003	Hydrophobes, Acrylat	13	6	10–30	3-teilig	–0,27	Anterior
	Tecnis Z 9002	Silikon	13	6	5–30	3-teilig	–0,27	Anterior
Carl Zeiss Meditec	XL Stabi ZO	Hydrophiles Acrylat	10,5	6	10–30	1-teilig	negativ	Posterior
	Invent ZO	Hydrophiles Acrylat	10,5	6,0	10–30	1-teilig	negativ	Posterior
Hoya	AF-1	Hydrophobes Acrylat	12,5	6	6–30	3-teilig	progressiv negativ	Anterior

Tab. 3 Beispiele für monofokale customized AIOL								
Hersteller	Bezeichnung	Material	Durchmesser [mm]	Durchmesser optische Zone [mm]	Wirkung [dpt]	Aufbau	SA [μm]	Asphärische Fläche
Acri.Tec	Acri.Smart 36 A 100 SV	Acrylat mit 25% Wassergehalt, hydrophobe Oberfläche	11	6	0–32	1-teilig	Customized	Beide

topischen Beleuchtungsbedingungen) ermittelt werden [22, 43, 44]. Die Kontrastempfindlichkeit nimmt mit dem Alter ab [31, 35]. Dies ist einer der Gründe für die sich mit dem Alter verschlechternde optische Qualität. Ein weiterer ist die oben beschriebene Veränderung der Aberrationen der Augelinse [4, 15, 16, 35].

Außerdem lassen sich weitere Faktoren aus beiden Kategorien, wie Blendempfindlichkeit, Nachtsehen, „pupil-fraction indi-

ces“, die funktionelle Fähigkeit zur Stereopsis und mehr [9, 28, 44] zur Bewertung der optischen Qualität heranziehen.

Asphärische IOL (AIOL)

Prinzipien

Sphärische Intraokularlinsen induzieren, wie jede sphärische Linse, eine positive sphärische Aberration und wirken daher

(in dieser Beziehung) genau wie die alte, sich verändernde natürliche Augenlinse. Somit kann eine sphärische IOL in dieser Hinsicht nicht zur Verbesserung der Bildqualität beitragen [16]. Man kann daher davon ausgehen, dass es sinnvoll ist, Intraokularlinsen in ihrem aberrometrischen Verhalten der juvenilen Augenlinse nachzuempfinden [16]. Indem man also AIOL mit negativer sphärischer Aberration implantiert, kann man die positive

sphärische Aberration der Kornea kompensieren [29, 35]. Dadurch verbessert sich auch die optische Qualität des visuellen Systems [17, 20, 21, 39]. Da allerdings die individuellen Unterschiede der AHO des Auges sehr groß sind, ist es sinnvoll, nicht nur eine bestimmte Asphärität zu wählen, sondern diese den jeweiligen kornealen Gegebenheiten eines Patienten anzupassen [48]. Auch sollten die Interaktionen zwischen den verschiedenen AHO berücksichtigt werden, eine Berechnung der Linsenastigmatizität nur aufgrund der SA kann zu unerwünschten Verschlechterungen der optischen Qualität führen [1, 48].

Intraokularlinsen-Produkte

Derzeit sind verschiedene asphärische aberrationskorrigierende Intraokularlinsen auf dem Markt erhältlich (■ Tab. 1, 2, 3).

Die Intraokularlinsen lassen sich, bezogen auf die SA, nach 4 Wirkprinzipien unterteilen:

- 1 *Sphärische IOL*: Alle sphärischen IOL induzieren eine positive SA. Abhängig ist die SA dabei von der dioptrischen Wirkung und der Größe der optischen Zone.
- 2 *SA neutrale AIOL*: Diese IOLs besitzen einen negativen Q-Wert, der so gewählt ist, dass von der IOL selbst keine SA induziert wird. Im System Hornhaut – Linse kommt somit nur die SA der Kornea zum Tragen, die gesamt SA ist demnach positiv. (z. B. Bausch & Lomb SoftPort AOV)
- 3 *SA kompensierende AIOL*: Die SA dieser Intraokularlinsen wird komplementär zu der SA der Kornea gestaltet. Der Q-Wert ist hier stärker negativ als bei den SA-neutralen AIOL. Geht der Hersteller beispielsweise von einer kornealen SA von $+0,2 \mu\text{m}$ aus, so wird die Linse mit einer SA von $-0,2 \mu\text{m}$ gestaltet (z. B. Alcon AcrySof IQ SN60WF). Auch Varianten mit einer progressiven Veränderung der SA über die Linsenfläche gehören zu dieser IOL-Kategorie, da die Änderung der SA hier nicht, wie beim Typ 4, von den individuellen Parametern des Patienten abhängig gemacht wird. Die Progression dient zur besseren Kom-

