

Die Buchstabensuppe der IOL-Nomenklatur: Wer soll da noch wissen, ob der Brennpunkt davor oder dahinter liegt?

Dr. med. Matthias Kriegel*, Dr. med. Florian Kretz (FEBO)*
Precise Vision Augenärzte – Rheine, Greven, Steinfurt & Erlangen

Zentrale:

Osnabrücker Str. 233
48429 Rheine

www.precisevision.de

www.bessersehenbesserleben.de

Kontakt: info@precisevision.de

Immer mehr Intraokularlinsen (IOLs) werden auf den Markt gebracht mit dem Versprechen die Presbyopie teil oder voll zu kompensieren. Dabei werden die IOLs von den Herstellern mit Labels versehen, die meist eher dem Marketing dienen und nicht die physikalischen Grundprinzipien, wie die Korrektur eigentlich erreicht wird, wiedergeben. Gab es früher nur monofokale Linsen, kamen im Laufe der Zeit Multifokale (Multi) sowie Trifokale IOLs (Trifo) hinzu. Intuitiv würde man jetzt denken, dass Multi mehr Defokuskapazität schaffen kann als Trifo, dies trifft hier bereits jedoch nicht mehr zu. Auch ist die Bezeichnung TriFocal zu kurz gefaßt, da IOLs dieser Klasse meist nicht einfach nur drei Brennebenen besitzen, sondern zwischen diesen verschiedenen optischen Bereichen Übergänge haben können und somit ein Sehen nicht nur in den drei Ebenen ermöglichen.

Es ist nun eine Fülle an verschiedenen IOLs verfügbar, was die Entscheidung für den Operateur, die richtige Linse für seinen Patienten auszuwählen, nicht unbedingt erleichtert. Ziel dieses Artikels ist es eine Einteilung der verschiedenen IOLs anhand ihrer physikalischen Eigenschaften und Kompensationsmöglichkeiten vorzunehmen und ihre Vor- und Nachteile darzulegen.

Optikdesign

Prinzipiell können grob zwei Haupttypen von IOLs unterschieden werden

- Monofokale und
- Multifokale (mehrere Foci generierend)

Monofokale IOLs

Monofokale IOLs selbst werden vor allem im deutschsprachigen Raum in zwei Hauptgruppen unterteilt werden. Zum einen in sphärische (Sphäre = Kugel), bei denen sich die Brechkraft über die Linsenfläche verändert und zum anderen in asphärische (= abweichend von der Kugelform).

Sphärische Linsen haben eine konvexe Vorder- und Rückfläche, wodurch es zu einer positiven sphärischen Aberration (SA) (Aberration=Abweichung) kommt. Das bedeutet, dass periphere Strahlen stärker gebrochen werden als zentrale und somit eine kürzere Brennweite haben. Dies geht auf Kosten der Kontrastempfindlichkeit. Von einer negativen SA spricht man hingegen, wenn die peripheren Strahlen weniger stark als die zentralen gebrochen werden. Die asphärischen IOLs wiederum werden in drei Gruppen eingeteilt:

1. Aberrations-neutrale IOLs brechen vom Linsenrand bis zum Zentrum in allen Bereichen gleich. Hierbei wird die natürliche Aberration der Hornhaut absichtlich nicht korrigiert. Durch die positive sphärische Aberration der Cornea nutzt man den Effekt der Verlängerung des Brennpunktes, um so, je nach sphärischer Aberration der Hornhaut, mehr Tiefenschärfe zu erreichen. Daher ist es nicht unüblich, dass Patienten nach binokularer Implantation einer Aberrations-neutralen IOL, vor allem bei minimaler Monovision (-0,25 – 0,75 dpt.) noch problemlos Zeitung lesen können. Andere Vorteile des Designs sind die geringere Anfälligkeit für Dezentrierung und Verkippung auf die optische Abbildungsqualität. Dies führt im Vergleich zu einer sphärischen Linse zu einer verbesserten Abbildungsqualität und einer besseren Kontrastsensibilität.

