

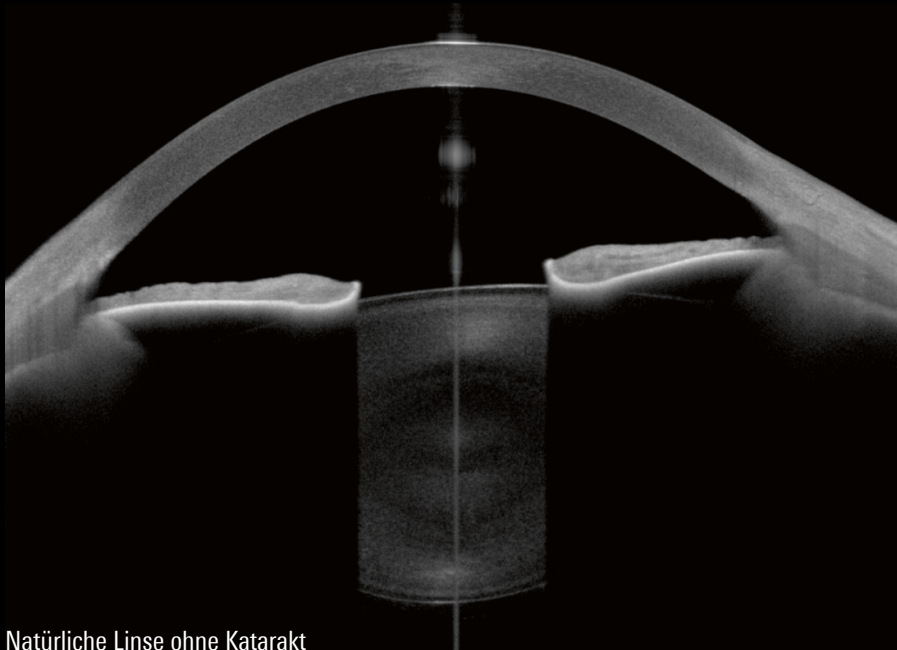
**Biometrie zur
IOL-Bestimmung**



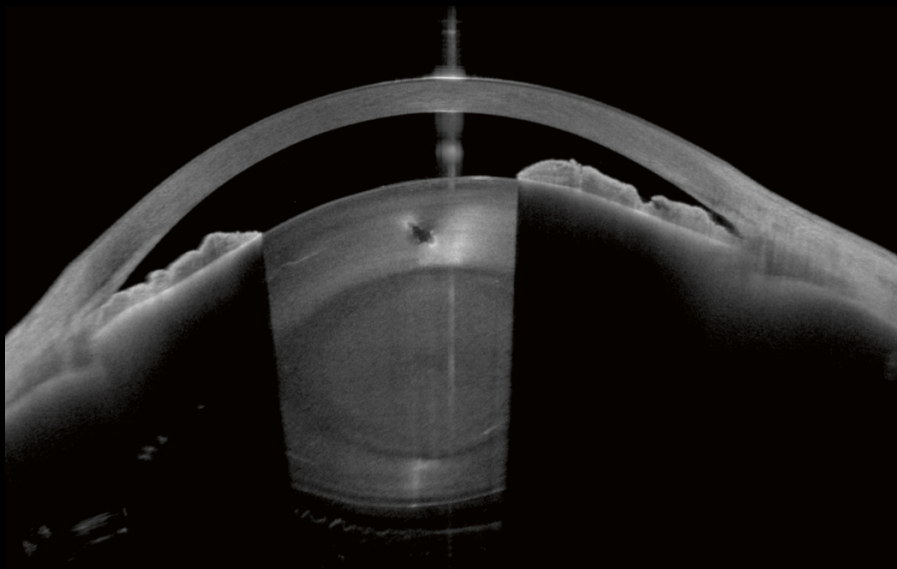
ANTERION[®]

**HEIDELBERG
ENGINEERING**

 **ACADEMY**

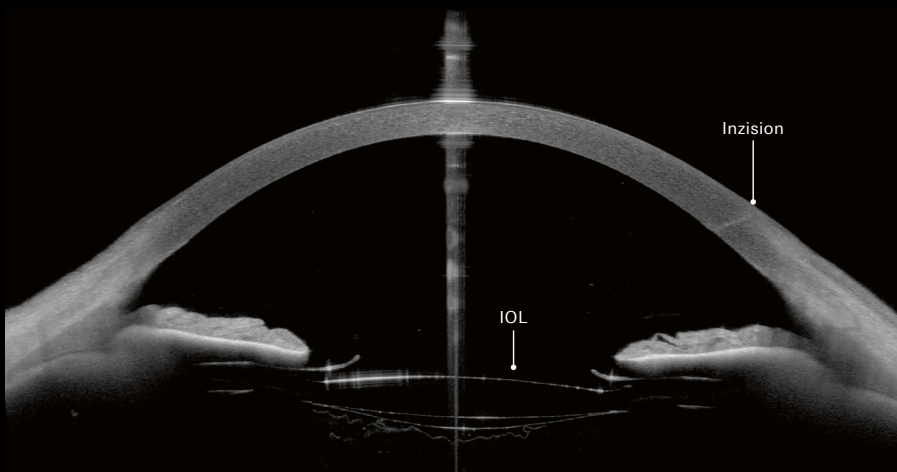


Natürliche Linse ohne Katarakt



Dichte Katarakt

Bildnachweis: Dr. Tobias Duncker, Halle, Deutschland



Pseudophakes Auge in Mydriasis nach Katarakt-OP und Kapsulotomie

Bildnachweis: Dr. Ulrich Kellner, Siegburg, Deutschland

Inhaltsverzeichnis

1 ERSTE SCHRITTE



 Biometry OU Übersicht	4
 Untersuchungsqualität prüfen	6

2 KARTEN UND PARAMETER



2.1	Vorderer Krümmungsradius / Anterior Axial Curvature	8
2.2	Hinterer Krümmungsradius / Posterior Axial Curvature	9
2.3	Astigmatismus (Steil) / Astigmatism (Steep)	10
2.4	Gesamtbrechkraft der Hornhaut / Total Corneal Power	10
2.5	Wellenfront der gesamten Hornhaut / Total Corneal Wavefront	11
2.6	Pachymetrie / Pachymetry	11
2.7	Vorderabschnitt / Anterior Segment	12
2.8	Pupille & Weiß-zu-weiß / Pupil & White-to-White	12
	Anatomische Grenzen ändern	13
2.9	Achsenlänge / Axial Length	14
	Achsenlängenwerte und Augenstatus	15
	Achsenlängendiagramm	16
2.10	Veränderte Achsenlängendiagramme	17

3 NORMALE VS. SCHWIERIGE AUGEN



3.1	Vorbehandelte Hornhaut	19
3.2	Kurze und lange Augen	21
3.3	Augen nach Vitrektomie	21

4 ANHANG



4.1	Tabelle der Begriffe und Definitionen	22
4.2	Quellenverzeichnis	23



Dieses Tutorial dient nicht als diagnostischer Leitfaden und ist kein Ersatz für klinische Erfahrung und Beurteilung. Bei der Diagnose und Behandlung von Patient:innen muss jeder Arzt und jede Ärztin alle verfügbaren Daten analysieren, interpretieren und individuelle klinische Entscheidungen auf der Grundlage der eigenen klinischen Beurteilung und Erfahrung treffen.

Die Diagnose liegt in der Verantwortung des Arztes oder der Ärztin.

1 Erste Schritte

Biometry OU Übersicht

OU
Biometry OU

WENN CORNEA APP UND CATARACT APP VERFÜGBAR SIND,

werden **alle** Hornhautkarten nach der Untersuchung automatisch in der Cataract App bereitgestellt. Für eine geplante Folgemessung von Hornhautkarten führen Sie eine zusätzliche Untersuchung mit der Cornea App durch.



1 Ausgewählte App mit Anzahl der Aufnahmen.

3 Menüleiste zum Öffnen applikationsspezifischer Ansichten.

4 Kamerabild mit Overlay und Ansichten des OCT-Schnittbildes, der Karten **Anterior Axial Curvature** oder **Total Corneal Power**. Wenn Sie die Maus über die Karte bewegen, wird der genaue Wert an diesem Punkt angezeigt.



7 Default settings, um allgemeine und app-spezifische (Standard-) Einstellungen als Benutzer mit Keyuser-Rechten zu konfigurieren.

8 Bereich **More**:
Registerkarte **Basics** mit Hornhautparametern und Registerkarte **Premium IOL** mit Parametern für die IOL-Auswahl und -Brekraftbestimmung.
Die Spalte **OD-OS Difference** hebt die Unterschiede zwischen beiden Augen hervor, da das rechte und das linke Auge bei den meisten Patient:innen ähnlich sind.

EINHEITEN

Die Parameter und die meisten Krümmungskarten sind sowohl in Brechkraft [D/dpt] als auch in Radius [mm] verfügbar. Um die Anzeige zu ändern, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf eine beliebige Stelle im Bereich **More** oder in der Karte und wählen Sie die gewünschte Maßeinheit.

Abb. 1: Biometry OU Übersicht.

9 Overlay-Optionen.

Untersuchungsqualität prüfen

UNTERSUCHUNGSQUALITÄT

Stellen Sie sicher, dass die ANTERION-Untersuchung der erste Schritt in Ihrem Untersuchungsablauf zur Vorbereitung auf die Kataraktoperation ist.



5 Prüfen Sie die Segmentierungen der Vorderabschnittsgrenzen und bearbeiten Sie diese, falls nötig (S.13).

6 Überprüfen Sie den Achsenlängenwert und das Achsenlängen-diagramm. Korrigieren Sie ggf. manuell (S.15).

1 Klicken Sie auf Info.

2 Überprüfen Sie, ob die richtigen Augenstatus ausgewählt wurden und korrigieren Sie diese, falls nötig (S.15).

3 Prüfen Sie, ob der Fokus des Fixationslichtes richtig eingestellt ist.

OD-OS DIFFERENCE

Unterschiede zwischen OD und OS, z. B. unterschiedliche Augenlängen oder Hornhautparameter, können so schlüssiger interpretiert werden.

4 Überprüfen Sie, ob die Parameter zur Aufnahmequalität als ✓ Pass oder ✓ Borderline markiert sind.

PARAMETER ZUR AUFNAHMEQUALITÄT

Wenn ein oder mehrere Parameter zur Aufnahmequalität als ✗ Fail angezeigt werden, entscheiden Sie von Fall zu Fall, ob die erfassten Daten analysiert werden sollten. Es wird empfohlen, die Untersuchung zu wiederholen, da die Ergebnisse ungenau sein können.

Abb. 2: Untersuchungsqualität mit Hilfe der Registerkarte Info überprüfen.

Im folgenden Kapitel wird anhand eines Normalauges mit hohem Astigmatismus ein Überblick über die für die IOL-Bestimmung relevanten Hornhautkarten und ihre schematischen Darstellungen sowie über die biometrischen Parameter und ihre in der Literatur angegebenen Wertebereiche gegeben. Die angegebenen Bereiche wurden durch eine Meta-Analyse unter Einbeziehung der referenzierten Veröffentlichungen ermittelt. Sie umfassen Werte, die für typische Messungen bei gesunden Patienten zu erwarten wären (95 %-Quantile).