Ophthalmologie 2008 · 105:234–240 DOI 10.1007/s00347-008-1718-y
© Springer Medizin Verlag 2008

T. Kohnen · O.K. Klaproth
Asphärische Intraokularlinsen

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Implantation von Intraokularlinsen (IOL) ist in den vergangenen Jahren zu einem sicheren, effektiven, stabilen und gut vorhersagbaren Verfahren der Katarakt- und refraktiven Linsenchirurgie geworden. Vermehrt richtet sich nun die Aufmerksamkeit auf die mit den IOLs zu erreichende optische Qualität. Da sich die sphärische Aberration der natürlichen Augenlinse mit dem Alter vom Negativen zum Positiven wandelt und so die optische Qualität verschlechtert, sollte eine asphärische Intraokularlinse mit negativer, neutraler oder individuell bestimmter sphärischer Aberration, welche der juvenilen natürlichen Augenlinse nachempfunden ist, die optische Qualität verbessern. Zur Bewertung der optischen Qualität werden Parameter wie der Visus, die Kontrast- und Blendempfindlichkeit, das Nachtsehen, die Abbildungsfehler höherer Ordnung und subjektive Fragebögen herangezogen.

Methode. Die Arbeit gibt eine Übersicht über verschiedene Arten und Prinzipien von asphärischen Intraokularlinsen, über aktuelle wissenschaftliche Studien zum Thema und zeigt die Kriterien, nach denen der Nutzen dieser Linsen bewertet wird auf.

Ergebnisse. Ein positiver Effekt von asphärischen Intraokularlinsen konnte in mehreren

Studien gezeigt werden. Der Ausgleich von positiver sphärischer Aberration der Hornhaut durch asphärische Intraokularlinsen kann jedoch oft erst bei weiten Pupillen demonstriert werden. Für junge Patienten mit deutlich weiterer skotopischer und mesopischer Pupille sollten bevorzugt asphärische Intraokularlinsen implantiert werden. Es wird auch zu berücksichtigen sein, dass sich verschiedene Abbildungsfehler niedriger und höherer Ordnung im optischen System Auge gegenseitig beeinflussen. Da sich die sphärische Aberration individuell sehr unterscheidet, kann auch eine Individualisierung der Asphärität sinnvoll sein, entweder durch die Wahl verschiedener IOLs je nach vorliegender sphärischer Aberration der Hornhaut oder durch eine individuelle Gestaltung der IOL-Oberfläche.

Schlussfolgerung. Der Einsatz von asphärischen Intraokularlinsen als Linsenersatz bewirkt eine Reduktion der sphärischen Aberrationen des Auges und kann eine Verbesserung der optischen Qualität bewirken.

Schlüsselwörter

Sphärische Aberration · Asphärität · Asphärische Intraokularlinsen · Optische Qualität

Aspheric intraocular lenses

Abstract

Background. Over the last years, the implantation of intraocular lenses (IOLs) has become a safe, effective, stable, and well-predictable procedure of lens replacement surgery. Therefore, manufacturers and surgeons have given special attention to the optical quality these lenses can achieve. Because spherical aberration of the natural lens changes in life from negative to positive values and hence impairs optical quality, implanting an aspheric IOL based on the young natural lenses' asphericity parameters, inducing negative, neutral, or individual spherical aberration, should improve the optical quality. Parameters used to evaluate optical quality are visual acuity, contrast sensitivity, glare disability, night vision, higher-order aberrations, and subjective questionnaires.

Method. This article provides a survey of different kinds and principles of aspheric IOLs, current trials, and criteria used to estimate lens benefits.