2. Aberrations-korrigierte IOLs, (teil-) kompensieren die positive sphärische Aberration (SA) der Hornhaut durch negative SA auf IOL Ebene. Dies entspricht dem optischen System des „jungen Auges“, bei dem die natürliche Linse die positive SA der Hornhaut durch Induktion negativer SA ausgleicht. Dieser Effekt verliert sich aber mit zunehmendem Alter (Verzögerung der Presbyopie durch Pseudo-Akkommodation auf Hornhautebene) und führt zu einer Zunahme der Aberrationen (nicht nur der sphärischen Aberration, sondern auch der Aberrationen höherer Ordnung [AHO]) und verlängert so den Brennpunkt ebenfalls. 1,2

Die negative SA der IOL wird durch eine flachere Vorderfläche der IOL erzeugt. Als zu korrigierende positive SA der Hornhaut werden meist Werte zwischen $-0,12\ \mu\text{m}$ – $0,27\ \mu\text{m}$ verwendet (z.B. Johnson & Johnson, Tecnis ZCB00; Alcon, AcrySof IQ SN60WF). Dies sind ermittelte Standardwerte, die aber nicht individuell für jede Hornhaut passend/optimal sind. Der Vorteil der Aberrations-korrigierenden IOL kommt insbesondere dann zu tragen, wenn die Pupille tendenziell eher groß ist und vermehrt periphere Lichtstrahlen auf die Linse treffen. Dies führt gegenüber einer Aberrations-neutralen IOL zu einer verbesserten Kontrastempfindlichkeit. Eine Besonderheit stellen noch IOLs dar, die über ihre optische Fläche progressiv sich verändernde SAs generieren (z.B. HOYA, AF-1; Carl Zeiss Meditec, CT Lucia 611), allerdings orientieren diese sich ebenfalls an Standardwerten und sind nicht individualisiert. IOLs mit progressiver SA haben bei Verkippung oder Dezentrierung einen weniger negativen Einfluss auf die Abbildungsqualität vor allem im Vergleich zu Aberrations-korrigierenden IOLs.

3. Aberrations-korrigierende IOLs, die individuell auf die jeweilige Aberration des Auges angepaßt werden sollten theoretisch die beste Abbildungsqualität liefern. Diese waren immer mal wieder auf dem Markt verfügbar, sind es, unserem Kenntnisstand nach, aktuell jedoch nicht.

Die bisher aufgeführten monofokalen IOLs ermöglichen es dem Patienten in einer Ebene/einem Focus gut/scharf zu sehen.

Im Bereich der monofokalen IOLs gibt es jedoch auch Linsen, die eine gesteigerte Tiefenschärfe aufweisen, auch als monofokal-plus oder monofokal EDOF bezeichnet (z.B. Johnson & Johnson Tecnis Eyhance, B & L Lux-Smart und weitere). Dies wird durch eine progressiv zunehmende Brechkraft von peripher nach zentral erreicht, die eine Erhöhung der sphärischen Aberration induziert und somit eine Emmetropie sowie ein scharfes Sehen bis in den Intermediärbereich ermöglicht.

Schaut man sich alte Studien zum Vergleich sphärischer zu asphärischer IOLs an, würde man vermuten das die Kontrastsensibilität hierunter leidet, in vivo zeigt sich aber, dass dies für die eigentliche Alltagsfunktion und die subjektiven Ergebnisse keine wirkliche Rolle spielt.

Wir haben nun auch den Begriff EDOF ins Spiel gebracht. Viele Hersteller preisen ihre IOLs als EDOFs an, was damit aber am Ende wirklich gemeint ist, ist nicht immer ersichtlich. Der Begriff EDOF steht erst mal nur für „Enhanced/Extended Depth Of Focus“ und kommt ursprünglich aus der Photographie. Grundsätzlich ist es so, dass eine EDOF Linse mehr Tiefenschärfe gegenüber einer herkömmlichen monofokalen IOL erzielen muss. Hier ist es insbesondere wichtig auf den Defokusbereich zu achten. Die American Academy of Ophthalmology (AAO) empfiehlt einen Defokusbereich von -0,5dpt gegenüber einer herkömmlichen monofokalen IOL zu testen. Sechs Monate nach IOL-Implantation muss dann bei über 50% der Augen (min. 100 Augen in Studien- und 100 Augen in Kontrollgruppe) ein Intermediärvision (67cm) von $\geq 20/32$ erreicht werden, um das Siegel EDOF zu erhalten. Dabei darf die EDOF-IOL einer herkömmlichen monofokalen IOL im Fernvisus nicht unterlegen sein (non-inferiority margin of 0.1logMAR).³ Somit würde eine monofokale plus IOL auch schon als EDOF klassifiziert werden können, was bei der Santens' Xact Mono-EDOF auch der Fall ist. Hier handelt es sich zwar streng genommen um eine diffraktive Linse. Da diese aber nur 4 Ringe besitzt und damit die Lichtverteilung entsprechend gering ist, ist sie trotzdem als monofokale IOL zugelassen. Im Bereich monofokal-plus bzw. monofokal EDOF stellt sich daher für uns immer wieder die Frage, ob bei genauer Untersuchung eventuell sogar Aberrations-neutrale IOLs diesen Standard bereits erreichen könnten, bzw. ob nicht doch ein im Alltag nicht relevanter Kontrastunterschied festzustellen wäre.