Bitte beachten Sie, dass diese Werte nicht zur Definition von Normalbereichen für diagnostische Zwecke geeignet sind.

VERFÜGBARKEIT VON HORNHAUTKARTEN

Während die Karten **Anterior Axial Curvature** und **Total Corneal Power** auch mit der Cataract-App-Lizenz verfügbar sind, sind weitere Karten nur innerhalb der Cornea-App-Lizenz verfügbar.

2.1 Vorderer Krümmungsradius

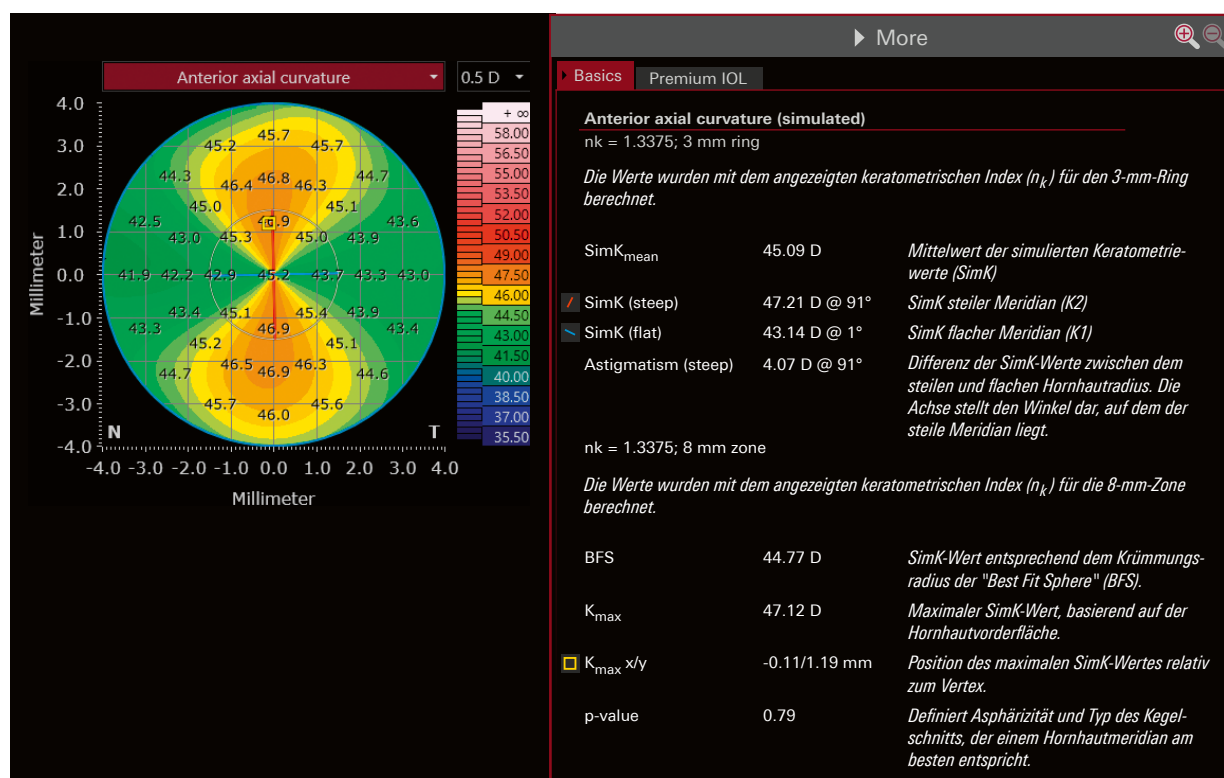


Abb. 3 Anterior Axial Curvature: Karte und Parameter.

Die Karte **Anterior Axial Curvature** kann entweder als Radius [mm] oder Brechkraft [D/dpt] angezeigt werden. Die Radien werden aus OCT-Daten ermittelt und die Umrechnung der Krümmung [mm] in SimK [D/dpt] wird nach den Gesetzen der Gauß'schen Optik unter Verwendung des keratometrischen Index von 1,3375 berechnet. Die lichtbrechende Wirkung und die Radien der Hornhautreckfläche werden nicht berücksichtigt.

ERWARTETE BEREICHE

Anterior Axial Curvature (3-mm-Ring)

R _{mean} ¹⁻⁷	8,02 – 7,57 mm
SimK _{mean} ¹⁻⁷	42,1 – 44,6 dpt

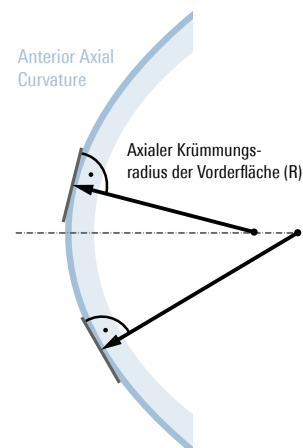


Abb. 4 Anterior Axial Curvature: Schematische Darstellung.

EXZENTRIZITÄT / ASPHERIZITÄT / FORMFAKTOR

Der Grad der Hornhaut-Abflachung zur Peripherie kann beschrieben werden durch:

- **p-value:** Sphäre ($p = 1$), **prolates** ($1 > p > 0$) oder **oblates Ellipsoid** ($p > 1$),
- **Q-value:** Sphäre ($Q = 0$), **prolates** ($-1 < Q < 0$) oder **oblates Ellipsoid** ($Q > 0$), oder
- **E-value:** Sphäre ($E = 0$), **prolates** ($0 < E < 1$) oder **oblates Ellipsoid** ($E < 0$).

Der standardmäßig angezeigte Wert kann in den **Default settings** geändert werden.

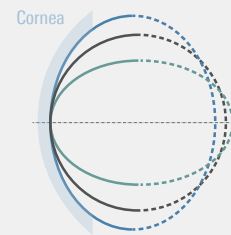


Abb. 5 Sphäre, prolates und oblate Ellipse.

2.2 Hinterer Krümmungsradius

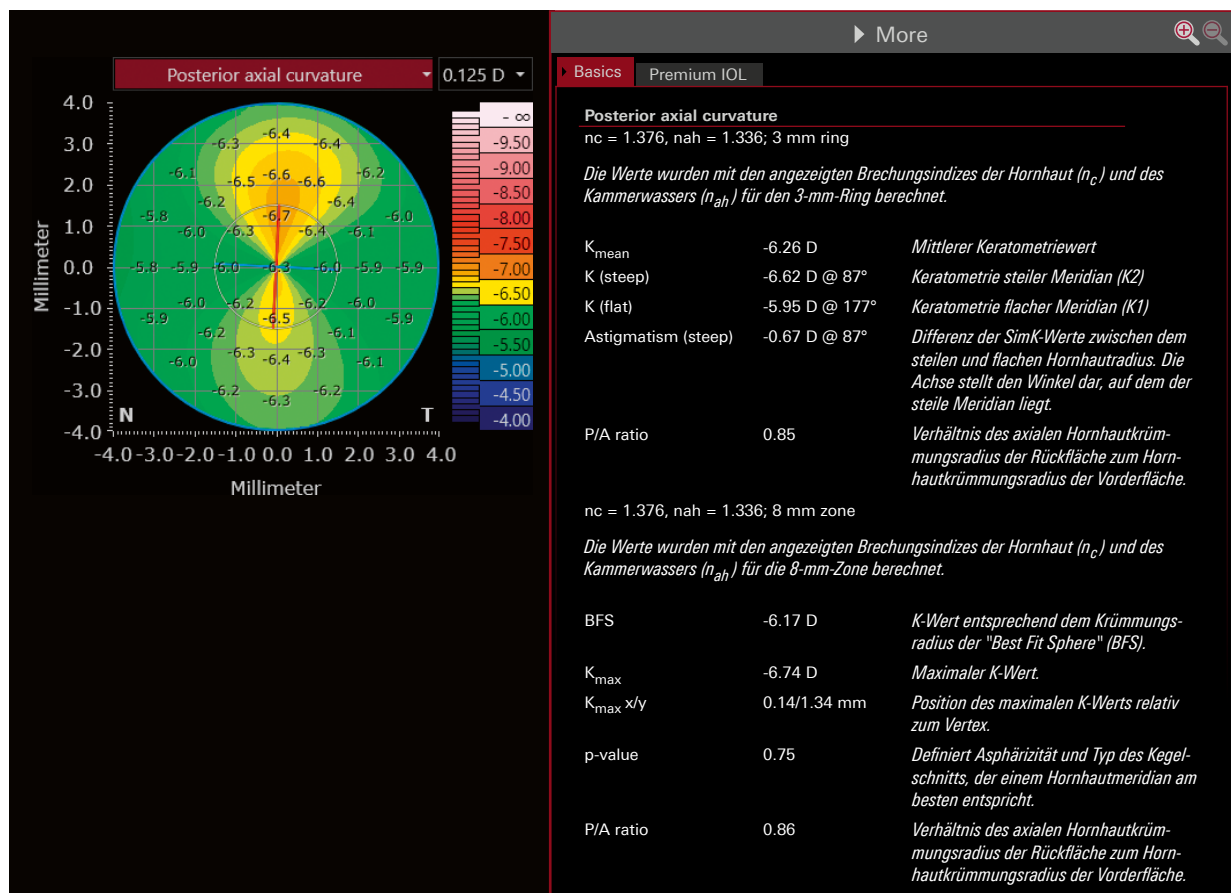


Abb. 6 Posterior Axial Curvature: Karte und Parameter.

Die Karte **Posterior Axial Curvature** kann entweder als Radius [mm] oder Brechkraft [D/dpt] angezeigt werden. Die Radien werden aus OCT-Daten ermittelt, und die Umrechnung der Krümmung [mm] in K [D/dpt] wird nach den Gesetzen der Gauß'schen Optik unter Verwendung der Brechungsindizes der Hornhaut (n_c) und des Kammerwassers (n_{ah}) berechnet.

ERWARTETE BEREICHE

Posterior Axial Curvature (3-mm-Ring)

K_{mean}^{1-10}	-5,6 – -6,6 dpt
P/A ratio ²⁰	0,82 – 0,86

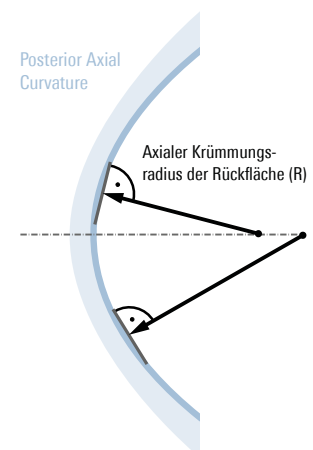


Abb. 7 Posterior Axial Curvature: Schematische Darstellung.