Results. Benefits of aspheric lenses have been shown in several studies. However, ad-

justment of the cornea's positive spherical aberration by an aspheric IOL can be demonstrated only in larger pupils. For young patients with distinctly larger mesopic and scotopic pupils who undergo refractive lens exchange, aspheric IOLs should be implanted. As higher-order and lower-order aberrations of the eye interact with each other, this fact will have to be taken into consideration when correcting spherical aberration. Spherical aberrations differ interindividually; therefore, individualisation of asphericity may be useful, either by choosing different IOLs depending on the eye's spherical aberration or by individual IOL surface design.

Conclusion. The use of aspheric IOLs for lens replacement reduces spherical aberration and therefore improves the optical quality of the eye.

Keywords

Spherical aberration · Asphericity · Aspheric intraocular lenses · Optical quality

Tab. 4 Beispiele für In-vivo-Studien zu monofokalen asphärischen Intraokularlinsen

Studie	AIOL/Vergleichslinse	Studiendesign	Untersuchte Parameter	Ergebnisse
Kershner et al. (2003) [21]	Tecnis 9000/AcrySof Natural SN60AT und AA4207VF	221 Augen, 6 Monate post OP	VA, KE, NS	KE und NS mit AIOL besser
Mester et al. (2003) [29]	Tecnis Z900/SI40	74 Augen, 3 Monate post OP	KE, mesopische VA	KE und mesopische VA mit AIOL besser
Kennis et al. (2004) [20]	Tecnis Z9000/Sensar AR40e und AcrySof Natural SN60AT	98 Augen, 6 Monate post OP	Photopische und mesopische KE	KE mit AIOL besser
Belucci et al. (2005) [5]	Tecnis 9000/AcrySof Natural SN60AT	60 Augen, 3 Monate post OP	VA, KE	VA und KE mit AIOL besser
Kasper et al. (2006) [18]	Tecnis Z9000/Sensar AR40e	42 Augen, 1 Monat post OP	SA, Aberrationen 4. Ordnung, gesamt RMS	SA und Aberrationen 4. Ordnung mit AIOL geringer, Gesamt RMS nur bei großer Pupille
Kasper et al. (2006) [19]	Tecnis 9000/Sensar AR40e	40 Augen, 4 Monate post OP	SA, VA, KE	SA mit AIOL geringer, VA und KE nicht besser
Munoz et al. (2006) [30]	Tecnis Z9000/Sensar AR40e und Stabibag	60 Augen, 6 Monate post OP	SA, VA, KE	SA mit AIOL geringer, VA und KE nicht besser
Padmanabhan et al. (2006) [37]	Tecnis Z9000/MA60BM und AR40e	32 Augen, 2 Wochen post OP	SA, AOH	SA geringer, AHO gleich
Rocha et al. (2006) [41]	AcrySof IQ SN 60WF/Sensar AR40e und AcrySof Natural SN60AT	120 Augen, 3 Monate	SA, AHO, KE	SA und AHO mit AIOL geringer, KE nur ohne Blendung im mesopischen Bereich besser
Belucci et al. (2007) [6]	Tecnis Z900/CeeOn Edge 911	90 Augen	AHO, SA, Coma	AHO und SA geringer, dafür aber erhöhte Coma-Werte
Denoyer et al. (2007) [11]	Tecnis Z9000/CeeOn Edge 911	40 Augen, 6 Monate	AHO, SA, KE, optische Qualität	SA mit AIOL geringer, ansonsten keine wesentlichen Verbesserungen
Kurz et al. (2007) [27]	Acri.Smart 36/Acri.Smart 46 S	77 Augen, 2 Monate	KE	KE mit AIOL nicht besser
Rocha et al. (2007) [42]	AcrySof IQ SN 60WF/Sensar AR40e und AcrySof Natural SN60AT	120 Augen, 3 Monate	SA, Intermediär- und Nahvisus	SA mit AIOL geringer, Intermediär- und Nahvisus schlechter
Sandoval et al. (2007) [45]	AcrySof IQ SN 60WF/AcrySof Natural SN60AT	53 Augen, 3 Monate post OP	KE, SA, gesamt AHO RMS, subjektive Zufriedenheit	KE mit AIOL besser, SA und HOA geringer, kein Unterschied in der subjektiven Zufriedenheit
Tzelikis et al. (2007) [47]	AcrySof IQ SN 60WF/AcrySof Natural SN60AT	50 Augen, 3 Monate	SA, AHO, KE	SA und AHO mit AIOL geringer, mesopische KE höher