Ergänzt werden die monofokalen IOLs noch durch das Prinzip der stenopäischen Lücke, die ebenfalls die Tiefenschärfe erhöht (z.B. AcuFocus, IC8).

All bisher aufgeführten Linsen weisen eine Haupt-Focusebene auf und können diese, je nach Beschaffenheit, durch eine Streckung des Brennpunktes verbreitern.

Demgegenüber stehen IOLs, die mehrere Brennebenen aufweisen. Prinzipiell stehen zwei unterschiedliche physikalische Prinzipien zur Erzeugung unterschiedlicher Brennebenen zur Verfügung:

1. Diffraction: Licht wird in mehreren Bereichen der Linse gebeugt (sinusoidal vs echelette)
2. Refraction: Mehrere refraktive (brechende) Elemente werden in einer Linse vereint

Durch Diffraction können mehrere Brennebenen generiert werden, jedoch „teilen“ sich die verschiedenen Foci das Licht. Darüber hinaus geht Licht in Form von Streulicht verloren. Das Prinzip der Diffraction ist gegenüber dem Prinzip der Refraction weniger abhängig vom Pupillendurchmesser und ermöglicht eine annähernd gleiche Abbildungsqualität in den verschiedenen Foci. Refraktive multifokale IOLs nutzen hingegen das einfallende Licht besser aus, ermöglichen ein besseres Kontrastsehen bei geringerer Blendempfindlichkeit, sind dafür aber auch abhängiger vom Pupillendurchmesser und von der Dezentrierung bezüglich Abbildungsqualität.⁴ Photische Phänomene, wie Halos um Lichtquellen, treten grundsätzlich häufiger bei multifokalen IOLs auf, jedoch sind diffraktive IOLs gegenüber den refraktiven IOLs anfälliger für diese Phänomene.⁵

Prinzipiell ist es nicht mehr selten das mehrere optisch-physikalische Eigenschaften kombiniert werden. Neben der Kombination von refraktiven als auch diffraktiven Eigenschaften, wird zusätzlich oft mit sphärischen Aberrationen der Linse gearbeitet, um die generierten Brennpunkte klarer abzugrenzen oder näher aneinander zu bringen.

Kompensationsumfänge

Teilkompensierung mit monofokalen IOLs

Da alle monofokalen IOLs, je nach Ausprägung der sphärischen Aberration der Hornhaut, einen Presbyopie-kompensierenden Effekt haben, besteht bereits hier die Notwendigkeit der zusätzlichen Unterteilung nach dem Tiefenschärfebereich. Tabelle 1 dient hierbei als persönliche Einschätzung. Die Presbyopie kann darüber hinaus teilkompensiert werden mit monofokalen IOLs, wenn z.B. eine Monovision eingestellt wird. Wie bereits erwähnt, kann hier die positive SA der Hornhaut, vor allem bei aberrationsfreien IOLs, eine zusätzliche Unterstützung bieten.

Allerdings ist eine Monovision nicht für jeden Patienten geeignet, da nicht jeder eine Anisometropie toleriert.

