

# Fallbeispiel: Fehleranalyse bei IOL mit Zusatznutzen

Friederike, Johanna und Martin Dörner

Die Auswertung des vierten Purkinjebildes (P4) der Intraokularlinsen-Rückfläche ist eine nützliche Zusatzdiagnostik im Rahmen der Fehlersuche bei nicht zufriedenstellenden Ergebnissen mit Intraokularlinsen (IOL).

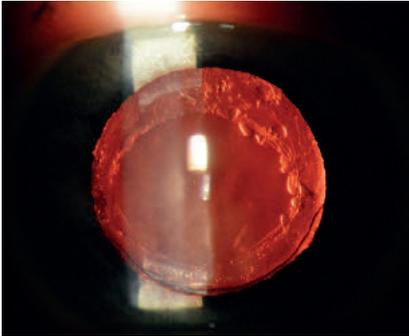


Abb. 1: Klinisch scheinbar unauffälliger Fall mit Tecnis Eyhance-IOL links in mittlerer Mydriasis. Z. n. YAG-Kapsulotomie. Unten ist die IOL-Kante eben sichtbar

## Abkürzungen [4]

**P1:** 1. Purkinjebild – entspricht dem Ophthalmometerwert oder „Javal“ der Hornhautvorderfläche.

**P3:** 3. Purkinjebild – stark vergrößertes Bild der Linsen- oder IOL-Vorderfläche. Bei hydrophilen IOLs messbar zur Bestimmung einer IOL-Verkipfung (IOL-tilt); hydrophobe IOLs lassen sich kaum messen.

**P4:** 4. Purkinjebild der Linsenrückfläche – eine umgekehrte, virtuelle lichtschwache Darstellung der Messmarkenbilder, die im Normalfall etwa 4° nasal und 3° oberhalb von P1 zu finden ist.

**MMB:** Messmarkenbilder eines Ophthalmometers, am hellsten als Lichtmarken der Hornhaut zu sehen. Die zentralen 3 mm (radienabhängig) der optischen Fläche werden dort als „Javal“ gemessen.

Aktueller Fall ist ein Patient mit anhaltender, aber nur einseitig schlechter Sehqualität nach unkomplizierter, beidseitiger Implantation von Linsen mit Zusatznutzen (Eyhance®) vor über sechs Monaten. Die Intraokularlinsen (IOL) sind nicht torisch und scheinen zunächst spaltoptisch ausreichend zentriert. Am schlechten linken Auge ist die IOL minimal nach oben dezentriert. Beim Einholen einer „Zweitmeinung“ erfolgte extern eine YAG-Kapsulotomie ohne Symptomverbesserung.

Der sehr differenzierte EDV-Spezialist klagt fortgesetzt über einseitige Sehstörungen links in Ferne und Nähe. Er berichtet, bei Computerarbeit links eine selbstgebaute Brillen-Vollokkusion zu tragen.

Übliche Zusatzuntersuchungen wie Keratografie ergeben zunächst kein zielführendes Ergebnis.

Lediglich Purkinjebilder der IOL-Rückflächen (P4) in Mydriasis zeigen beidseits auffällige Veränderungen, links mehr als rechts. Diese P4-Veränderungen werden im Folgenden analysiert. Nach einem Intraokularlinsen-Austausch links ist der Patient letztlich beschwerdefrei.

## Vorgeschichte

Das rechte Auge sieht nach Implantation einer Tecnis Eyhance-IOL zufriedenstellend in Ferne und mittlerer Entfernung. Mit dem linken Auge aber sind Texte unscharf, die Abbildung erscheint kontrastarm und das binokulare Sehen ist mit und ohne die mitgebrachten Brillen in Ferne und Nähe gestört, jedoch frei von Metamorphopsien.

Die IOLs beider Augen befinden sich mit den Haptiken zentriert und fest fixiert im Kapselsack bei Zustand nach YAG-Kapsulotomie links (► Abbildung 1).

