

Topografiebasierte Biometrie: Raytracing für anspruchsvolle Lösungen

Urs Thomann, Willisau

In speziellen Situationen ist die Berechnung der Intraokularlinse über einen konventionellen Zugang mit Formeln und Keratometrie ungeeignet für die Voraussage eines annähernd genauen postoperativen Ergebnisses. In diesem Fall eignet sich Raytracing sehr gut, um die am besten geeignete Linse auszuwählen.

Die Ansprüche an eine möglichst genaue Berechnung der Dioptrienstärke für Intraokularlinsen (IOL) nach Kataraktoperation sind in den letzten Jahren gestiegen. Die optische Biometrie hat wesentlich dazu beigetragen, die Messgenauigkeit zu verbessern.

Die Linse eines «Durchschnittsauges» kann mit den herkömmlichen Methoden wie Ultraschallmessung, Keratometrie und den gängigen Formeln im Allgemeinen genügend genau gemessen und berechnet werden. Die einzige Unsicherheit besteht aber nach wie vor in der effektiven postoperativen Linsenposition, welche nie genau vorausgesagt werden kann. Das Ergebnis hängt besonders bei kurzen Augen deutlich von dieser Linsenposition ab. Spezielle Situationen erschweren eine hinreichend genaue Messung und Berechnung oder verunmöglichen sie sogar, wenn man den konventionellen Zugang mittels Formeln und Keratometrie wählt. So sind Voraussagen bei Patienten nach kornealen refraktiven Eingriffen nur mit grosser Mühe und komplizierten Berechnungen möglich. Der konventionelle Weg über Formeln ist ohne historische Daten unsicher.

Der Hauptgrund dafür liegt in der Tatsache, dass die klassische Linsenberechnung mit Formeln ein konstantes Verhältnis der Krümmung der Vorder- zur Hinterfläche der Hornhaut annimmt. Ausserdem misst man mit den Keratometriegeräten (zum Beispiel Javal) die Krümmung der Hornhaut parazentral und schliesst dabei auf die Krümmungsverhältnisse der übrigen Hornhaut. Dies stimmt nach kornealen refraktiven Eingriffen nicht mehr. So ändert sich die Asphärizität der Oberfläche nach solchen Eingriffen beträchtlich. Das sollte auch die Linsenberechnung berücksichtigen.

Am besten löst man dieses Problem mit einer topographiebasierten Berechnung mittels Raytracing unter Einbezug von Hornhautvorder- und -hinterfläche, wie sie die Software Okulix® bietet. Mit diesem Verfahren lassen sich gleichzeitig die Veränderung der Asphärizität und das neue Krümmungsverhältnis in die Berechnung einbeziehen. Damit kann also auch eine Aussage über die resultierende Asphärizität des Auges nach Implantation einer bestimmten IOL getroffen und je nach Bedürfnis des Patienten die richtige Linse gewählt werden. Die Berechnung mit Okulix® ist einfach, die Fehlerquote klein.

Bei irregulären Oberflächen ist die topografiebasierte Raytracingmethode der einzig gangbare Berechnungsweg, denn eine Keratometrie ist nicht möglich.

Bei (Epi-)Keratoplastiken ist zusätzlich das Verhältnis Vorder-Hinterfläche der Hornhaut irregulär verändert. Ein konventionelles Vorgehen ist mit gravierenden Fehlern in der Voraussagbarkeit der Linsenstärke belastet.

Die Berechnung mit topografiebasiertem Raytracing erlaubt auch zu entscheiden, wie sinnvoll bei einem bestimmten Patienten die Implantation einer asphärischen IOL ist, denn durch die Berech-

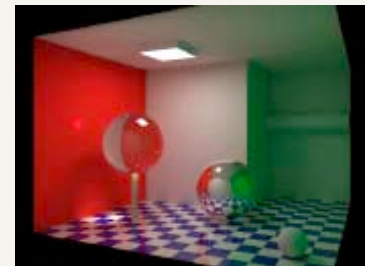
Raytracing für 3D-Grafik und IOL-Berechnung

Die Strahlverfolgung (Strahlenverfolgung, Raytracing) ist ein Algorithmus, der die Sichtbarkeit dreidimensionaler Objekte von einem bestimmten Punkt im Raum aus ermittelt. Nach Aussendung von Strahlen wird eine Verdeckungsrechnung vorgenommen oder der Weg von Strahlen nach dem Auftreffen auf Oberflächen berechnet. Im Alltag begegnet man den Resultaten des Raytracings in 3D-Computergrafiken. Durch Simulation des Weges von Lichtstrahlen durch die Szene kann beispielsweise die Lichtverteilung berechnet werden.