Tabelle 1: Einteilung monofokaler Optiken

	Presbyopie nicht-kompensierend	Presbyopie Teil-kompensierend
Aberrations korrigiert	Tecnis ZCB00	
Aberrations neutral		CT Asphina 409
Aberrations modulierend	CT Lucia 611	
Aberrations induzierend		Lux Smart, Tecnis Eyhance

Die bereits oben erwähnten monofokalen-plus IOLs stellen eine weitere Möglichkeit einer Teilkompensierung dar, ermöglichen sie doch einen Sehbereich von der Ferne bis in den Intermediärbereich.

Teilkompensierung mittels multifokaler IOLs

Wir würden als Teilkompensierung eine Tiefenschärfe oder Focus definieren, der ein Sehen bis in den Intermediärbereich (~60cm/+1,67dpt) erlaubt. Dies wird z.B. von Linsen Teleon Comfort/Femtis Comfort, Swiss Advanced Vision Lucidis, JNJ Symphony, ZEISS AT LARA ermöglicht.

Vollkompensierung mittels multifokaler IOLs

Wir sehen als die Presbyopie vollkompensierend IOLs an, die einen Nahzusatz von +2,75dpt. oder mehr aufweisen, was einem Nah-Focus <50cm entspricht. Dies wird z.B. bei Kontur Liberty, Teleon Acunex Vario Max, Rayner Ray One Trifocal oder ZEISS AT LISA tri und vielen anderen erreicht.

Eine Zusammenfassung der verschiedenen optischen Designs sowie deren Kompensationsumfänge ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Übersicht über Designs und Kompensationsumfänge.

**je nach Zusatz Teil- oder Vollkompensation der Presbyopie möglich*

Design	Kompensationsumfang der Presbyopie		
	null	teil	voll
Monofokal			
Sphärisch	-	+	-
Asphärisch			
- Aberrations-neutral	-	+	-



Precise Vision
AUGENÄRZTE

- Aberrations-korrigiert	-	-	-
- Aberrations-korrigierend	-	-	-
Stenopäische Lücke	-	+	-
Monofokal plus	-	+	-
Multifokal			
Refraktiv	-	+	+*
Diffaktiv	-	+	+*

Fazit

Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen IOLs auf dem Markt mit einer für den Arzt sowie für den Patienten verwirrenden Terminologie. Es ist aus unserer Sicht wichtig für den Behandler die unterschiedlichen optischen Designs, deren Kompensationsumfänge sowie ihre Vor- und Nachteile zu kennen. Auch ist es wichtig die Erwartungen sowie Bedürfnisse des Patienten richtig einzuschätzen. Nur so kann am Ende die passende IOL für den Patienten ausgewählt und ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden.

1. Miranda I, Ferro M, Artal P, Navarro R. Effects of aging in retinal image quality. *JOSA A*, Vol 10, Issue 7, pp 1656-1662. 1993;10(7):1656-1662. doi:10.1364/JOSAA.10.001656
2. Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population - PubMed. Accessed January 15, 2022. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9888445/>
3. Consensus statement for comment. American Academy of Ophthalmology. - Google Suche. Accessed January 16, 2022. https://www.google.com/search?q=Consensus+statement+for+comment.+American+Academy+of+Ophthalmology.+&rlz=1C1CHBF_enDE898DE898&sxsrf=AOaemvJ7Me9kOn7dfRyQCMFKxKUmiksRPA%3A1642335212318&ei=7AvkYc7hEseFxc8PiqK2IA&ved=0ahUKEwjOh7q3n7b1AhXHQvEDHQqRDQQQ4dUDCA4&uact=5&oq=Consensus+statement+for+comment.+American+Academy+of+Ophthalmology.+&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAM6CggjEK4CELADECdKBAhBGAFKBAhGGABQhxVYzVRg-FVoAXAAeACAAXOIAXOSAQMwLjGYAQCgAQHIAQHAAQE&sclient=gws-wiz
4. Auffarth GU, Dick HB. Multifokale Intraokularlinsen Eine Übersicht. *Der Ophthalmol* 2001 982. 2001;98(2):127-137. doi:10.1007/S003470170172
5. Dick HB, Krummenauer F, Schwenn O, Krist R, Pfeiffer N. Objective and subjective evaluation of photic phenomena after monofocal and multifocal intraocular lens implantation. *Ophthalmology*. 1999;106(10):1878-1886. doi:10.1016/S0161-6420(99)90396-2