Befunde	rechtes Auge	linkes Auge
Visus sc und cc	1,0	0,63
subjektive Refraktion	plan	+0,5 -0,75/170°
Autorefraktometer (Retinomax, Mehrfachmessung)	+0,25 -0,25/5°	+0,5 -0,5/117° +0,75 -0,25/76°
„Javal“ (Zeiss Ophthalmometer)	-0,25/20°	-0,5/170°
4. Purkinjebild (Zeiss Ophthalmometer)	-3,0/10°	-6,0/40°

Tabelle 1: Messungen vor Linsentausch. Am linken Auge (LA) bis zu 1,25 dpt Differenz der Zylinderstärken. Achslagen von subjektiver und objektiver Refraktion sind bis 90° versetzt

Alle Abbildungen: Autoren

# DOG 2024



10.–13.10.2024  
Estrel Berlin

[dog-kongress.de](https://dog-kongress.de)

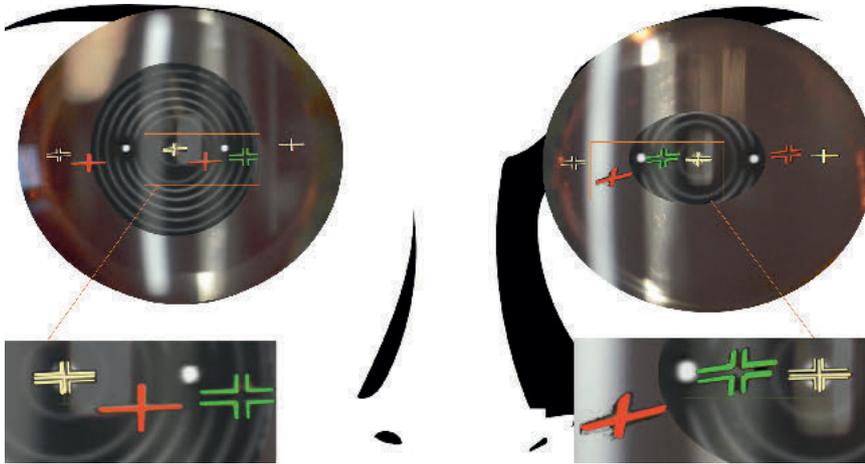


Abb. 2: Zusammengesetztes Bild von Ophthalmometer und Keratograf. Am rechten Auge messbarer „Astigmatismus“ des 4. Purkinjebildes 3 dpt. Am linken Auge bei 6 dpt subjektiv Sehestörung. Messmarkenbilder (MMB) des 4. Purkinjebildes sind zur besseren Identifizierung vergrößert dargestellt und farbig hervorgehoben. Die P4-MMB sind am linken Auge gegeneinander verdreht. Die weißen MMB stammen vom 1. Purkinjebild der Hornhaut. Rechts wie links stehen die MMB von P1 und P4 unphysiologisch fast horizontal nebeneinander; Normalbefund siehe ►Abb. 3, linkes Auge. Die P4-MMB wurden mit der Koinzidenz-Einstellung des 1. Purkinjebildes (weiß) fotografiert und stehen daher weiter auseinander

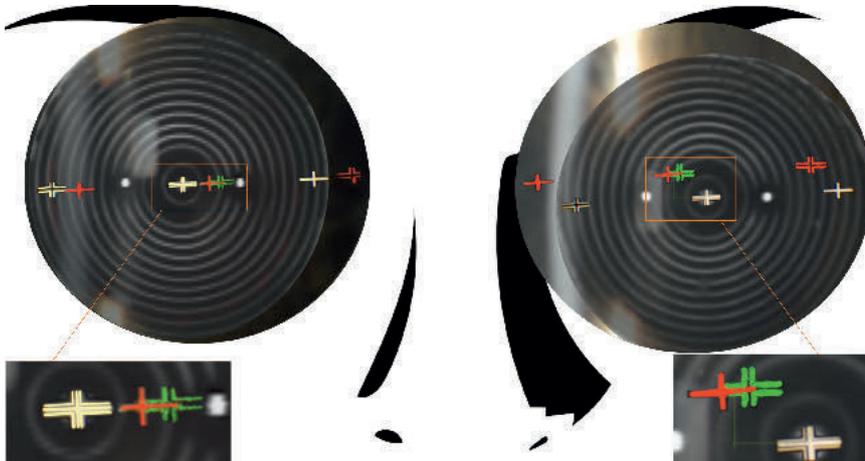


Abb. 3: Beispiel von MMB einer verkippten, sphärischen IOL rechtes Auge. Links Normalbefund mit physiologischem Versatz der MMB von P4 nach nasal oben. Alle MMB sind scharf abgebildet und in Linie. Pathologischer Befund rechts: Die MMB stehen horizontal nebeneinander. Das zeigt eine Verkipfung der IOL um etwa 2 Grad nach oben an (IOL-tilt). Erklärung: Am rechten Auge sitzt die sphärische rechte IOL mit der Haptik unten im Sulkus.

Die subjektive Refraktion links ergibt schwankende Zylinderwerte bis zu 1,25 Dioptrien (dpt) Stärke und Achslagen, die bis zu 90 Grad verdreht angenommen werden. ►Tabelle 1.