2.3 Astigmatismus (Steil)

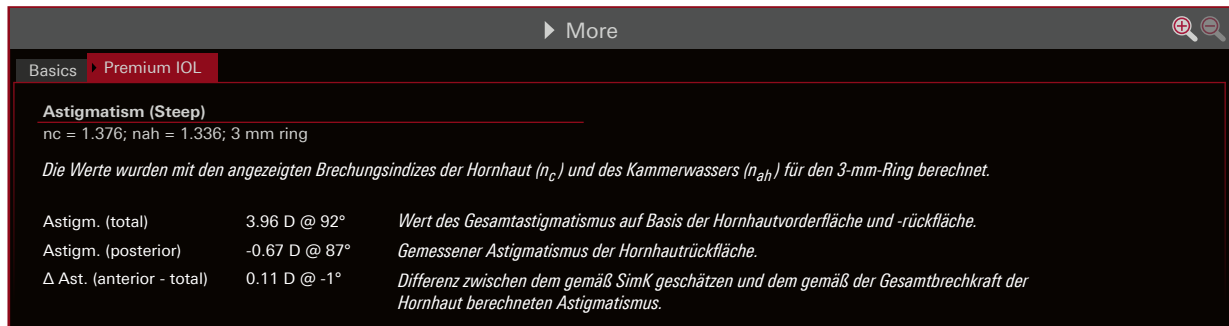


Abb. 8 Astigmatismus (Steil): Parameter.

2.4 Gesamtbrechkraft der Hornhaut

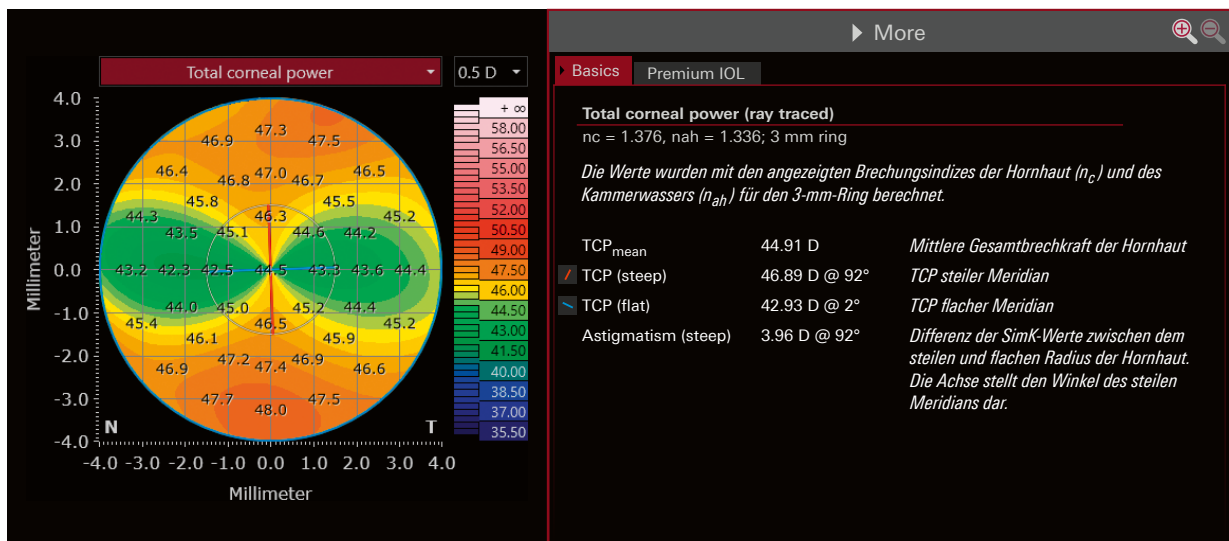


Abb. 9 Total Corneal Power: Karte und Parameter.

Die Karte **Total Corneal Power** (TCP) zeigt die mittels Raytracing berechnete Gesamtbrechkraft der Hornhaut. Dabei wird die Brechung von parallel einfallenden Lichtstrahlen (Annahme) an der vorderen und hinteren Hornhautoberfläche in Abhängigkeit ihrer Brechungsindizes berücksichtigt. Jeder Punkt auf dieser Karte entspricht einer Fokallänge, aus der eine entsprechende Brechkraft berechnet werden kann.

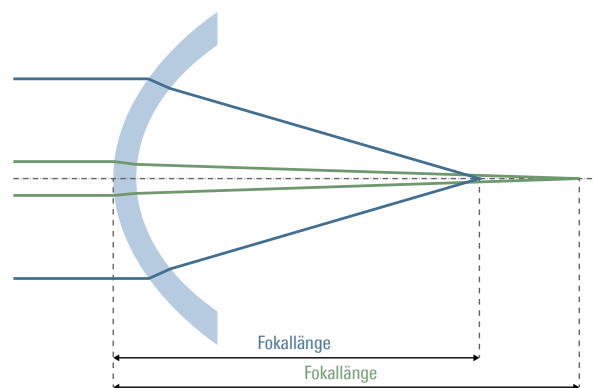


Abb. 10 Total Corneal Power: Schematische Darstellung.

2.5 Wellenfront der gesamten Hornhaut

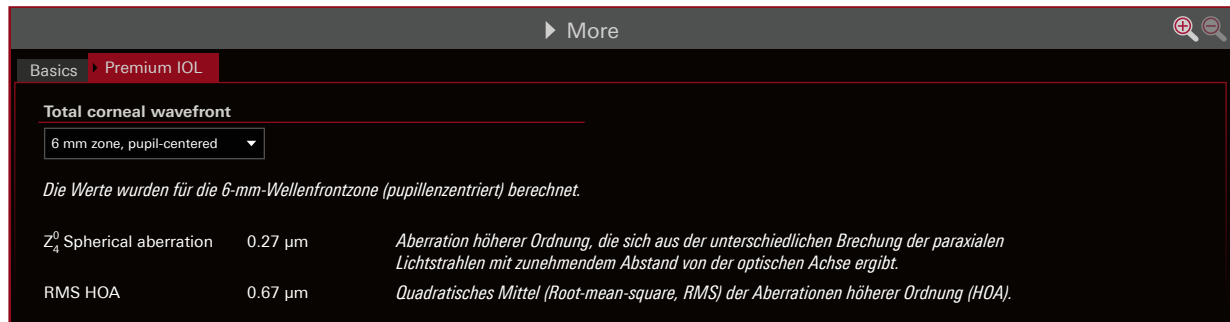


Abb. 11 Total Corneal Wavefront: Parameter.

ERWARTETE BEREICHE

Total Corneal Wavefront (6 mm)

Z ₄ ⁰ Spherical aberration ²¹	0,25 – 0,27 μm
RMS HOA ²¹	0,45 – 0,48 μm

ZONENGRÖSSE

6 mm zone, pupil-centered

Wählen Sie die für die gesamte corneale Wellenfront verwendete Zonengröße von 3–8 mm pupillenzentriert über das Dropdown-Menü. In den **Default settings** können Sie eine bestimmte Größe als Standard festlegen.

2.6 Pachymetrie

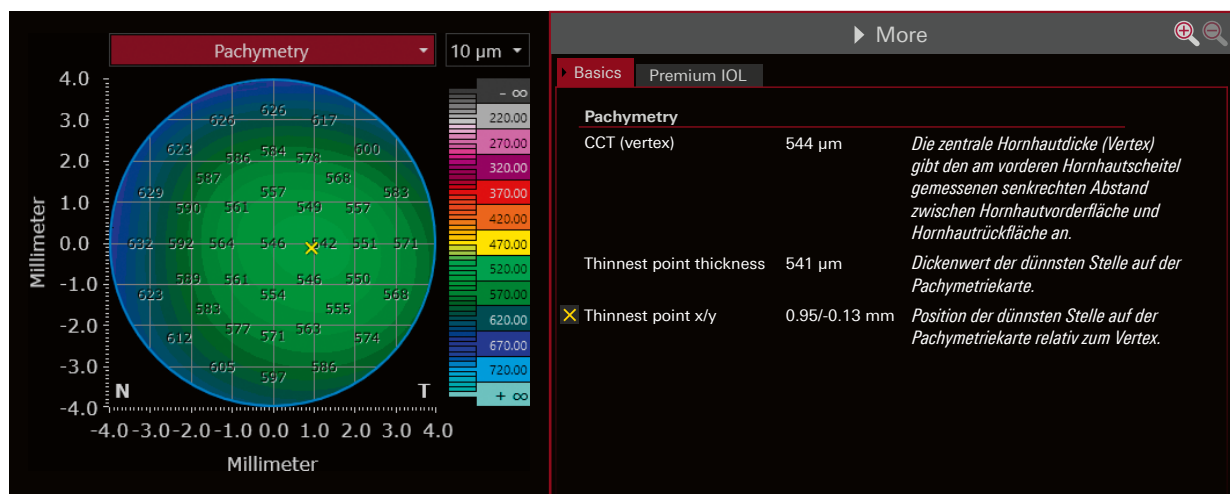


Abb. 12 Pachymetry: Karte und Parameter.

Die Karte **Pachymetry** zeigt die Dicke der Hornhaut auf einer 8-mm-Karte entlang einer Ebene, die senkrecht zur Hornhautvorderfläche verläuft. Je wärmer die dargestellten Farben sind, desto dünner ist die Hornhaut. Der dünnste Punkt kann durch Auswahl des entsprechenden Overlays **Thinnest point x/y** innerhalb des Bereichs **Pachymetry** angezeigt werden (X).

ERWARTETE BEREICHE

Pachymetry

CCT (vertex) ^{1-4, 6-15}	474 – 608 μm
-----------------------------------	--------------

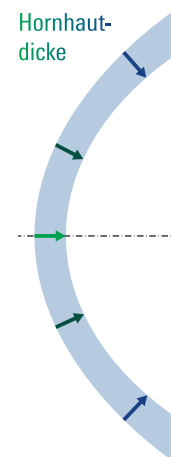


Abb. 13 Pachymetry: Schematische Darstellung.

2.7 Vorderabschnitt

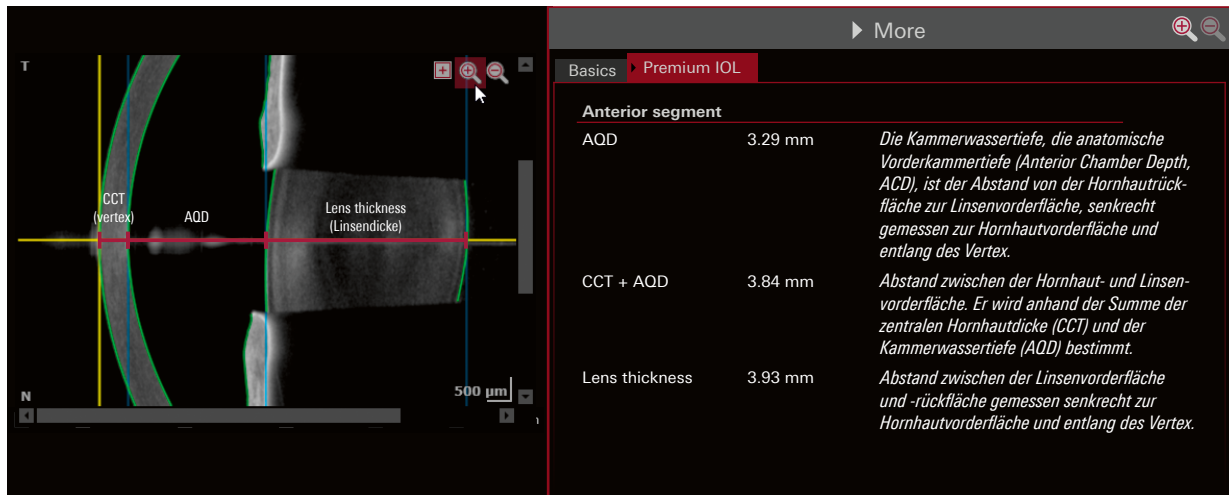


Abb. 14 Anterior Segment: Parameter.