(VA: Sehschärfe (Visual Acuity)); KE: Kontrastempfindlichkeit; NS: Nachtsehen.

pensation der Auswirkungen von Dezentrationen und Verkippungen. (z. B. Hoya AF-1)

- 4 **Customized AIOL:** Diese Linsen gehen von individuellen Hornhautasphäritäten der jeweiligen Patienten aus. Grundvoraussetzung ist hierzu eine Bestimmung der kornealen Topographie, aus denen die korneale SA berechnet wird. Die Linse wird dann individuell darauf abgestimmt, um eine vorher bestimmte residuale gesamt SA zu induzieren. (z. B. Acri.Tec, Acri.Smart 36 A 100SV)

Aktuelle wissenschaftliche Daten zu asphärischen IOL

Die in der Peer-Review-Literatur (■ **Tab. 4**) meistuntersuchten asphärischen IOL sind die der Tecnis 9000 Serie. Es handelt sich um eine Linse des Typs 3. Verschiedene Studien bescheinigen dieser Linse eine geringere Induktion von AHO im Allgemeinen, besonders bei großen Pupillen [18], der Aberrationen 4. Ordnung [18] und der SA im Speziellen [6, 11, 18, 19, 29, 30, 37, 41, 47]. Padmanabhan et al. konnten diesen Trend nicht bestätigen [37]. Die Kontrastempfindlichkeit der Patienten wurde ebenfalls in verschiedenen Studien durch die Tecnis IOL

im Vergleich zu sphärischen IOL unter verschiedenen Bedingungen gesteigert [11, 20, 21, 29, 34, 36]. Allerdings konnten 2006 Kasper et al. [19, 30] sowie Munoz et al. [19, 30] diesen Effekt nicht bestätigen. Gleiches gilt für den Visus. Eine Verbesserung konnte hier nur von Mester et al. (2003) [29] gezeigt werden. Andere Studien konnten keine signifikante Verbesserung nachweisen [19, 30]. Was die subjektive Beurteilung der optischen Qualität angeht, so konnten Denoyer et al. (2007) [11] lediglich eine Verbesserung der Fernsicht zeigen.

Ausschließlich positive Ergebnisse, allerdings in einer geringeren Studienzahl, wurden mit der AcrySof IQ SN60WF

(ebenfalls Typ 3) erzielt. Die gesamt AHO sowie die SA sind hier geringer als bei der sphärischen Vergleichslinse [41, 47], die Kontrastempfindlichkeit ist unter mesopischen Bedingungen signifikant besser [47]. Gleiches gilt für die subjektive Sehqualität [47].

Kurz et al. (2007) [27] verglichen die Acri.Smart 26 A (Typ 3) mit deren sphärischen Pendant der Acri.Smart 46 S und konnten bei der asphärischen Linse zwar eine geringere Induktion der SA feststellen, allerdings keine verbesserte Kontrastempfindlichkeit zeigen.

Diskussion

Zu asphärischen aberrationskorrigierenden Intraokularlinsen liegen viele Studien mit unterschiedlichen Zielgrößen, Studiendesigns und Ergebnissen vor (■ **Tab. 4**). Eine Begründung für unterschiedliche Ergebnisse ist zum einen in den verschiedenen Vorgehensweisen zu suchen. Eine weitere Erklärung liefern Wang et al. (2007) [48]: In verschiedenen Simulationen zeigten die Wissenschaftler, dass Patienten je nach Fehlsichtigkeit eine unterschiedliche residuale sphärische Aberration benötigen, um eine optimale Bildqualität zu erreichen. So benötigten emmetrope Augen bei 6 mm Pupillengröße eine residuale SA von $-0,10$ bis $0,00 \mu\text{m}$, hyperope Augen mit $0,50$ dpt eine residuale SA von $-0,4$ bis $-0,2 \mu\text{m}$ und myope Augen mit $-0,50$ dpt eine positive SA von $0,15$ bis $0,30 \mu\text{m}$. Diese Tatsache wurde in den meisten bis heute durchgeführten Studien noch nicht berücksichtigt.