Die implantierte IOL ist eine Linse mit sphärischer Rückfläche und einer wellenfrontoptimierten Vorderfläche. Sie besitzt ein zu-

sätzliches, zentral betontes refraktives Nahteil auf der Vorderfläche und gilt als „Advanced Monofocal IOL“ [1].

### Befunde

Auffälliger objektiver Befund ist eine seitendifferente Veränderung des vierten Purkinjebildes (P4) der IOL-Rückfläche beidseits (►Abbildung 2):

- **Quantitativ** findet sich mit 6 dpt links ein deutlich erhöhter P4-Wert. Diesen Wert erheben wir analog dem Javal-Wert der Hornhaut. Am Partnerauge ist mit 3 dpt ebenfalls ein auffälliger Wert zu messen.
- **Qualitativ** findet sich eine deutliche irreguläre Verdrehung und Durchbiegung der Messmarkenbilder (MMB) links. Die MMB von P1 (Hornhaut) und P4 stehen recht weit versetzt auseinander. Zudem sind die MMB, das sind Hohlkreuz und Strichkreuz, gegeneinander verdreht und nicht in einer Linie (►Abbildung 4). Dies ist ein Zeichen für irregulären Astigmatismus. Beim Keratokonus finden sich ja ähnliche Verdrehungen bekanntermaßen am Purkinjebild der Hornhaut (P1).
- **In der Theorie** werden MMB eines Ophthalmometers auf IOL-Rückflächen (P4) vergrößert abgebildet. Dadurch sind abhängig vom IOL-Brechungskoeffizienten und dem IOL-Rückflächenradius Javal-Werte messbar, die zu etwa einem Drittel vor dem Auge optisch wirksam sind. Folglich misst man mit P4 etwa das dreifache des auf dem IOL-Label angegebenen Torus.
- **Konsequenz:** Nach unserer Meinung werden weniger als 3 dpt „Astigmatismus“ auf der nicht-torischen IOL-Rückfläche (P4) vom Patienten beschwerdefrei toleriert (►Abbildung 2, rechtes Auge).

### Lösung des Patienten-Problems

Die IOL wurde bei Z.n.YAG-Kapsulotomie gegen eine sulkusfixierte, monofokale, sphärische, hydrophobe IOL mit 6,0 mm

Durchmesser sowie sulkusgeeigneten Prolenebügeln ausgetauscht und die Optik mittels buttonholing enklaviert. Der Patient war postoperativ spontan zufrieden, entwickelte vier Wochen später dann ein therapiebedürftiges zystoides Makulaödem (ZMÖ). Nach Abklingen des ZMÖ ist nun bei einer Refraktion von  $-0,50$  sphärisch, binokular beschwerdefreies Arbeiten ohne Brille am Rechner möglich. Das 4. Purkinjebild links ist jetzt „astigmatismusfrei“. Der Patient ist links subjektiv wieder eindeutig refraktionierbar. Allerdings ist das rechte Partnerauge mit der Eyhance-Linse im Seitenvergleich subjektiv etwas schlechter in Ferne und Nähe. Die Zielrefraktion von  $-0,5$  und das sphärische Design der IOL links ermöglichen aktuell ein brillenfreies Arbeiten am Bildschirm.

### Untersuchung der IOL vor Explantation

Die MMB von P4 sind bei der linken IOL stark versetzt, verbogen, nicht in Linie und irregulär astigmatistisch. Es zeigen sich also unerwartet starke irreguläre Brechungsfehler gewissermaßen an einer sphärischen Hohlspiegelfläche, nämlich der IOL-Rückfläche. Aufgrund der Befunde des 4. Purkinjebildes kann vermutet werden, dass durch die komplexe Struktur der IOL eine hohe Empfindlichkeit gegen Dezentrierung besteht.

Das rechte Partnerauge zeigt überraschend auch 3 dpt Astigmatismus auf der IOL-Rückfläche, was bei diesem Patienten toleriert wird. Hinweis zur Störung von P4: Eine Vorderflächen-torische monofokale IOL (z. B. Optheq Precizon®) erzeugt keinen P4-Astigmatismus.

Auch durch eine irreguläre Hornhautveränderung gemessen wäre

das 4. Purkinjebild unverändert und ohne „induzierten Javal-Wert“, also sozusagen „astigmatismusfrei“.

### Wo ist das 4. Purkinjebild zu finden?

Das 4. Purkinjebild (P4) des Auges ist eine umgekehrte virtuelle Abbildung zweier Ophthalmometer-Messmarkenbilder, gerätetechnisch oft realisiert als Hohlkreuz und Strichkreuz. Die Messung von P4 ist nur in Mydriasis möglich.

