

KI-gestütztes ICL-Sizing mit Anterior OCT: SafeVault in der klinischen Praxis

(AI-assisted ICL sizing with Anterior OCT: SafeVault in clinical practice)

Tobias Duncker
(Halle)



KI-gestütztes ICL-Sizing mit Anterion OCT: SafeVault in der klinischen Praxis

(AI-assisted ICL sizing with Anterion OCT: SafeVault in clinical practice)

Tobias Duncker
(Halle)

→ **Zusammenfassung:** Die implantierbare Collamer-Linse (ICL) bietet eine reversible Methode zur Korrektur von Fehlsichtigkeiten, bei der die Linse im Sulcus ciliaris platziert wird. SafeVault, ein KI-gestütztes System, analysiert hochauflösende OCT-Bilddaten des Anterion OCT, um die optimale ICL-Größe vorherzusagen und die Wahrscheinlichkeit für einen idealen Bereich des Vault (250–750 µm) anzugeben. Eine Validierungsstudie mit 848 Augen belegte eine hohe Vorhersagegenauigkeit: Von den Patienten, die einen ICL-Tausch benötigten, hätte SafeVault bei 81,8% die korrekte ICL-Größe bereits präoperativ empfohlen.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 38: 19–22 (2026)

→ **Summary:** The Implantable Collamer Lens (ICL) is a reversible method for correcting refractive errors, in which the lens is placed in the ciliary sulcus. SafeVault, an AI-powered system, analyses high-resolution OCT image data from the Anterion OCT to predict the optimal ICL size and indicate the probability of an ideal vault range (250–750 µm). A validation study involving 848 eyes demonstrated high predictive accuracy: Of the patients who required an ICL exchange, SafeVault would have recommended the correct ICL size preoperatively in 81.8% of cases.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 38: 19–22 (2026)

→ Die implantierbare Collamer Linse (ICL) hat sich als sichere und präzise Option zur Korrektur von Fehlsichtigkeiten etabliert, insbesondere bei höheren Brechungsfehlern, die für eine Laserbehandlung nicht geeignet sind. Weltweit wurden bereits über 3 Millionen ICL-Implantationen durchgeführt. Der entscheidende Vorteil des Verfahrens liegt in seiner Reversibilität: Die Hornhaut wird nicht verändert, und die ICL kann bei Bedarf problemlos ausgetauscht oder explantiert werden. Die ICL der Firma STAAR Surgical (Lake Forest, CA, USA) wird in vier Größen hergestellt (12,1 mm, 12,6 mm, 13,2 mm und 13,7 mm Gesamtlänge inklusive Haptiken). Die neuere EVO-Generation (V4) besitzt einen zentralen Aquaport zur verbesserten Zirkulation des Kammerwassers. Die ICL wird im Sulcus ciliaris zwischen Iris und kristalliner Linse platziert. Postoperativ wird der sogenannte Vault kontrolliert – der Abstand zwischen ICL und körpereigener Linse. Angestrebt wird ein Vault zwischen 250 und 750 µm, was etwa einer Hornhautdicke entspricht. Ein zu geringer Vault birgt das Risiko einer Kataraktbildung (durch den Aquaport der V4-Generation jedoch deutlich reduziert), während ein zu hoher Vault den Kammerwinkel einengen und im Extremfall zu einem Winkelblock führen kann.

Die Herausforderung bei der Größenbestimmung

Traditionell basierte das ICL-Sizing in erster Linie auf den Parametern Vorderkammertiefe und Weiß-zu-Weiß-Wert (WTW). Der etablierte OCOS-Kalkulator (Online Calculation and Ordering

System) von STAAR Surgical nutzt diese biometrischen Daten, um eine Empfehlung zu geben, welche ICL-Größe implantiert werden soll. Allerdings unterliegen diese Messwerte einer gerätespezifischen Variabilität und die individuelle anatomische Komplexität des Auges lässt sich durch wenige Parameter nur begrenzt abbilden. Dies führt zwangsläufig zu einem gewissen Anteil an Ausreißern, bei denen der Vault außerhalb des optimalen Bereichs liegt. Neuere Ansätze versuchen, durch Einbeziehung zusätzlicher biometrischer Parameter die Vorhersagegenauigkeit zu verbessern [1, 2].