Es kann weiterhin festgestellt werden, dass bei den gängigen Optikdesigns der asphärischen IOL lediglich die SA, nicht jedoch die anderen AHO berücksichtigt und korrigiert werden. Da jedoch die verschiedenen AHO miteinander interagieren [1, 13, 33, 48], muss die alleinige Korrektur der SA differenziert betrachtet werden [38, 48], da dadurch Auswirkungen auf andere Aberrationen auftreten könnten.

In allen Studien, die eine Verbesserung eines der Parameter zur Beschreibung der optischen Qualität angeben, stellte sich eine Verbesserung der optischen Qualität bei „großen“ Pupillen ein. In Anbe-

tracht der Tatsache dass die überwiegende Mehrheit der Kataraktoperationen bei alten Menschen durchgeführt wird, bei denen die maximale Pupillenweite oft reduziert ist, kann sich die klinische Relevanz der asphärischen Intraokularlinsen nicht immer demonstrieren lassen. Weiterhin wurden bei großen Pupillen zwar signifikante Verbesserungen der optischen Qualität nachgewiesen, allerdings nicht in allen Studien und teils nur in sehr kleinem absolutem Ausmaß. Wünschenswert wären einheitliche, objektive Bewertungsmaßstäbe in der klinischen Evaluation von AIOL (Visus, KS, AHO, Aberrationen 4. Ordnung und SA bei einheitlich definierten Pupillenweiten und Umfeldbedingungen) um klare Indikationen für AIOL zu bestimmen. Im Moment scheint das Konzept der „customized AIOL“ am besten geeignet, da hier die verschiedenen benötigten residualen SA [48] individuell berechnet und hergestellt werden können. Allerdings wären diese Linsen im Verhältnis zur erreichbaren Verbesserung der optischen Qualität wahrscheinlich sehr teuer und eine entsprechende Studie, um diesen theoretischen Zusammenhang nachzuweisen, steht noch aus. Eine weitere Möglichkeit für den Chirurgen, eine optimale residuale SA zu erreichen, wäre es, unter der asphärischen IOL verschiedener Typen und Hersteller zu wählen. Dies stellt allerdings aus Gründen der Sicherheit sowohl im Umgang mit den Implantaten und Injektorsystemen als auch der IOL Berechnung sowie aus Kostengründen eine große Herausforderung dar.

Fazit für die Praxis

Mit dem Alter wird die sphärische Aberration (SA) der Augenlinse positiver. Asphärische IOL sollen die gesamt SA des Auges vermindern und so zu einer Verbesserung der optischen Qualität führen. Anhand der SA lassen sich Intraokularlinsen in vier Kategorien einteilen (sphärische IOL, SA neutrale IOL, SA kompensierende IOL und customized SA IOL). Eine Reduktion der SA nach Implantation von AIOL im Vergleich zu sphärischen IOLs konnte in fast allen Studien nachgewiesen werden. Der tatsächliche Nutzen von AIOL ist nicht immer klinisch darstellbar, besonders auch da nur eine Ab-

Hier steht eine Anzeige.

 Springer

beration höherer Ordnung (die sphärische Aberration) korrigiert wird und die positive Auswirkung dieser IOLs oft erst mit großer Pupille nachgewiesen werden konnten.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. T. Kohnen