ERWARTETE BEREICHE

Anterior Segment

AOD (ACD)	^{4, 15-19}	2,11 – 3,91 mm
Lens thickness	^{4, 12-15, 22}	3,43 – 4,77 mm

2.8 Pupille & Weiß-zu-Weiß (WTW)

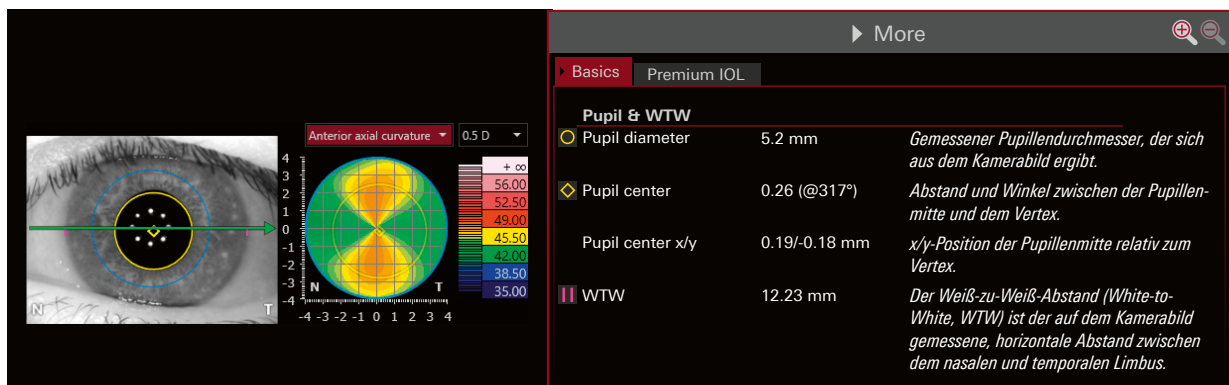


Abb. 15 Pupil & WTW (White-to-white/Weiß-zu-Weiß): Overlays und Parameter.

ERWARTETE BEREICHE

White-to-white

WTW	^{2-4, 12-14, 22-25}	11,0 – 12,8 mm
-----	------------------------------	----------------

Anatomische Grenzen ändern

FEHLERHAFT ANATOMISCHE GRENZEN

Wenn die Grenzen der Hornhautvorderfläche nicht korrekt erkannt wurden, untersuchen Sie den Patienten oder die Patientin erneut. Falls die Grenzen der Hornhaurückfläche, Linsenvorderfläche und/oder Linsenrückfläche nicht korrekt erkannt wurden, passen Sie die jeweiligen Grenzen manuell an oder erwägen Sie eine Wiederholung der Untersuchung.

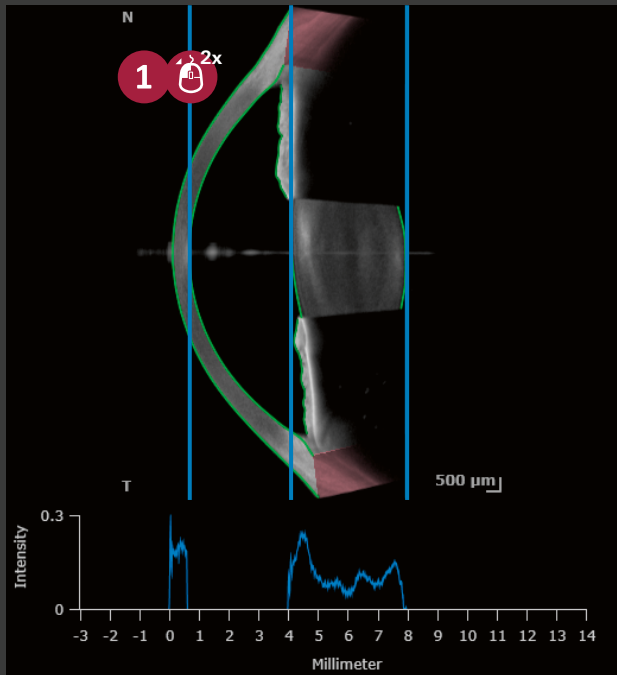


Abb. 16: Anatomische Grenzen in der Ansicht *Biometry OU*.

- 1 Doppelklicken Sie auf eine der **blauen** vertikalen Linien im OCT-Schnittbild, um die anatomischen Grenzen zu bearbeiten. Der Segmentierungseditor öffnet sich.
- 2 Ziehen Sie die vertikalen Linien der **Hornhaurückfläche**, **Linsenvorderfläche** und/oder **Linsenrückfläche** per Drag-and-Drop an die gewünschte Position.
- 3 Klicken Sie auf **Save and close**, um die Änderungen zu bestätigen.
- 4 Falls Sie das Standardbild wiederherstellen möchten, klicken Sie auf **Restore all**.

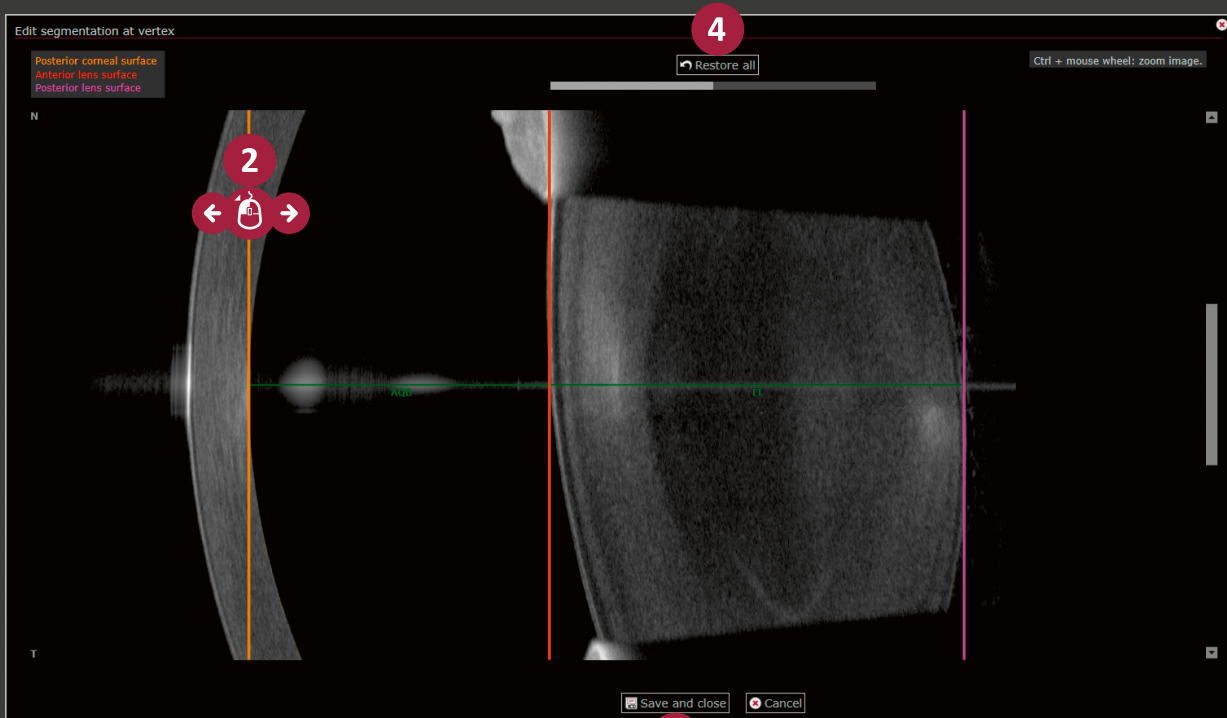


Abb. 17: Segmentierungseditor.

2.9 Achsenlänge

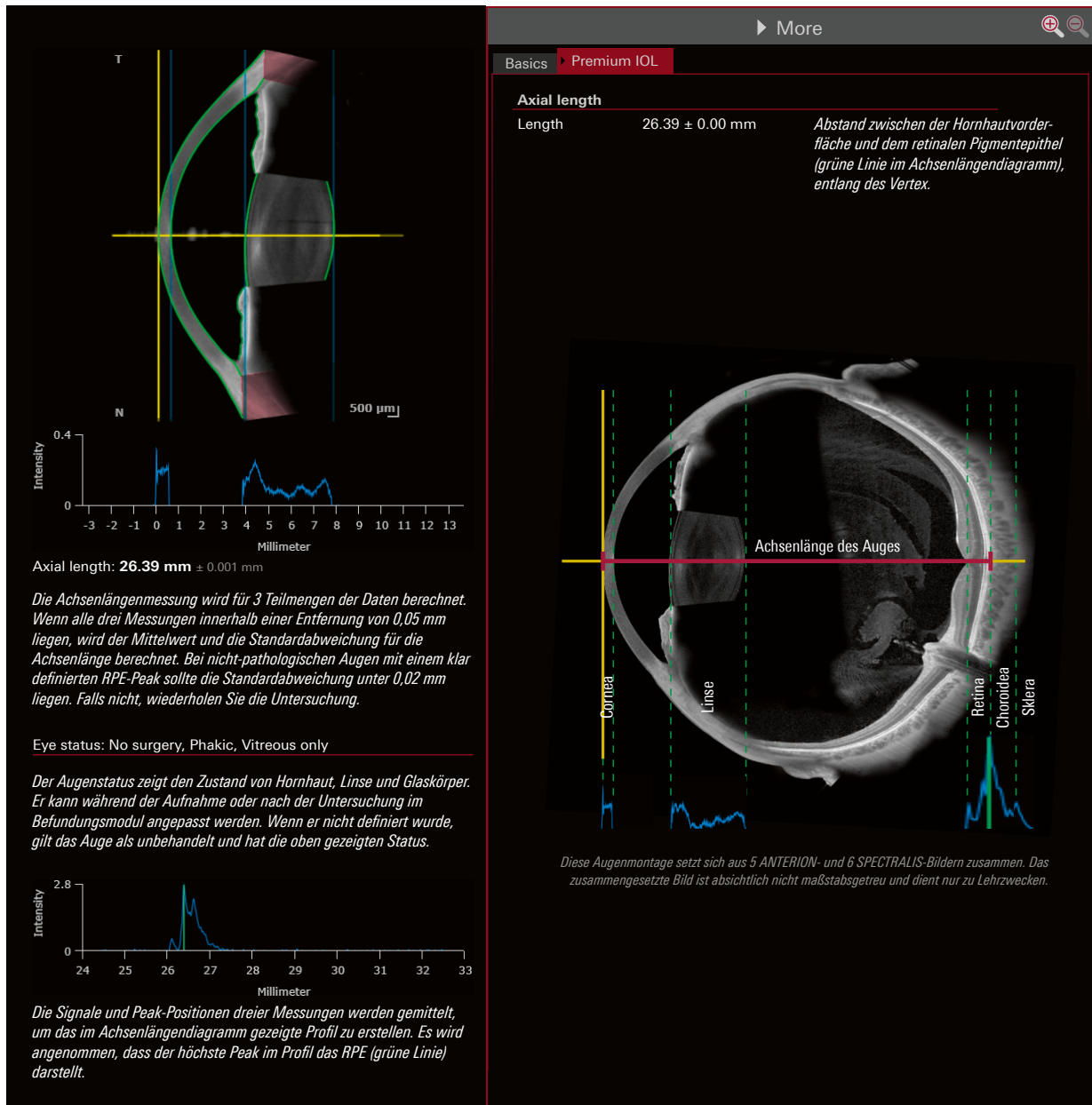


Abb. 18 Axial Length: Parameter und Bereich mit Augenstatus und Intensitätsprofilen.