SafeVault: KI-gestützte Analyse von OCT-Bildern

Einen grundsätzlich anderen Weg beschreitet eine Arbeitsgruppe der Rothschild-Klinik in Paris unter Leitung von Alain Saad und Pierre Zéboulon [3]: Statt zusätzliche Einzelmesswerte zu erheben, nutzt das System SafeVault die kompletten OCT-Bilddaten des Vorderabschnitts (gemessen mit dem Anterion swept-source OCT von Heidelberg Engineering, Heidelberg) und analysiert diese mittels künstlicher Intelligenz. Statt numerischer Parameter werden die anatomischen Strukturen direkt aus den hochauflösenden Bildern erfasst.

Funktionsweise

Für die Anwendung auf der SafeVault-Webseite muss der horizontale Scan der Metrics-App des Anterion zusammen mit

der subjektiven Refraktion hochgeladen werden. Anders als konventionelle Berechnungsformeln, die auf numerischen biometrischen Werten basieren, nutzt SafeVault die Rohdaten der OCT-Bilder direkt als Input.

Wichtig: SafeVault funktioniert ausschließlich mit dem Anterion swept-source OCT von Heidelberg Engineering. Andere Vorderabschnitts-OCT-Systeme sind derzeit nicht kompatibel. Die hohe Bildqualität des Anterion mit einer axialen Auflösung unter 10 µm und einer Scantiefe von 14 mm war Voraussetzung für die Entwicklung des Deep-Learning-Algorithmus.

Für jede der vier verfügbaren ICL-Größen liefert SafeVault drei wichtige Ausgabewerte:

1. Vorhergesagter Vault (in µm)
2. Konfidenzlevel (hoch, mittel oder niedrig)
3. P250–750: Die Wahrscheinlichkeit in Prozent, dass der postoperative Vault im gewünschten Bereich von 250–750 µm liegen wird

Die empfohlene ICL-Größe ist diejenige mit dem höchsten P250-750-Wert. Dieser Ansatz bietet gegenüber bisherigen Methoden den Vorteil, dass nicht nur ein einzelner Zielwert angestrebt wird, sondern die Wahrscheinlichkeit für einen optimalen Vault-Bereich angegeben wird.

Validierungsstudie mit 848 Augen

Die Leistungsfähigkeit von SafeVault wurde in einer multizentrischen Studie an zwei deutschen Zentren extern validiert: am Institut für Augenheilkunde in Halle und an der Augenklinik Dr. Neuhann in München. Es wurden 848 Augen von 429 Patienten analysiert, die zwischen Oktober 2019 und April 2024 eine EVO ICL V4 erhalten hatten.

Zentrale Ergebnisse

Der mittlere postoperative Vault betrug 476 ± 235 µm. Die Präzision der Vorhersage lag bei 81,7% der Augen innerhalb von ± 250 µm, bei 90,7% der Augen innerhalb von ± 300 µm. Bei einem P250-750-Wert über 60% entsprach die tatsächliche Proportion der Augen mit akzeptablem Vault (250–750 µm) nahezu der vorhergesagten Wahrscheinlichkeit. Im Bereich von 60–80% erreichten 79,6% der Augen den Zielbereich, bei P250-750 über 80% waren es sogar 84,1%.

Vermeidung von ICL-Tausch

Von den 22 Augen (2,6%), die aufgrund von Problemen bei der Auswahl der Größe einen ICL-Tausch benötigten, hätte SafeVault bei 18 Augen (81,8%) die korrekte Größe von vornherein vorgeschlagen.

Erfahrungen aus der klinischen Praxis

Seit einem Jahr wählen wir am Institut für Augenheilkunde Halle die ICL-Größe basierend auf SafeVault aus. Die Ergebnisse bestätigen die Studiendaten: Wir beobachten deutlich weniger Schwankungen beim postoperativen Vault. Im klinischen Alltag hat sich das System als klare Verbesserung gegenüber dem bisherigen OCOS-Nomogramm erwiesen.