Klinik für Augenheilkunde,
Johann Wolfgang Goethe-
Universität
Theodor-Stern-Kai 7,
60590 Frankfurt
Kohnen@em.uni-frankfurt.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver EJ (2003) Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg* 29: 1487–1495
- Arden GB (1978) The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol* 62: 198–209
- Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P (2002) Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 19: 137–143
- Barbero S, Marcos S, Jimenez-Alfaro I (2003) Optical aberrations of intraocular lenses measured in vivo and in vitro. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 20: 1841–1851
- Bellucci R, Scialdone A, Buratto L et al. (2005) Visual acuity and contrast sensitivity comparison between Tecnis and AcrySof SA60AT intraocular lenses: A multicenter randomized study. *J Cataract Refract Surg* 31: 712–717
- Belucci R, Morselli S, Pucci V (2007) Spherical aberration and coma with an aspherical and a spherical intraocular lens in normal age-matched eyes. *J Cataract Refract Surg* 33: 203–209
- Bühren J, Kohnen T (2007) Anwendung der Wellenfrontanalyse in Klinik und Wissenschaft: Vom irregulären Astigmatismus zu Aberrationen höherer Ordnung – Teil I: Grundlagen. *Ophthalmologie* 104: 909–923
- Bühren J, Kohnen T (2007) Anwendung der Wellenfrontanalyse in Klinik und Wissenschaft: Vom irregulären Astigmatismus zu Aberrationen höherer Ordnung – Teil II: Beispiele. *Ophthalmologie* 104: 991–1008
- Chen L, Singer B, Guirao A et al. (2005) Image metrics for predicting subjective image quality. *Optom Vis Sci* 82: 358–369
- Cheng X, Thibos LN, Bradley A (2003) Estimating visual quality from wavefront aberration measurement. *J Refract Surg* 19: 579–584
- Denoyer A, LeLez M-L, Majzoub S, Pisella P-J (2007) Quality of vision after cataract surgery after Tecnis Z9000 implantation. Effect of contrast sensitivity and wavefront aberration improvements on the quality of daily vision. *J Cataract Refract Surg* 33: 210–216
- Elliot DB (1993) Evaluating visual function in cataract. *Optom Vis Sci* 70: 896–902
- Franchini A (2007) Aspherical lenses: Contrast sensitivity and depths of focus at different levels of spherical and chromatic aberration. AAO Annual Meeting New Orleans, Abstract
- Glasser A, Campbell MC (1998) Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age. *Vision Res* 38: 209–229
- Guirao A, Gonzales C, Redondo M et al. (2000) Optical aberrations of the human cornea as a function of age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 17: 1697–1702
- Guirao A, Redondo M, Geraghty E et al. (2002) Corneal optical aberrations and retinal image quality in patients in whom monofocal intraocular lenses were implanted. *Arch Ophthalmol* 120: 1143–1151
- Holladay JT, Piers PA, Koranyi G et al. (2002) A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. *J Refract Surg* 18: 683–691
- Kasper T, Bühren J, Kohnen T (2006) Intraindividual comparison of higher-order aberrations after implantation of aspherical and spherical intraocular lenses as a function of pupil diameter. *J Cataract Refract Surg* 32: 78–84
- Kasper T, Bühren J, Kohnen T (2006) Visual performance of aspherical and spherical intraocular lenses: Intraindividual comparison of visual acuity, contrast sensitivity, and higher-order aberrations. *J Cataract Refract Surg* 32: 2022–2029
- Kennis H, Huygens M, Callebaut F (2004) Comparing the contrast sensitivity of a modified prolate anterior surface IOL and of two spherical IOLs. *Bull Soc Belge Ophthalmol* 294: 49–58
- Kershner RM (2003) Retinal image contrast and functional visual performance with aspheric, silicone, and acrylic intraocular lenses. Prospective evaluation. *J Cataract Refract Surg* 29: 1684–1694
- Kohnen T (2003) Aberration-correcting intraocular lenses [editorial]. *J Cataract Refract Surg* 29: 627–628
- Kohnen T, Bühren J, Cichocki M et al. (2006) Optische Qualität nach refraktiver Hornhautchirurgie. *Ophthalmologie* 103: 184–191
- Kohnen T, Bühren J, Kasper T, Terzi E (2005) Quality of vision after refractive surgery. In: Kohnen T, Koch DD (eds) *Cataract and Refractive Surgery*. (Kriegelsteiner GK, Weinreb RN. *Essentials of Ophthalmology*). Springer, Berlin Heidelberg New York
- Kohnen T, Kasper T, Terzi E (2005) Incision sizes before and after implantation of foldable intraocular lenses with 6 mm optic using Monarch and Unfolder injector systems. *Ophthalmology* 112: 58–66