ERWARTETE BEREICHE

Axial Length

Length ^{4, 10-15, 22}

21,5 – 26,4 mm

Achsenlänge



Achsenlängenwerte

ACHSENLÄNGENWERTE PRÜFEN



Abb. 19: Achsenlängenmessung mit Achsenlängenwert und -diagramm.

- 1 Prüfen Sie die Achsenlängenwerte beider Augen. Falls sie signifikant abweichen, prüfen Sie, ob die gemessenen Werte in Bezug auf den eingestellten Fixierlichtfokus und die Refraktion plausibel sind.
- 2 Prüfen Sie, ob die Standardabweichung $< 0,02$ mm beträgt. Falls nicht, wiederholen Sie die Untersuchung und stellen Sie sicher, dass das Auge des Patienten/der Patientin stabil fixiert.
- 3 Prüfen Sie das Achsenlängendiagramm auf Plausibilität und korrigieren Sie es ggf. (S.16).

ACHSENLÄNGENDIAGRAMM WIRD NICHT ANGEZEIGT

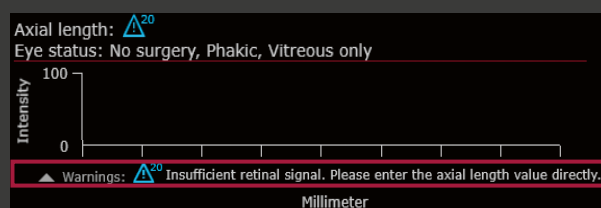


Abb. 20: Achsenlängenmessung ohne Achsenlängenwert und -diagramm.

Abb. 21: Manuelle Achsenlänge.

- 1 Wenn kein Achsenlängenwert angezeigt wird, z. B. wenn bestimmte Augenstatus ausgewählt sind, der Fixierlichtfokus nicht entsprechend eingestellt wurde oder wenn das Netzhautsignal aufgrund von Trübungen, wie Blutungen oder asteroider Hyalose, reduziert ist, wiederholen Sie die Untersuchung.
- 2 Sollte die Messung dennoch fehlschlagen, ist es möglich, die mit Ultraschall gemessene Augenlänge manuell einzugeben. Klicken Sie auf **Axial length**, geben Sie den Wert ein und bestätigen Sie mit einem Klick auf **Manual value**.

Augenstatus

Prüfen Sie, ob der Augenstatus korrekt ist, und bearbeiten Sie ihn ggf.:

- 1 Klicken Sie auf **Eye status**.
- 2 Wählen Sie den Status aus der Dropdown-Liste aus.
- 3 Bestätigen Sie, indem Sie auf **Save and close** klicken.



Abb. 22: Augenstatus bearbeiten.

* Kein Achsenlängenwert wird angezeigt.



Achsenlängendiagramm

Die reflektierten Signale verschiedener Netzhautstrukturen, z. B. der Membrana limitans interna (ILM) und des retinalen Pigmentepithels (RPE), aber auch der Aderhaut und der Sklera, bilden das Achsenlängendiagramm. Je höher die Struktur innerhalb oder hinter der Netzhaut (Aderhaut, Sklera) reflektiert, desto höher ist die resultierende Intensität im Diagramm.

ERSCHEINUNGSBILD DES ACHSENLÄNGENDIAGRAMMS

Dort, wo der Laserstrahl zuerst auf die Netzhaut trifft, ist die ILM anzunehmen. Der höchste detektierte Netzhaut-peak wird dem RPE zugeordnet, da dies die am stärksten reflektierende Struktur innerhalb einer gesunden Netzhaut darstellt. Das Achsenlängendiagramm ist somit durch einen anfänglichen kleinen bis mittleren Peak (ILM) bis zum höchsten Peak (RPE) gekennzeichnet.

Das Aussehen und die Intensitäten der Achsenlängendiagramme können allerdings je nach Trübungen im vorderen Augenabschnitt, individuellen Merkmalen und Zustand der Netzhautstrukturen (v. a. ILM und RPE), Aderhaut-/Sklerasignal, Einstellung des Fixationslichtfokus sowie Fixation variieren.

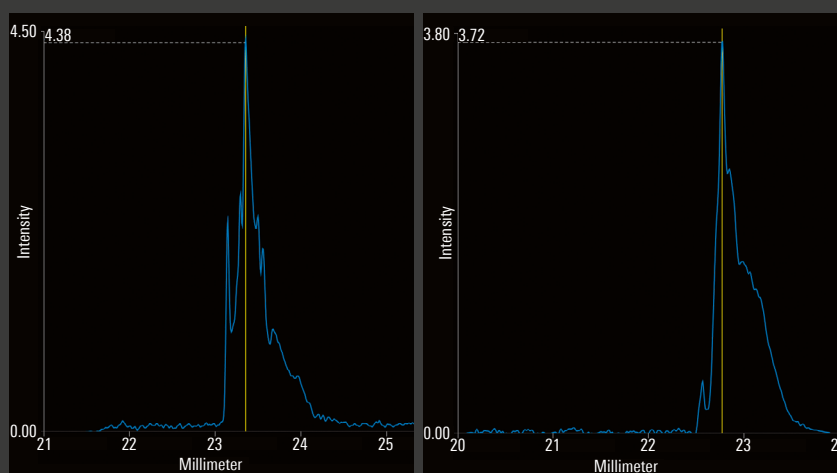


Abb. 23: Achsenlängendiagramm gesunder Augen mit unterschiedlichen Ausprägungen und Intensitäten.

ACHSENLÄNGENDIAGRAMM BEARBEITEN

- 1 Prüfen Sie den retinalen Peak im Achsenlängendiagramm. Wenn die automatische Peak-Erkennung fehlgeschlagen ist oder die grüne vertikale Linie nicht mit dem RPE-Peak übereinstimmt, korrigieren Sie den maximalen Peak manuell durch Doppelklicken auf das blaue Diagramm. Der Achsenlängen-Editor öffnet sich.

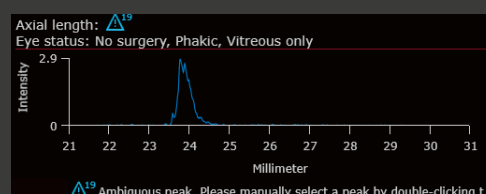


Abb. 24: Automatische Peak-Erkennung fehlgeschlagen.

- 2 Ziehen Sie die gelbe vertikale Linie an die gewünschte Position und bestätigen Sie mit einem Klick auf **Save and close**.

DATENQUALITÄT

Die Genauigkeit des ermittelten RPE-Peaks/ der Achsenlänge ist entscheidend für eine korrekte IOL-Bestimmung.

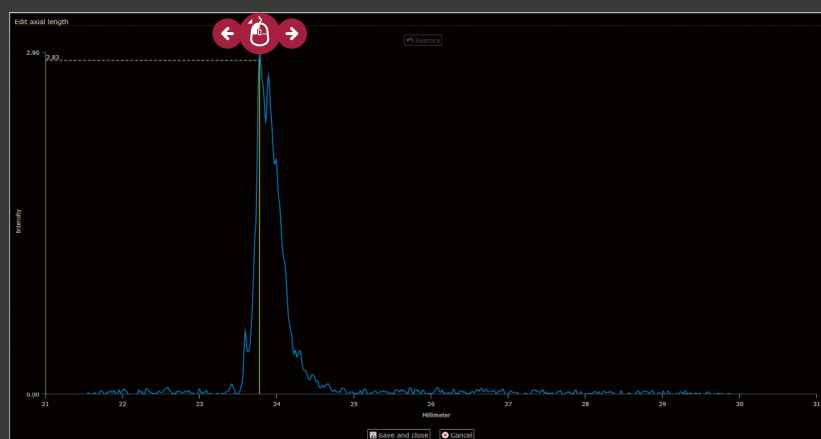


Abb. 25: Achsenlängen-Editor.

2.10 Veränderte Achsenlängendiagramme

Es gibt verschiedene Netzhaut-Pathologien, die das Aussehen des Achsenlängendiagramms je nach Lage der Pathologie verändern und die Ergebnisse der Augenlängenmessung beeinflussen können.

MANUELLE ERKENNUNG VON NETZHAUT-PEAKS

Wenn die automatische Peak-Erkennung fehlgeschlagen ist und Sie sich nicht sicher sind, ob das RPE korrekt erkannt wurde oder welcher Peak als RPE markiert werden soll, vergleichen Sie die Augenlängendifferenz mit der zentralen Netzhautschichtdicke der OCT-Untersuchung, wie in den folgenden Beispielen.

LANGGESTRECKTES ACHSENLÄNGENDIAGRAMM

Ein vergrößerter Abstand der ILM zum RPE kann durch **Ödeme**, z. B. im Zusammenhang mit altersbedingter Makuladegeneration (AMD), Gefäßverschlüssen, diabetischer Retinopathie, oder durch **Zug an der Netzhaut** bei vitreomakulärer Traktion (VMT) oder traktiver epiretinaler Membran verursacht werden.