Patientenbeispiel

Das folgende Patientenbeispiel illustriert den klinischen Nutzen von SafeVault in der Praxis. Eine 47-jährige Patientin stellte sich mit dem Wunsch nach ICL-Implantation vor. Die Daten für das linke Auge sahen bei Vorstellung wie folgt aus: präoperative Refraktion: sph. -4,0 dpt, cyl. -0,75 dpt, Achse 101°. Tabelle 1 zeigt die präoperativen Vorhersagen von SafeVault und OCOS sowie die tatsächlichen postoperativen Vault-Ergebnisse. Die zugehörigen OCT-Aufnahmen sind in den Abbildungen 1–3 dargestellt.

Entsprechend der OCOS-Empfehlung wurde im November 2024 zunächst eine ICL der Größe 12,6 mm implantiert. Die postoperative Kontrolle ergab jedoch einen deutlich überhöhten Vault von 1.280 µm (Abbildung 2), sodass ein ICL-Tausch notwendig wurde. Nach Implantation der kleineren Größe 12,1 mm betrug der gemessene Vault 585 µm (Abbildung 3) und lag damit optimal im Zielbereich.

Diese Patientin zeigt exemplarisch, wie SafeVault durch präzisere Vorhersagen unnötige Zweiteingriffe vermeiden könnte. Die höhere P250-750-Wahrscheinlichkeit für die 12,1-mm-Linse (87% vs. 80%) hätte hier bereits präoperativ auf die bessere Wahl hingewiesen.

Tabelle 1: Präoperative Vorhersagen von SafeVault und OCOS sowie die tatsächlichen postoperativen Vault-Ergebnisse am Beispiel einer 47-jährigen Patientin.

ICL-Größe	Vault (SafeVault)	Konfidenz	P250-750	Empfehlung	Tatsächlicher Vault
12,1 mm	365 µm	Moderat	87 %	SafeVault ✓	585 µm ✓
12,6 mm	544 µm	Niedrig	80 %	OCOS ✓	1280 µm X
13,2 mm	779 µm	Niedrig	30 %	–	–
13,7 mm	976 µm	Niedrig	4 %	–	–

Vergleich der bildbasierten Verfahren zur Größenbestimmung

Ein weiteres vielversprechendes KI-basiertes Verfahren ist der ICL-Guru, entwickelt von der Gruppe um Roger Zaldivar in Argentinien [4]. Dieses System nutzt Ultraschallbilder (UBM) als Datengrundlage für die KI-Analyse.

Beide Ansätze haben spezifische Vor- und Nachteile: SafeVault mit dem Anterior OCT zeichnet sich durch schnelle, kontaktlose und benutzerunabhängige Messungen aus. Ein Nachteil könnte sein, dass das OCT-Signal durch Irispigment blockiert wird, wodurch der Sulcus ciliaris nicht immer direkt dargestellt werden kann. ICL-Guru mit UBM ermöglicht dagegen eine direkte Visualisierung des Sulkus und des Ziliarkörpers, ist jedoch aufwendiger in der Anwendung und benutzerabhängiger.

Welches der beiden bildbasierten KI-Verfahren letztlich die präziseren Vorhersagen liefert, werden direkte Vergleichsstudien zeigen müssen. Solche Untersuchungen laufen derzeit an der Augenklinik Dr. Neuhann in München und an der Rothschild-Klinik in Paris.

Vorteile für die klinische Praxis

SafeVault bietet mehrere klinische Vorteile:

Transparenz der Unsicherheit

Anders als bisherige Nomogramme, die eine einzelne „ideale“ Größe vorschlagen, zeigt SafeVault durch den P250-750-Wert und das Konfidenzlevel an, wie sicher die Vorhersage ist. In manchen Fällen wird deutlich, dass mehrere Größen akzeptabel wären – oder dass keine der verfügbaren Größen optimal ist. Bei Patienten, bei denen eine solche Vorhersageunsicherheit besteht, kann die Bestellung mehrerer ICL-Größen sinnvoll sein.