- Kohnen T, Kasper T, Terzi E (2005) Intraokularlinsen zur Korrektur von Refraktionsfehlern. Teil II: Phake Hinterkammerlinsen und refraktiver Linsenaustausch mit Hinterkammerlinsenimplantation. *Ophthalmologie* 102: 1105–1117
- Kurz S, Krummenauer F, Thieme H, Dick B (2007) Contrast sensitivity after implantation of a spherical versus an aspherical intraocular lens in biaxial microincision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 33: 393–400
- Marsack JJ, Thibos LN, Applegate RA (2004) Metrics of optical quality derived from wave aberrations predict visual performance. *J Vis* 4: 322–328
- Mester U, Dillinger P, Anterist N (2003) Impact of a modified optic design on visual function: clinical comparative study. *J Cataract Refract Surg* 29: 652–660
- Munoz G, Albarran-Diego C, Montes-Mico R et al. (2006) Spherical aberration and contrast sensitivity after cataract surgery with the Tecnis Z9000 intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 32: 1320–1327
- Nio YK, Jansonius NM, Fidler V et al. (2000) Age-related changes of defocus-specific contrast sensitivity in healthy subjects. *Ophthalmic Physiol Opt* 20: 323–334
- Oshika T, Klyce SD, Applegate RA, Howland HC (1999) Changes in corneal wavefront aberrations with aging. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40: 1351–1355
- Packer M et al (2007) AAO Annual Meeting New Orleans, Abstract
- Packer M, Fine H, Hoffman RS, Piers PA (2004) Improved functional vision with a modified prolate intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 30: 986–992
- Packer M, Fine IH, Hoffman RS (2004) Wavefront technology in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 15: 56–60
- Packer M, Fine IH, Hoffman RS, Piers PA (2002) Prospective randomized trial of an anterior surface modified prolate intraocular lens. *J Refract Surg* 18: 692–696
- Padmanabhan P, Rao SK, Jayasree R et al. (2006) Monochromatic aberrations in eyes with different intraocular lens optic design. *J Refract Surg* 22: 172–177
- Pepepe JS et al (2007) Clinical comparison of visual and optical outcomes with aspheric IOLs; AAO Annual meeting New Orleans, Abstract
- Piers PA, Fernandez EJ, Manzanera S et al. (2004) Adaptive optics simulation of intraocular lenses with modified spherical aberration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 45: 4601–4610
- Prajna NV, Chandrakanth KS, Kim R et al. (1998) The Madurai Intraocular Lens Study. II: Clinical outcomes. *Am J Ophthalmol* 127: 110–111
- Rocha KM, Soriano ES, Chalita MR et al. (2006) Wavefront analysis and contrast sensitivity of aspheric and spherical intraocular lenses: a randomized prospective study. *Am J Ophthalmol* 142: 751–756
- Rocha KM, Soriano ES, Chamon W et al. (2007) Spherical aberration and depth of focus in eyes with aspheric and spherical intraocular lenses. *Ophthalmology* 114: 2050–2054
- Rubin GS, Adamsons IA, Stark WJ (1993) Comparison of acuity, contrast sensitivity, and disability glare before and after cataract surgery. *Arch Ophthalmol* 111: 56–61
- Rubin GS, Roche KB, Huang G-H et al. (2001) The association or multiple visual impairments with self-reported visual disability; SEE Project. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 15: 64–72
- Sandoval HP, Castro LEFD, Vroman DT, Solomon KD (2007) Comparison of visual outcomes, photopic contrast sensitivity, wavefront analysis, and patient satisfaction following cataract extraction and IOL implantation: aspheric vs spherical acrylic lenses. *Eye* 2007 Jul 6
- Smith G, Cox MJ, Calver R, Garner LF (2001) The spherical aberration of the crystalline lens of the human eye. *Vision Res* 41: 235–243
- Tzelikis PF, Akaishi L, Trindade FC, Boteon JE (2007) Ocular aberrations and contrast sensitivity after cataract surgery with AcrySof IQ. *J Cataract Refract Surg* 33: 1918–1924
- Wang L, Koch DD (2007) Custom optimization of intraocular lens asphericity. *J Cataract Refract Surg* 33: 1713–1720
- Wang L, Dai E, Koch DD, Nathoo A (2003) Optical aberrations of the human anterior cornea. *J Cataract Refract Surg* 29: 1514–1521
- Wang L, Koch DD (2003) Ocular higher-order aberrations in individuals screened for refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 29: 1896–1903
- Wang L, Santaella RM, Booth M, Koch DD (2005) Higher-order aberrations from the internal optics of the eye. *J Cataract Refract Surg* 31: 1512–1519