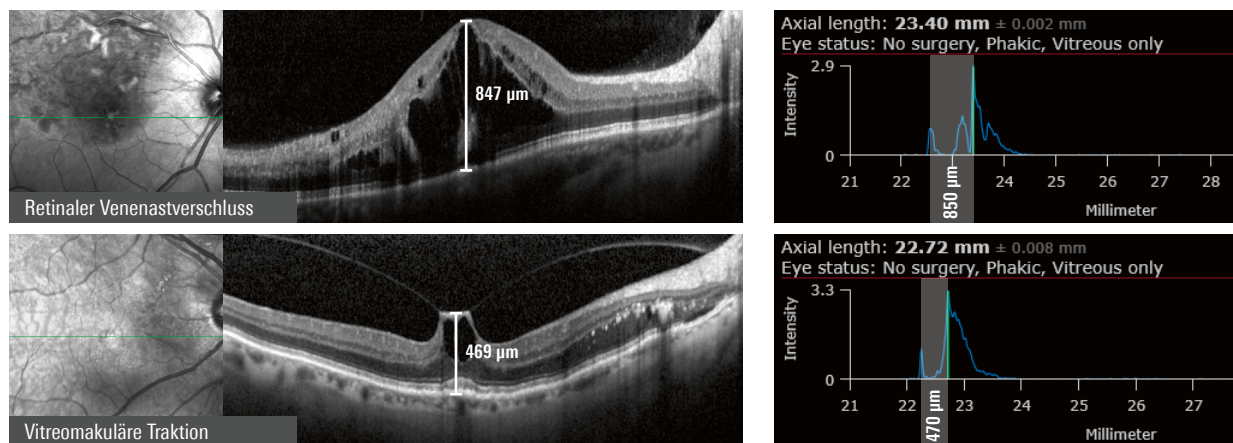


Abb. 26 Das Diagramm kann durch Ödeme (oben) oder Traktion (unten) verlängert sein.

UNGEWÖHNLICHE ÄNDERUNGEN DER INTENSITÄT

Eine **epiretinale Membran** kann aufgrund ihrer hohen Hyperreflektivität eine hohe Intensität des ersten retinalen Peaks verursachen.

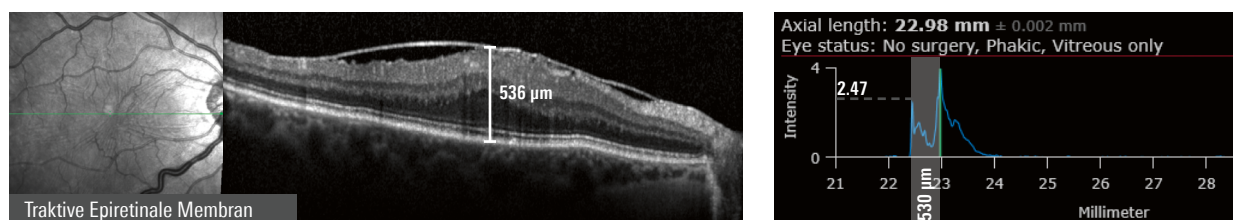


Abb. 27 Epiretinale Membran, die einen hohen Intensitäts-Peak der ILM sowie eine Vergrößerung des Abstands zwischen ILM und RPE aufgrund von Traktion verursacht.

Befindet sich die Pathologie im Messbereich, kann das Fehlen von Netzhautschichten bei einem **durchgreifenden Makulaforamen** dazu führen, dass der erste kleine bis mittlere ILM-Peak fehlt und nur der höchste RPE-Peak erkennbar ist.

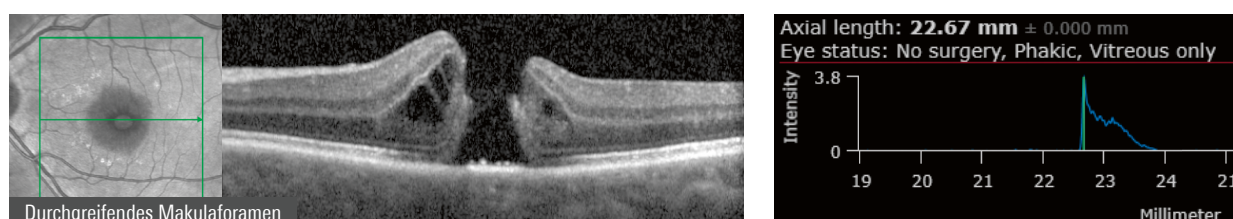


Abb. 28 Fehlender ILM-Peak bei durchgreifendem Makulaforamen.

Mit freundlicher Genehmigung von A/Prof. Heriot & Oubada El-Ali, BMedSci, Melbourne, Australia.

MEHRDEUTIGER RPE-PEAK

Wenn das RPE durch **Atrophie, Neovaskularisation oder fibrotische Veränderungen** im zu messenden Bereich pathologisch verändert ist, kann die automatische Erkennung des höchsten RPE-Peaks in einigen Fällen fehlschlagen.

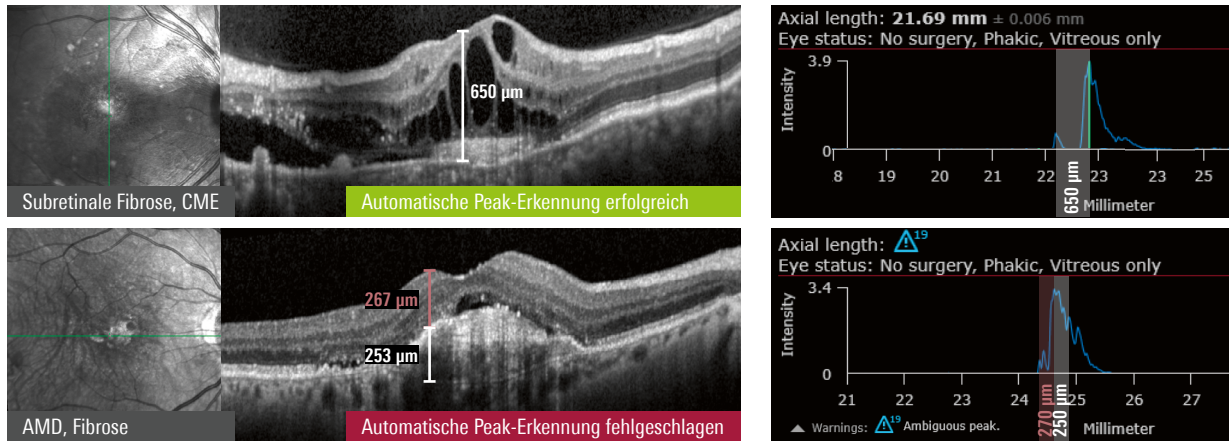


Abb. 29 Erfolgreiche (oben) und fehlgeschlagene (unten) automatische Peak-Erkennung aufgrund von makulärer Neovaskularisation und fibrotischen Veränderungen.
AMD Altersabhängige Makuladegeneration, CME Zystoides Makulaödem (Cystoid Macular Edema).

PRÄOPERATIVE UNTERSUCHUNG DER NETZHAUT

Im Rahmen der präoperativen Diagnostik ist eine OCT-Untersuchung der Netzhaut immer empfohlen, um sicherzustellen, dass die Achsenlängenmessung nicht durch pathologische Veränderungen, z. B. Pigmentepithelabhebung (Pigment Epithelial Detachment, PED) oder makuläre Neovaskularisation (MNV), beeinträchtigt wurde.

Bei einer **Pigmentepithelabhebung** kann das Achsenlängendiagramm unauffällig erscheinen, da alle Netzhautschichten aufgrund der Flüssigkeitsansammlung hinter dem RPE nach vorne verschoben sind. In diesem Fall würde die Augenlänge zu kurz gemessen werden.

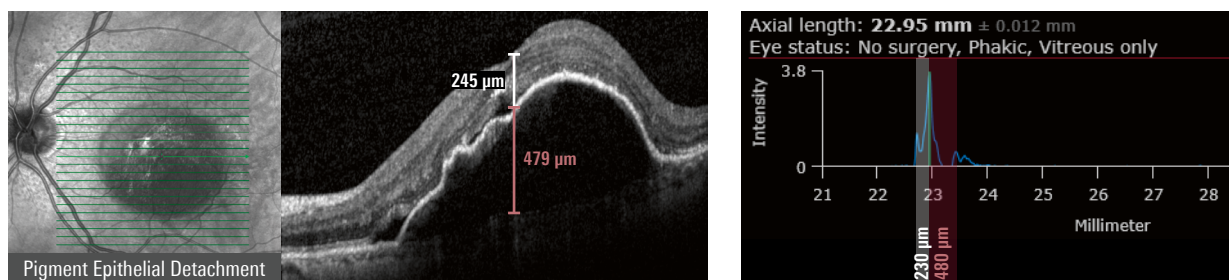


Abb. 30 Unauffällig wirkendes Achsenlängendiagramm bei einer Pigmentepithelabhebung.

3.1 Vorbehandelte Hornhaut

Die Hornhaut macht $\frac{2}{3}$ der Gesamtbrechkraft des Auges aus und ist daher eine wichtige Struktur, die bei der Bestimmung der IOL-Brechkraft zu berücksichtigen ist. Der Weiß-zu-Weiß-Abstand markiert die 11–12 mm breiten Grenzen der Cornea vom nasalen zum temporalen Limbus. Die sphärische optische Zone befindet sich im zentralen Drittel. Das steilere und dünnere Zentrum der Hornhaut wird zur Peripherie hin flacher und dicker, wodurch sich insgesamt eine negative Hornhaut-Asphärizität ergibt. Die Brechkraft hängt von der Krümmung der vorderen und hinteren Hornhautoberfläche ab.

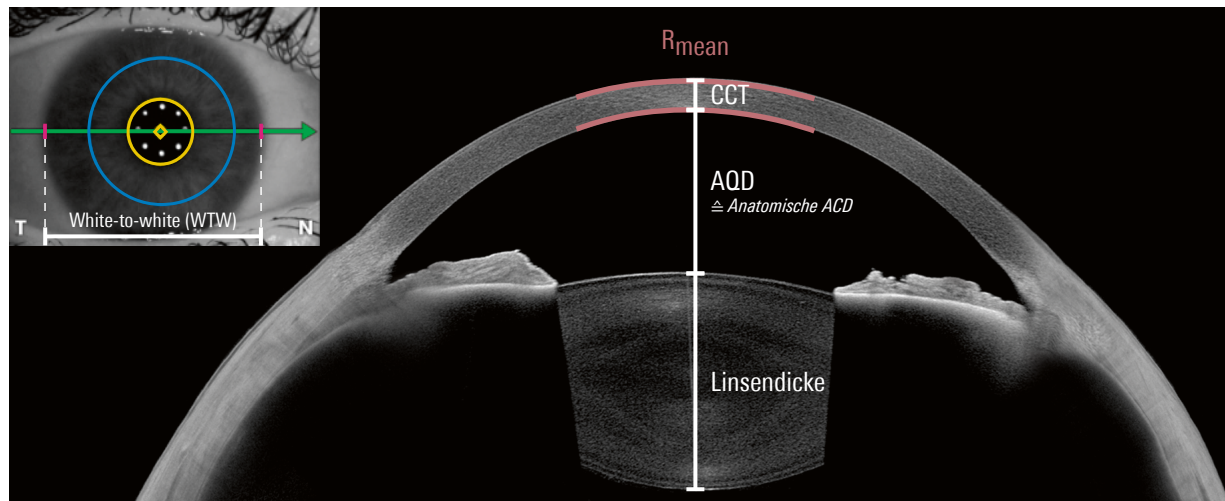


Abb. 31 Vorderer Abschnitt des Auges. CCT Zentrale Hornhautdicke (Central corneal thickness), ACD Kammerwassertiefe (Aqueous depth), ACD Vorderkammertiefe (Anterior chamber depth).