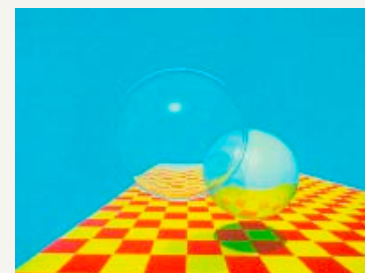
Raytracing funktioniert im Grundprinzip wie die Vorstellung der griechischen Antike von der Sehfunktion. Die Griechen stellten sich vor, aus ihren Augen kämen Strahlen, die auf die Umgebung treffen und Nachricht an das Auge zurückmelden, was sie getroffen haben, wie weit der Gegenstand weg es ist und welche Farbe er hat.

Mit Okulix® wird der Verlauf einzelner Lichtstrahlen im pseudophaken Auge exakt an jeder Grenzfläche berechnet und dabei auch die Beugung an der Pupillaröffnung mit berücksichtigt. Ein Strahl, der mehrere Grenzflächen durchläuft, kann nicht analytisch in geschlossenen Formeln

berechnet werden, denn hieraus würden sich sogenannte «transzendente Gleichungen» ergeben, die aus prinzipiellen mathematischen Gründen nicht lösbar sind. Daher verwendet Okulix® numerische Methoden.



Eines der ersten mit rekursivem Raytracing berechneten Bilder (T. Whitted)



Globale Beleuchtung mittels Raytracing. Deutlich zu sehen sind Effekte wie das «Abfärben» der Wände auf andere Flächen (G. Tanski).

nung mit Okulix® wird nicht nur die Zielkorrektur paraxial, bei enger photopischer Pupille, sondern auch die gesamte sphärische Aberration des Auges nach Implantation einer bestimmten IOL berechnet. Damit wird eine Aussage möglich, wie sich die Refraktion bei skotopischer, weiter Pupille verändert. Dies hängt natürlich auch von den Bedürfnissen des Patienten ab.

Ohne eine solche Berechnung mit Beachtung der mesopisch-skotopischen Pupillengrösse und den Bedürfnissen des Patienten ist die Wahl einer asphärischen IOL nicht sinnvoll, da man den Effekt der Linsenwahl nicht genau kennt. Nicht jedes Auge profitiert von einer asphärischen Linse. Es gibt durchaus Patienten, die von der sphärischen Aberration in die Nähe profitieren (Schärfentiefe). Der Entscheid für oder gegen eine asphärische IOL muss fundiert berechnet werden – genau wie die torische Korrektur eines Astigmatismus.

In Zukunft werden die Linsenhersteller wahrscheinlich verschiedene Asphärizitäten anbieten. Damit hätte man die gleiche Situation für die Asphäre wie für den Astigmatismus erreicht.

Fazit

- Raytracing ist eine exakte Untersuchungsmethode.
- Die Berechnung der IOL ist bei irregulärem Astigmatismus nur mittels Raytracing möglich.
- Die Berechnung der IOL ist bei einem Zustand nach refraktiver Hornhautchirurgie viel exakter.
- Die Raytracing ermöglicht dem Chirurgen die Entscheidung, welchen Typ Linse er implantieren soll (sphärisch / asphärisch).

Korrespondenzadresse:

Dr. Urs Thomann
Augenzentrum Willisau
Ettiswilerstr 12/14
6130 Willisau
U.Thomann@gmx.ch

Der Autor konstatiert keine finanziellen Interessen am Produkt.