Dieses virtuelle P4-Bild findet sich im freien Raum zum Untersucher hin, also noch vor dem Javal der Hornhaut (P1). Der Astigmatismus des optischen Hohlspiegels, in den wir quasi schauen, lässt sich mit P4 messen. Die Eyhance hat eine sphärische Rückfläche. Diese Fläche sollte demnach auch bei Betrachtung mit dem Ophthalmometer sphärisch sein. P4 zeigt aber im Patientenfall in ►Abbildung 2 deutliche Veränderungen, die Folge von Dezentrierung, IOL-tilt oder irregulärer Verformung sein können.

### Physiologie der Purkinjebilder

Der physiologische „Versatz“ eines IOL-Rückflächen-Messmarkenbildes in Bezug auf den Hornhautreflex beträgt nach eigenen Messungen durchschnittlich etwa 4 Grad nach nasal und 3 Grad nach oben (►Abbildung 3, linkes Auge). Für die Qualität der Purkinjebilder ist dieser „normale“ Versatz bedeutungslos. Denn das pseudophake Auge hat eine schräg durch die Hornhaut schneidende Sehachse, eine nach temporal unten verlagerte Fovea sowie die dazwischen zur Sehachse verkippte IOL. Diese drei anatomischen Konstruktionsmerkmale neutralisieren sich offensichtlich nicht immer, da die Augen individuell gering unterschiedlich optisch konstruiert sind.

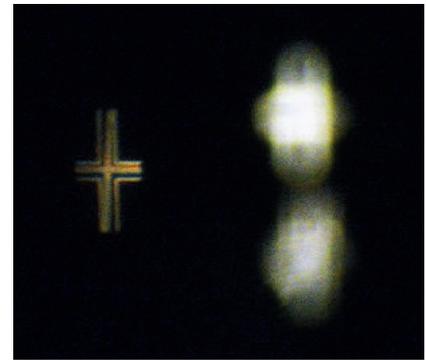


Abb. 4: Originalfoto von MMB einer verkippten asphärischen IOL. Die P4-Messmarkenbilder (MMB) links im Bild stehen nicht in Linie, sind aber nicht wie in ►Abb. 1 in sich verbogen. Die unscharfen Purkinjebilder der Hornhaut (P1) im Bild rechts sind lichtstärker und natürlich nicht gleichzeitig mit P4 koinzident scharf abgebildet. Es handelt sich um ein linkes Auge, der Versatz von P4 nach nasal entspricht der Norm, aber die asphärische IOL ist wie den ►Abb. 2 und ►Abb. 3 (rechtes Auge) nach oben verkippt. Nun sind die MMB von P4 links im Bild im Gegensatz zur sphärischen IOL in ►Abb. 3 gegeneinander verdreht. Das zeigt einen irregulären Brechungsfehler an

In der Mehrheit der Fälle erscheint P4 also astigmatismusfrei. Die Messmarkenbilder von P4 bei fovealer Fixation sind dabei nach nasal oben versetzt. Zusätzliche Veränderungen von P4 werden beobachtet, wenn die IOL-Rückfläche nicht sphärisch ist, sondern irregulär, verkippt oder bei dezentrierter asphärischer Intraokularlinse.

Ein Torus der IOL-Rückfläche ist mittels P4 bestimmbar, sowohl was die Achslage als auch die Höhe des Torus betrifft. Der Messwert („Javal“) ist wie erwähnt dabei etwa dreimal so hoch wie auf dem IOL-Label angegeben. Dezentrierung und IOL-Tilt addieren sich zu dem IOL-Rückflächentorus.

### Fazit für die Praxis

Nach Herstellerangaben überzeugt die Eyhance-IOL (ICB00) im Vergleich zu ihrer rein monofokalen Schwesterlinse (ZCB00) durch

eine verbesserte binokulare Defokuskurve sowie Brillenfreiheit in der mittleren Distanz bei fast 80 Prozent der Patientinnen und Patienten (Quelle: Johnson & Johnson) [2]. Ebenfalls nach Herstellerinformation sind die beiden Linsentypen gleichwertig, was „photopic contrast sensitivity, OSI, MTF cut-off, Strehl Ratio, glare and halo perception“ angeht. Die Angaben sind „measured by bench testing“ einer optisch zentrierten IOL. Zum Dezentrierungsverhalten der Linse findet sich lediglich der Hinweis, dass aufgrund von Simulationen die gleiche Performance wie bei dem asphärischen Modell ZCB00 zu erwarten ist [3].