Die meisten der gängigen traditionellen Methoden zur IOL-Bestimmung, wie Haigis oder SRK-T, beruhen auf der Annahme, dass sich die Hornhaut wie eine dünne Linse mit einem konstanten Verhältnis zwischen Hornhautvorder- und -rückflächenradius (P/A-Ratio) verhält. Bei der Umrechnung von Hornhautvorderflächenradien in Dioptrien mit ANTERION wird der keratometrische Index von 1,3375 verwendet. Während die Anwendung dieser Annahmen bei normalen Augen ausreichend ist, kann sie bei der Bestimmung der IOL-Brechkraft und -Position bei schwierigen Augen aufgrund von Abweichungen der Hornhautform zu Fehlern führen.

Nach Laser-Sehkorrektur weisen Augen aufgrund myoper/hyperoper Ablation Veränderungen der Hornhaut-asphärizität und -krümmung im Vergleich zum unbehandelten Auge auf. Dies wirkt sich auf die Symmetrie und Krümmung des Hornhaut-Vorderflächenradius, die P/A-Ratio sowie auf die Gesamtbrechkraft und die Wellenfront der Hornhaut, v. a. die sphärische Aberration, aus. Das Ablationsprofil unterscheidet sich je nach Verfahren in Größe oder Form der Ablations- und Übergangszone.

MYOPES ABLATIONSPROFIL

Bei myoper Laser-Sehkorrektur wird der **vordere Krümmungsradius** durch Stromaabtragung in der zentralen Hornhaut **abgeflacht** (Abb. 32). Daher **sinkt die P/A-Ratio** und die **Gesamtbrechkraft wird schwächer** (Abb. 33). Da Biometer Hornhautradien nur im parazentralen Bereich messen (3-mm-Ring, rote Kreise und Punkte in Abb. 32 und 33), wird der zentral flachere Radius bei der Messung nicht berücksichtigt. Infolgedessen besteht die Tendenz, den **Hornhautradius** und damit die **Brechkraft der Hornhaut** zu überschätzen.

Die Anwendung von Methoden, bei denen die Hornhautkrümmung (R_{mean})/Brechkraft (K_{mean}) zur Schätzung der effektiven Linsenposition (ELP) verwendet wird, kann zu folgenden Fehlern führen:

- Unterschätzung der IOL-Brechkraft
- Eher anteriore IOL-Position
- Erhöhtes Hyperopie-Risiko nach IOL-Implantation

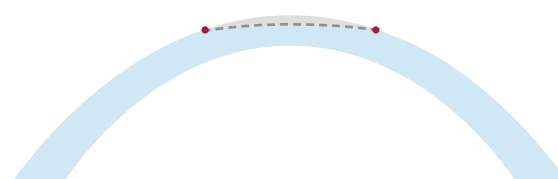


Abb. 32 Schematische Darstellung eines myopen Ablationsprofils (graue Linie) und des biometrischen Messbereichs (rote Punkte).

Weiterhin **nehmen die Aberrationen höherer Ordnung (HOA), v. a. die sphärische Aberration, zu.** Je nach Größe und/oder Verkipfung der Ablationszone können auch asymmetrische Aberrationen höherer Ordnung auftreten (mit deutlich höherer sphärischer Aberration).

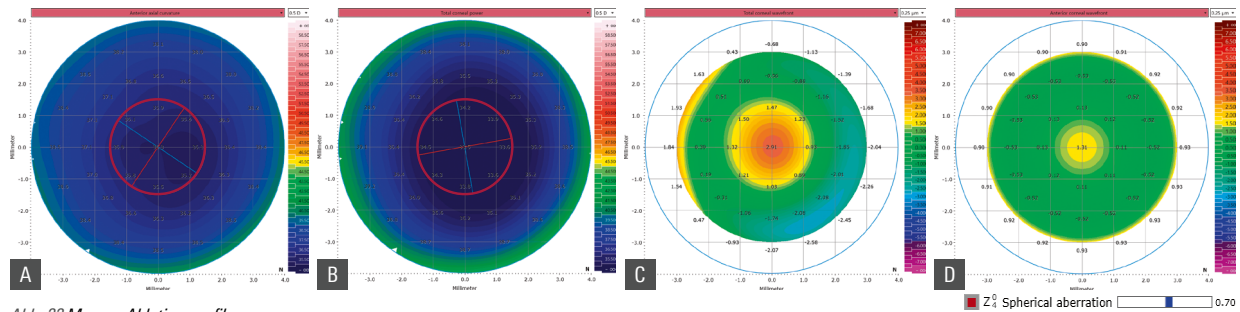


Abb. 33 Myopes Ablationsprofil:

A Flachere Anterior Axial Curvature, **B** Schwächere Total Corneal Power, **C** Höhere Aberrationen höherer Ordnung, **D** Höhere sphärische Aberration (0.70 μm).

Mit freundlicher Genehmigung von Damien Gatinel, MD, PhD.

HYPEROPES ABLATIONSPROFIL

Bei hyperoper Laser-Sehkorrektur führt der zirkuläre Stromaabtrag in der peripheren Hornhaut zu einer **steileren anterioren axialen Krümmung** und damit zu einer **Erhöhung der Gesamtbrechkraft der Hornhaut**. Da die betroffene Region bei der biometrischen Messung eher im peripheren Bereich liegt (3-mm-Ring, rote Kreise und Punkte in Abb. 34 und 35), kann die vordere Hornhautkrümmung als zu flach angenommen und damit die Brechkraft unterschätzt werden.

Die Anwendung von Methoden, bei denen die Hornhautkrümmung (R_{mean})/Brechkraft (K_{mean}) zur Schätzung der effektiven Linsenposition (ELP) verwendet wird, kann zu folgenden Fehlern führen:

- Überschätzung der IOL-Brechkraft
- Eher posteriore IOL-Position
- Erhöhtes Myopie-Risiko nach IOL-Implantation

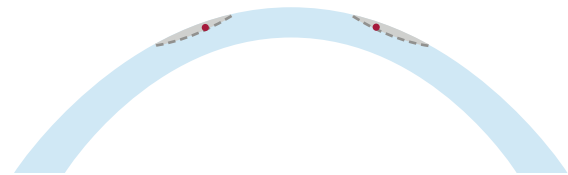


Abb. 34 Schematische Darstellung eines hyperopen Ablationsprofils (graue Linie) und des biometrischen Messbereichs (rote Punkte).

Postoperativ führt dies zu einer **negativeren sphärischen Aberration** und einem **niedrigerem Q-Wert**. Im Gegensatz dazu **nehmen die Gesamt-HOAs und der RMS der Koma zu** (Abb. 35).²⁶

Das Ausmaß der Veränderung hängt von einer Reihe von Faktoren ab, z. B. von dem gewählten Verfahren, der Größe und/oder der Dezentrierung der Ablationszone.

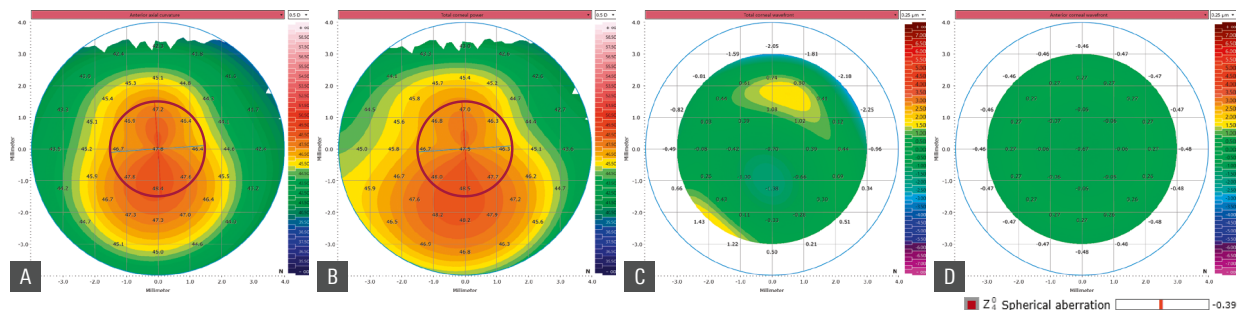


Abb. 35 Hyperopes Ablationsprofil:

A Steilere Anterior Axial Curvature, **B** Höhere Total Corneal Power, **C** Höhere Aberrationen höherer Ordnung, **D** Niedrigere sphärische Aberration (-0.39 μm)

Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Cynthia Roberts, PhD & Dr. David Castellano, MD, Columbus, OH, USA.

3.2 Lange und kurze Augen

Kurze Augen mit einer Achsenlänge unter 22,5 mm sind i.d.R. mit einer steileren Hornhaut und einer geringeren Vorderkammertiefe assoziiert. IOL-Formeln mit zwei Variablen (Achsenlänge und Keratometrie) beruhen ebenfalls auf dieser Annahme.

Mögliche Fehler bei der Bestimmung der effektiven Linsenposition (ELP) entstehen, wenn Hornhautkrümmung und Vorderkammertiefe von dieser Annahme abweichen.²⁷ Ein Unterschied in der IOL-Position bei kurzen Augen beeinflusst die postoperative Refraktion etwa dreimal so stark wie bei langen Augen. Weitere Fehlerquellen können ein kürzerer Abstand der IOL zur Netzhaut sein und/oder eine stärkere benötigte IOL-Brechkraft, da diese eine höhere Fertigungstoleranz aufweist.²⁸

Bei der Biometrie sollte auf ein hohes Maß an Aufnahme- und Datenqualität geachtet werden, da sich Messfehler bei kurzen Augen stärker auswirken als bei normalen oder langen Augen. Ein ACD-Messfehler von 0,25 mm verursacht beispielsweise einen Fehler von 0,1 dpt bei einem 30-mm-langen Auge und 0,5 dpt bei einem 20-mm-kurzen Auge.²⁹

Tab. 1: Messfehler und daraus resultierende Refraktionsfehler.²⁹
ACD Vorderkammertiefe (Anterior chamber depth),
IOL Intraokularlinse.

VARIABLE	FEHLER	REFRAKTIONSFEHLER
Hornhautradius	1,0 mm	5,7 dpt
Achsenlänge	1,0 mm	2,7 dpt
Postop. ACD	1,0 mm	1,5 dpt
IOL-Stärke	1,0 dpt	0,67 dpt

Im Gegensatz zum kurzen Auge sind **lange Augen mit einer Achsenlänge von über 26 mm** tendenziell mit einer flacheren Hornhaut, einer dünneren Linse und einer größeren Vorderkammertiefe assoziiert.³⁰ Weichen diese Strukturen von der Annahme ab, kann dies ebenfalls zu Fehlern bei der Bestimmung der ELP führen. Aufgrund der geringeren erforderlichen IOL-Stärke (und der daraus resultierenden höheren Fertigungstoleranz) beeinflusst die IOL-Position die postoperative Refraktion jedoch nicht so stark wie beim kurzen Auge.²⁸

3.3 Augen nach Vitrektomie

Bei einigen Netzhaut- und/oder Glaskörper-Erkrankungen ist eine Glaskörperersatz-Operation erforderlich, z. B. bei Netzhautablösungen oder -rissen, v. a. mit proliferativer Vitreoretinopathie, Makulaforamina, diabetischen Retinopathien oder ausgeprägten epiretinalen Membranen. Zu diesem Zweck wird Öl, Gas oder Luft in das Auge eingebracht, um Druck auf den hinteren Augenpol auszuüben. Da Luft- und Gasendotamponaden i.d.R. vorübergehend sind,³² sollte eine Biometrie bei diesen Augen vermieden werden.