Reduzierung von Komplikationen

Die retrospektive Analyse der Validierungsstudie zeigt das Potenzial von SafeVault zur Reduktion notwendiger

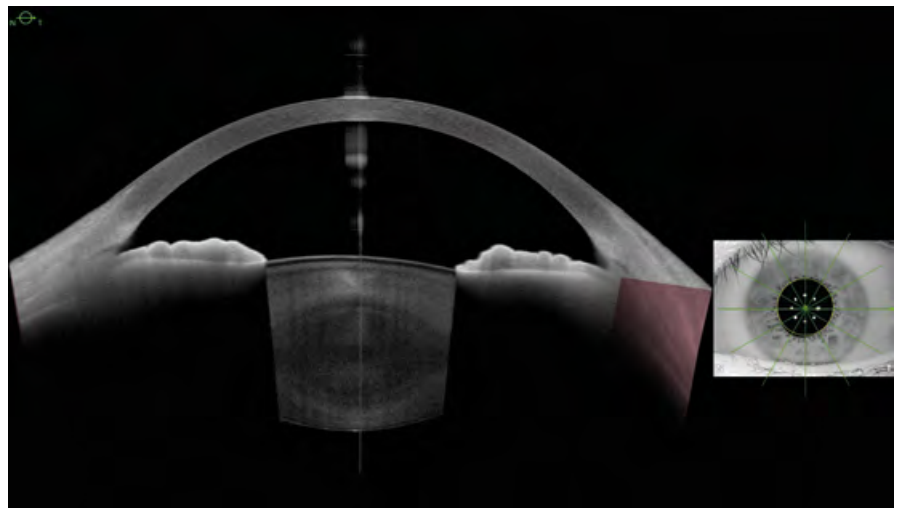


Abbildung 1: Horizontaler Metrics-App-Scan linkes Auge vor ICL-Implantation

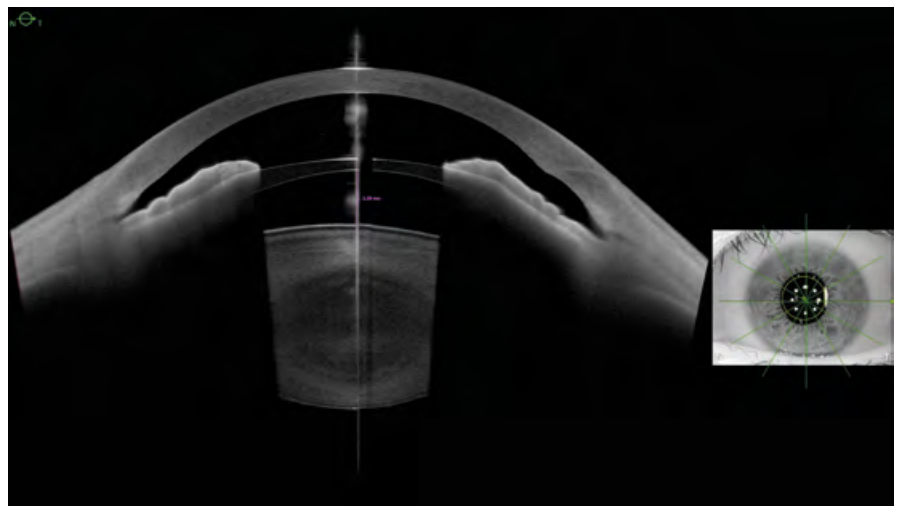


Abbildung 2: Horizontaler Metrics-App-Scan linkes Auge mit implantierter ICL in 12,6 mm = Vault 1.280 µm

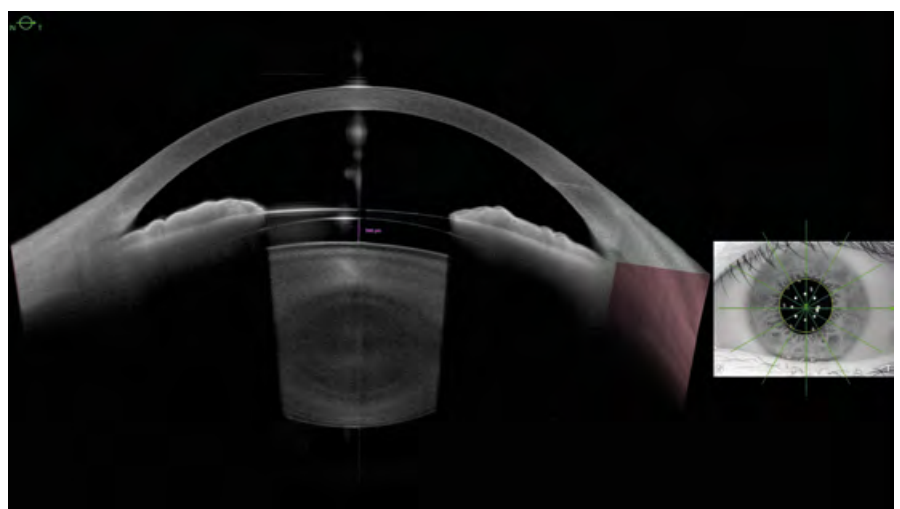


Abbildung 3: Horizontaler Metrics-App-Scan linkes Auge mit implantierter ICL in 12,1 mm = Vault 585 µm