Multifokal gestaltet ist bei den meisten Intraokularlinsen, so auch bei der Eyhance, die Vorderfläche. P4 wird allerdings durch Multifokalität der IOL-Vorderfläche nicht merklich verändert. Dasselbe gilt auch für einen IOL-Vorderflächentorus oder vorne asphärische Linsen. Die Eyhance-IOL vereint alle drei Merkmale auf ihrer Vorderfläche: wellenfrontoptimiert, asphärisch und gegebenenfalls torisch. Diese Kombination erzeugt jedoch bei optimalem Linsensitz keine messbare P4-Veränderung. Da die Eyhance-Rückfläche sphärisch ist, muss die Veränderung von P4 im vorliegenden Fall durch die Lage der Linse im Auge bedingt sein [3].

Die spaltoptische IOL-Dezentrierung in ►Abbildung 1 erscheint auf den ersten Blick nicht revisionsbedürftig. Der „Blick in den Hohlspiegel“ der IOL-Rückfläche links mit einem Astigmatismus von P4 von 6dpt zeigt aber eine erhebliche optische Störung dieses individuellen optischen Systems „Auge + Eyhance“ an. Letztlich haben wir uns für einen Austausch der Linse entschieden. Der

Patient ist nach dem Wechsel auf eine sphärische IOL spontan zufrieden. Die explantierte IOL wird noch auf Veränderungen der optischen Oberflächen untersucht.

### Schlussfolgerung

Ein P4-Screening kann operativ revisionsbedürftige optische Störungen durch Dislozierung, IOL-tilt oder IOL-Rückflächen-Irregularität finden. Bei einem P4 von mehr als 3dpt kann bei subjektiven Beschwerden ein IOL-Tausch oder eine frühzeitige Revision erwogen werden, möglichst bevor eine YAG-Kapsulotomie durchgeführt wird.

Wir halten ein Frühscreening mit Testung der optischen Abbildungsqualität mittels P4 bei unzufriedenen Patienten mit asphärischen oder optisch komplexeren Linsen für sinnvoll.

Schon direkt postoperativ und selbst bei mäßigem Hornhautödem ist ein P4-Screening möglich. Auch eine intraoperativ vorgenommene Messung zur Optimierung der Abbildungsqualität und IOL-Positionierung ist denkbar. So könnten optische Fehler des Auges bedingt durch anatomische Variationen eventuell in Zukunft auch direkt intraoperativ korrigiert werden.

### Schlüsselwörter:

Intraokularlinsen – multifokale IOL – EDOF-Linsen – Refraktion – Astigmatismus – viertes Purkinjebild (P4) – Linsentausch

### Literatur:

1. Alarcon A, Koopman B, Canovas C, Domingo J, Auffarth G, Piers P. Optical and Predicted Visual Performance of the Next Generation TECNIS Monofocal Intraocular Lens. Conference Presentation WESCRS 2019 in: TECNIS Eyhance IOL Compendium, Johnson & Johnson Vision, 2022 [https://jnvisionpro.eu/sites/eu/files/public/surgical/eyhance2/files/pp2022ct5439\\_tecnis\\_eyhance\\_compendium\\_2h\\_2022\\_-\\_emea\\_-\\_us\\_submission.pdf](https://jnvisionpro.eu/sites/eu/files/public/surgical/eyhance2/files/pp2022ct5439_tecnis_eyhance_compendium_2h_2022_-_emea_-_us_submission.pdf).
2. Unsal U, Sabur H. Comparison of New Monofocal Innovative and Standard Monofocal Intraocular Lens After Phacoemulsification. *Int Ophthalmol.* 2021;41(1):273–282.
3. Auffarth G, Gerl M, Tsai L, Janakiraman P, Jackson B, Alarcon A, Dick HB. Clinical evaluation of a new monofocal intraocular lens with enhanced intermediate function in cataract patients. *J Cataract Refract Surg.* 2021;47:184–191
4. Helmholtz, Hermann von: Handbuch der physiologischen Optik, Vol 1 von 1909

### Interessenkonflikt:

Die Autoren erklären, dass bei der Erstellung des Beitrags kein Interessenkonflikt im Sinne der Empfehlung des International Committee of Medical Journal Editors bestand.

### Korrespondenzadresse:

Dr. med. Friederike Dörner, FEBO  
Augenärztliche Gemeinschaftspraxis Dörner & Dörner  
Königstr. 32-34  
46397 Bocholt  
fd@laser-24.de



Dr. med. Friederike Dörner