Silikonöl kann oft als langfristiger Glaskörper-Ersatz dienen, doch neigen Langzeittamponaden dazu, nach der Operation eine Katarakt zu entwickeln.³¹ Außerdem beeinflusst der Ersatz mit Öl die Viskosität und den Brechungsindex des Glaskörpers. Da optische Biometer die geometrische Achsenlänge aus dem optischen Strahlengang unter Verwendung eines mittleren Brechungsindex generiert, kann dies zu veränderten Achsenlängenwerten im Vergleich zur präoperativen Länge führen. Aus diesem Grund sollte die Biometrie vor der Vitrektomie durchgeführt werden.

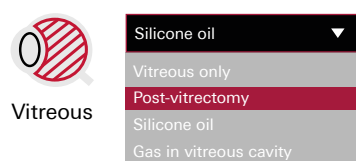


Abb. 36 Augenstatus des Glaskörpers.

KEINE PRÄOPERATIVE BIOMETRIE VERFÜGBAR

Liegen keine präoperativen Biometriedaten vor und muss postoperativ eine Untersuchung durchgeführt werden, wählen Sie den Augenstatus **Post-vitrectomy** und bestimmen Sie die IOL-Brechkraft mit OKULIX, damit der veränderte Brechungsindex des Glaskörperersatzöls eingegeben und somit berücksichtigt werden kann.



Ein Achsenlängenwert ist nur verfügbar, wenn Sie **Vitreous only** oder **Post-vitrectomy** als Augenstatus des Glaskörpers wählen.

4 Anhang

4.1 Tabelle der Begriffe und Definitionen

ACD	Vorderkammertiefe (engl. Anterior Chamber Depth)
AMD	Altersbedingte Makuladegeneration
AQD	Kammerwassertiefe (engl. Aqueous Depth)
BFS	Best Fit Sphere
CCT	Zentrale Hornhautdicke (engl. Central Corneal Thickness)
ELP	Effektive Linsenposition
HOA	Aberration höherer Ordnung (engl. Higher-order Aberration)
ILM	Membrana limitans interna (engl. Internal limiting membrane)
IOL	Intraokularlinse
K	Keratometrie
n_{ah}	Brechungsindex des Kammerwassers (engl. aqueous humor)
n_c	Brechungsindex der Hornhaut
n_k	Keratometrischer Index
OD	Rechtes Auge (lat. Oculus Dexter)
OS	Linkes Auge (lat. Oculus Sinister)
OU	Beide Augen (lat. Oculus Uterque)
P/A ratio	Verhältnis des axialen Hornhautkrümmungsradius der Rückfläche zum Hornhautkrümmungsradius der Vorderfläche
RMS	Mittlerer quadratischer Wellenfrontfehler (engl. Root-mean-square)
RMS HOA	Mittlerer quadratischer Wellenfrontfehler für Aberrationen höherer Ordnung (engl. Root-mean-square (RMS) wavefront error of higher-order aberration (HOA))
RPE	Retinales Pigmentepithel
TCP	Gesamtbrechkraft der Hornhaut (engl. Total corneal power)
SimK	Simulierte Keratometrie
WTW	Weiß-zu-Weiß (engl. White-to-white)

4.2 Literaturnachweise

1. KIM KY et al.: Anterior segment characteristics in normal and keratoconus eyes evaluated with a new type of swept-source optical coherence tomography. *PLoS One* 2022; 17(9):e0274071. DOI: 10.1371/journal.pone.0274071.
2. HERBER R et al.: Agreement and repeatability of corneal tomography in healthy eyes using a new swept-source OCT a rotating Scheimpflug camera and a dual Scheimpflug-Placido system. *J Cataract Refract Surg* 2022; 48(2):190-198.
3. KIM K et al.: Diagnostic Validation of the Screening Corneal Objective Risk of Ectasia Analyzer Evaluated by Swept Source Optical Coherence Tomography for Keratoconus in an Asian Population. *Bioengineering (Basel)* 2023; 10(11):1335.
4. The Heidelberg Engineering ANTERION Anterior Segment Cornea and IOL Precision and Agreement Study [data on file].
5. TAÑÁ-RIVERO P et al.: Repeatability of whole-cornea measurements using a new swept-source optical coherence tomographer. *Eur J Ophthalmol* 2021; 31(4): 1709-1719.
6. ESCOLANO SERRANO J et al.: Intraobserver Repeatability of Tomographic Pachymetric and Anatomical Measurements in Healthy Eyes Using a New Swept-Source Optical Coherence Topographer. *Cornea* 2022; 41(5):598-603.
7. HERBER R et al.: Comparison of corneal tomography using a novel swept-source optical coherence tomographer and rotating Scheimpflug system in normal and keratoconus eyes: repeatability and agreement analysis. *Eye Vis (Lond)* 2022; 9(1):19.
8. PÉREZ-BARTOLOMÉ F et al.: Anterior-Segment Swept-Source Ocular Coherence Tomography and Scheimpflug Imaging Agreement for Keratometry and Pupil Measurements in Healthy Eyes. *J Clin Med* 2021; 10(24):5789.
9. SAAD A et al.: Discrimination between keratoconus forme fruste keratoconus and normal eyes using a novel OCT-based tomographer. *J Cataract Refract Surg* 2023; 49(11):1092-1097.
10. SCHIANO-LOMORIELLO D et al.: Repeatability of automated measurements by a new anterior segment optical coherence tomographer and biometer and agreement with standard devices. *Sci Rep* 2021; 11(1):983.
11. CHENG SM et al.: Repeatability of a new swept-source optical coherence tomographer and agreement with other three optical biometers. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2022; 260(7): 2271-2281.
12. TAÑÁ-RIVERO P et al.: Agreement between 2 swept-source OCT biometers and a Scheimpflug partial coherence interferometer. *J Cataract Refract Surg* 2021; 47(4): 488-495.
13. TAÑÁ-RIVERO P et al.: Lens-vault analysis and its correlation with other biometric parameters using swept-source OCT. *J Optom* 2022; 15(1):88-99.
14. TANA-SANZ P et al.: Agreement of predicted intraocular lens power using swept-source optical coherence tomography and partial coherence interferometry. *Expert Rev Med Devices* 2021; 18(12): 1219-1234.
15. RUIZ-MESA R et al.: Ocular biometric repeatability using a new high-resolution swept-source optical coherence tomographer. *Expert Rev Med Devices* 2020; 17(6): 591-597.
16. CHENG SM et al.: Repeatability and Agreement of Two Swept-Source Optical Coherence Tomographers for Anterior Segment Parameter Measurements. *J Glaucoma* 2022; 31(7): 602-608.
17. XIE X et al.: Age- and refraction-related changes in anterior segment anatomical structures measured by swept-source anterior segment OCT. *PLoS One* 2020; 15(10):e0240110. DOI: 10.1371/journal.pone.0240110.
18. PARDESHI AA et al.: Intradevice Repeatability and Interdevice Agreement of Ocular Biometric Measurements: A Comparison of Two Swept-Source Anterior Segment OCT Devices. *Transl Vis Sci Technol* 2020; 9(9): 14.
19. CHAN PP et al.: Anterior chamber angle imaging with swept-source optical coherence tomography: Comparison between CASIAII and ANTERION. *Sci Rep* 2020; 10(1): 18771.
20. SAVINI G: Posterior Corneal Measurements by 4 Devices. IOL Power Club; November 2023; Palm Springs (not published).
21. PÉREZ-BARTOLOMÉ F et al.: Agreement between anterior segment swept source-OCT and Scheimpflug imaging corneal aberration measurements in healthy eyes. *Eur J Ophthalmol* 2022; 32(6):3363-3371.
22. YUN JS et al.: Evaluation of angle-to-angle and spur-to-spur using swept source optical coherence tomography in different refractive error. *PLoS One* 2022; 17(11):e0277703.
23. MONTÉS-MICÓ R et al.: Angle-to-angle and spur-to-spur distance analysis with high-resolution optical coherence tomography. *Eye Vis (Lond)* 2020; 7:42.
24. MONTÉS-MICÓ R et al.: Assessment of anterior segment measurements using a high-resolution imaging device. *Expert Rev Med Devices* 2020; 17(9): 969-979.
25. TAÑÁ-RIVERO P et al.: Agreement of white-to-white measurements with swept-source OCT Scheimpflug and color LED devices. *Int Ophthalmol* 2021; 41(1): 57-65.
26. LIN F et al.: Comparison of visual outcomes and higher-order aberrations between FS-LASIK and SMI-LIKE for moderate to high hyperopia: a 2-year result. *Cornea* 2022; 10-1097.
27. DE OCA IM et al.: IOL calculations in short, long, and postrefractive eyes. *International Ophthalmology Clinics* 2016; 56(3): 49-70.
28. HAIGIS W: Preoperative intraocular lens power calculations in problem eyes. *Zeitschrift für Medizinische Physik* 2007; 17(1): 45-54.
29. OLSEN T: Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 2007; 85(5): 472-485.
30. KOTHARI SS et al.: Recent developments in the intraocular lens formulae: An update. *Seminars in Ophthalmology* 2023; 38(2): 143-150.
31. CHEN Y et al.: Silicone oil in vitreoretinal surgery: indications, complications, new developments and alternative long-term tamponade agents. *Acta ophthalmologica* 2021; 99(3): 240-250.
32. KANCLERZ P, GRZYBOWSKI A: Complications associated with the use of expandable gases in vitrectomy. *Journal of ophthalmology* 2018: 8606494.



Headquarters

Heidelberg Engineering GmbH · Max-Jarecki-Str. 8 · 69115 Heidelberg · Germany
Tel. +49 6221 64630 · Fax +49 6221 646362

AUS

Heidelberg Engineering Pty Ltd · Suite E5, 63 Turner Street · Port Melbourne 3207 · Victoria
Tel. +61 396 392 125 · Fax +61 396 392 127

CH

Heidelberg Engineering GmbH · Schulstrasse 161 · 8105 Regensdorf
Tel. +41 44 8887 020 · Fax +41 44 8887 024

FIN

Heidelberg Engineering GmbH · Suomen sivililiike · Fonseenintie 1 · 00370 Helsinki
Tel. +358 505 226 963

UK

Heidelberg Engineering Ltd. · 55 Marlowes · Hemel Hempstead · Hertfordshire HP1 1LE
Tel. +44 1442 502 330 · Fax +44 1442 242 386

US

Heidelberg Engineering Inc. · 10 Forge Parkway · Franklin, MA 02038
Tel. +1 508 530 7900 · Fax +1 508 530 7901

www.HeidelbergEngineering.com