ICL-Tausche: Bei 81,8 % der Patienten, die einen Austausch benötigten, hätte SafeVault die korrekte Größe von vornherein vorgeschlagen.

Auch für Add-On-Patienten geeignet

Das System funktioniert auch bei pseudophaken Patienten, die eine ICL als Add-On zur Korrektur von Restrefraktionen erhalten sollen [5]. Bei der Berechnung solcher Spezialfälle steht P. Zéboulon unterstützend zur Verfügung (pierrezeboulon@gmail.com).

Zugang und Ausblick

Die Anwendung von SafeVault ist für Anterion-Nutzer kostenfrei. Die Registrierung erfolgt zunächst über den nebenstehenden QR-Code. Nach der Registrierung kann man unter <https://safevaulticl.com> die Metrics-Scan-Daten hochladen und erhält die Analyse mit Größenempfehlung.

Einschränkung im Workflow

Derzeit müssen die OCT-Bilddaten manuell über die Webseite hochgeladen werden, was einen zusätzlichen Arbeitsschritt von 2–3 Minuten bedeutet. Eine direkte Integration in die HEYEX-Software von Heidelberg Engineering ist geplant und würde den klinischen Workflow vereinfachen.

Fazit

SafeVault nutzt künstliche Intelligenz zur Analyse hochauflösender OCT-Bilddaten für die ICL-Größenwahl. Die externe Validierung bestätigte eine hohe Vorhersagegenauigkeit (90,7 % innerhalb $\pm 300 \mu\text{m}$). Besonders wertvoll ist die Angabe der Wahrscheinlichkeit (P250-750) für einen optimalen Vault, die dem Operateur eine zusätzliche Entscheidungshilfe bei der Größenwahl gibt. Wichtig ist jedoch zu betonen: SafeVault bietet keine 100 %ige Sicherheit – kein System zur ICL-Größenbestimmung kann dies derzeit leisten. Die Integration in den klinischen Workflow ist unkompliziert. Die Beschränkung auf das Anterion-System ist gleichzeitig Stärke und Limitation: Die exzellente Bildqualität ermöglicht die KI-basierte

Analyse, schränkt aber die Verfügbarkeit ein. Für operative Zentren, die ICLs implantieren und bereits mit dem Anterion arbeiten, ist SafeVault eine wertvolle Ergänzung ohne zusätzlichen apparativen Aufwand.

Literatur

1. Kim T, Kim SJ, Lee BY et al (2023) Development of an implantable collamer lens sizing model: a retrospective study using ANTERION swept-source optical coherence tomography and a literature review. BMC Ophthalmol 23: 59
2. Yamashita K, Kobayashi M, Igarashi A et al (2024) Enhanced ICL sizing accuracy using advanced optical coherence tomography-based predictive formula. Am J Ophthalmol 268: 86–93
3. Zéboulon P, Mechleb N, Rizk M et al (2025) Validation of a new Implantable Collamer Lens sizing algorithm based on the Anterion swept source OCT images. J Cataract Refract Surg: <http://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000001764>
4. Zaldivar R, Zaldivar R, Cummings AB et al (2025) Evaluating the predictive accuracy of an AI-based tool for postoperative vault estimation in phakic intraocular lens implantation. Clin Ophthalmol 19: 1945–1956
5. Duncker GIW, Sasse AC, Duncker T (2019) A prospective pilot study using a low power piggy-back toric implantable Collamer lens to correct residual refractive error after multifocal IOL implantation. Clin Ophthalmol 13: 1689–1702



Korrespondenzadresse:

Dr. med. Tobias Duncker
Institut für Augenheilkunde Halle
Rathenauplatz 12
06114 Halle
tobias.duncker@augenheilkunde.de

Zur Registrierung
für Anterion-Nutzer
bei SafeVault:

