

Diagnostik vor Kataraktoperation bei Implantation torischer Linsen

Teil 1: Technik der Biometrie

Peter Hoffmann
Castrop-Rauxel

→ Torische Intraokularlinsen haben in der Kataraktchirurgie in den letzten Jahren einen zunehmend wichtigeren Stellenwert erlangt. Der refraktive Erfolg der Operation, d.h. eine möglichst große Brillenunabhängigkeit, ist für Patienten und Augenärzte zu einem der wichtigsten Erfolgskriterien geworden.

Wir haben unsere erste torische IOL 1998 implantiert und die Weiterentwicklung des Gebietes miterlebt. Der Durchbruch torischer Linsen gelang mit der Einführung der ersten faltbaren Modelle (Dr. Schmidt Intraokularlinsen), die durch Inzisionsbreiten < 4 mm eingesetzt werden konnten. Heute sind überwiegend einstückige Linsen aus hydrophobem oder hydrophilem Acrylat üblich, die durch Schnitte $\leq 2,5$ mm implantiert werden können.

Obwohl der Anteil der torischen IOL in Deutschland kontinuierlich steigt, wird nur eine Minderheit der Patienten, die potentiell von einer solchen Linse profitieren würden, auch damit versorgt. Dies steht in scharfem Gegensatz zu augenärztlichen Brillenverordnungen. Hier ist das torische Glas mit einem Anteil von 77,2% der Normalfall, während die torische Linse mit einem Marktanteil von weniger als 2% nach wie vor die Ausnahme darstellt.* Sähe man die Indikationsgrenze bei 1,5 dpt keratometrisch gemessenem Hornhautastigmatismus, müssten eigentlich 16,6% aller Katarakt-Augen solchermaßen versorgt werden [4]. Bei Multifokallinsen wird üblicherweise die Indikation bereits bei geringeren Astigmatismen angesetzt, so dass in unserer Klinik etwa 45% aller implantierten Multifokallinsen torisch sind (TIOL).

Der Beitrag ist als Serie konzipiert: Erfahrungen, Tipps und Tricks zur Indikationsstellung, Planung, Berechnung, Durchführung und Kontrolle der TIOL-Implantation werden weitergegeben. In diesem ersten Teil werden die Messtechniken erläutert.

* Auswertung von 54 207 Brillenverordnungen aus der eigenen Praxis in Castrop-Rauxel

Messtechnik

Für die Indikationsstellung und Berechnung einer torischen Linse ist die Biometrie (vor allem Achsenlänge und Hornhautradien) entscheidend. Die präoperative Refraktion kann irreführend sein, denn bei Katarakt-Patienten liegt fast immer auch ein Linsenastigmatismus vor. Dieser kann den Hornhautastigmatismus abschwächen oder verstärken. Aus diesem Grund sollte die Refraktion nur als Plausibilitätskontrolle dienen und nicht als Berechnungsgrundlage.

Als Grundlage für die TIOL-Berechnung kommen Keratometrie und Topographie als objektive Verfahren in Frage.

Achsenlänge

Zur Berechnung einer Intraokularlinse muss als wichtigster Parameter die Länge des Auges bekannt sein. Dazu werden akustische und optische Verfahren angewandt.

A-Bild Ultraschall

A-Bild-Ultraschall wurde bereits in den 1970er Jahren für die Berechnung von Intraokularlinsen eingesetzt. Man unterscheidet Immersions- und Kontaktverfahren. Das Immersionsverfahren, bei dem die Sonde das Auge nicht direkt berührt, sondern mit einem Wasservorlauf arbeitet, ergibt eine größere Achslänge, da das Auge nicht indentiert wird, liefert gleichmäßigere Ergebnisse und ist daher unbedingt vorzuziehen [3, 7].

In der Praxis wurde und wird aber zumeist das Kontaktverfahren genutzt, da es am sitzenden Patienten durchgeführt werden kann und weniger umständlich und zeitraubend ist als das Immersionsverfahren. Leider wird damit Präzision verschenkt.

Auch in der Zeit der optischen Messverfahren gibt es noch einen Anteil von 3–15% aller Augen – je nach Klientel und Gerät –, die nicht optisch messbar sind und daher einer Ultra-

schalluntersuchung bedürfen. Gründe dafür sind meist sehr dichte Katarakte, insbesondere hintere Schalentrübungen. Wenn in solchen Fällen eine Premiumlinse, wozu wir die torische IOL zählen, implantiert werden soll, empfehlen wir auf jeden Fall eine Immersionsmessung, um postoperative Enttäuschungen bei der Refraktion möglichst zu vermeiden.

Zeiss IOLMaster

Die Einführung des Zeiss IOLMasters, des ersten kommerziell angebotenen optischen Biometers, Ende 1999 eröffnete ein neues Kapitel in der Intraokularlinsenberechnung. Die optische Messung der Achsenlänge ist aufgrund der höheren Auflösung genauer als die Ultraschallmessung und dazu viel weniger abhängig von Können, Erfahrung und Zeitinvestition des Untersuchers.

Beides zusammen führte zu deutlich besserer Vorhersagbarkeit bei der IOL-Berechnung, was gerade bei Premiumlinsen, die mit dem Argument der besseren Brillenunabhängigkeit angepriesen werden, natürlich besonders wichtig ist.

Das Messprinzip des IOLMasters ist Teilkohärenzinterferometrie (engl.: partial coherence interferometry, PCI); Grundlage ist das Michelson-Interferometer.

Die Messung von optischen Teilstrecken ist mit diesem Messgerät nicht möglich.

Die Versionen ab V5 sind in der Lage, durch Summation den Signal-Rausch-Abstand deutlich zu vergrößern und damit den Anteil der nicht messbaren Augen von 10–15 % auf 3–5 % zu reduzieren. Aufgrund der Tatsache, dass der IOLMaster schon sehr lange am Markt ist und auch wegen der hohen Zuverlässigkeit besitzt fast jeder Operateur ein solches Gerät. Daher kann man von einem Gold-Standard der Achslängenmessung sprechen.

Haag-Streit Lenstar

Der Lenstar funktioniert anders als der IOLMaster nach dem Prinzip der Niedrigkohärenz-Reflektometrie (engl.: optical low coherence reflectometry, OLCR). Für die Praxis ist es wichtig zu wissen, dass mit diesem Messverfahren auch die Teilstrecken des optischen Pfades, d.h. die Abstände zwischen allen optischen Grenzflächen gemessen werden können. Anders als beim IOLMaster, der mit einem Durchschnittsindex für das gesamte Auge arbeitet, müssen hier für alle Teilstrecken auch die dazugehörigen Brechungsindizes bekannt sein.

In der klinischen Routine kann der Lenstar präzise Informationen über die Vorderkammertiefe und die Dicke der natürlichen Linse liefern. Durch die in der Gerätesoftware hinterleg-

ten sogenannten IOL-Formeln der dritten Generation werden diese Informationen aber nicht genutzt, da die amerikanischen Formeln [2, 5, 8] nur Achsenlänge und Hornhautradien verwenden, während die in Deutschland besonders populäre Haigis-Formel zwar die Vorderkammertiefe nutzt, nicht aber die Linsendicke [1].

Um die Vorteile auch nutzen zu können, gibt es mehrere Möglichkeiten (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

1. Eine vorhandene Dünne-Linsen-Formel wird umprogrammiert, um die zusätzlichen Informationen zu verarbeiten. Wir haben dies hausintern getan; das ist allerdings nur möglich, wenn mehrere Hundert Patienten bereits gemessen und operiert sind, um die nötigen Analysen durchzuführen. In der Praxis wird dieser Aufwand für die meisten Kliniken nicht leistbar sein.

2. Man verwendet die Olsen-Formel [4, 6]. Hierfür ist ein separates Software-Paket namens „Phacooptics“ erhältlich, das über die ursprünglich veröffentlichte Formel hinausgeht.

3. Man verwendet die Holladay 2-Formel. Leider ist diese bis heute nicht publiziert und es ist nicht klar, wie genau die Daten genutzt werden. Es ist notwendig, die Software „Holladay IOL Consultant“ zu installieren.

4. Statt der herkömmlichen, auf Gaußscher Optik basierenden IOL-Formeln wird das Raytracing-Programm „Okulix“ verwendet. Dieses ist in der Lage, Lenstar-Daten mit wenigen Tastendrücken zu importieren und die Informationen über die Position der natürlichen Linse zu verarbeiten. Eine Kalibrierung, „Konstantenanpassung“ o. ä. ist nicht notwendig.

Durch Datenaustausch der Arbeitsgruppen Aarhus und Castrop-Rauxel/ Mainz konnte gezeigt werden, dass die Vorhersagepräzision der beiden Softwarepakete Okulix und Phacooptics in mehreren Hundert Datensätzen mit sphärischen Alcon SA60AT Linsen gleich gut ist und der Vorhersagefehler gegenüber den herkömmlichen Formeln um 9-10% verbessert wird. Bei asphärischen, aberrationskorrigierenden Linsen wird die Differenz tendenziell noch größer. Das Raytracing hat den großen Vorteil, dass auch eine Topographie mit eingebunden werden kann, was Vorteile bei folgenden Situationen bringt:

- Auswahl der bestgeeigneten Asphärizität
 - Torische IOL
 - Deviante Hornhäute z.B. nach refraktiver Hornhaut-Chirurgie jedweder Art, Keratoplastik, Keratokonus u.s.w.
- Unser praktisches Vorgehen ist zur Zeit so, dass wir aufgrund des zügigen Untersuchungsablaufs und der relativen „Narrensicherheit“ des Gerätes in der Routine den IOLMaster verwenden, bei Premium-Linsen jedoch mit dem Lenstar zusätzlich messen und die IOL-Berechnung mit Okulix durchführen.

Hornhaut

Manuelle Keratometer

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollen hier zwei besonders gängige Geräte aus der großen Zahl manueller Keratometer erwähnt werden. Manuelle Keratometer funktionieren über zwei Messmarken, die exzentrisch auf die Hornhaut gespiegelt werden und im Gerät durch manuelle Verstellung zur Koinzidenz gebracht werden. Daraus folgt, dass erstens die Messung nie ganz zentral erfolgt und zweitens ein sphärisches Modell der Hornhaut zugrunde gelegt wird.

Littman-Ophthalmometer – „Zeiss-Bombe“

Das Ophthalmometer H, auch liebevoll „Zeiss-Bombe“ genannt, ist als Gold-Standard der manuellen Keratometer zu sehen. Es misst bei einer durchschnittlichen Hornhaut jeweils 1,3 mm exzentrisch (also 2,6 mm Durchmesser des Messkreises). Das Gerät misst entfernungsunabhängig und damit auch unabhängig vom Refraktions- und Akkomodationsstatus des Untersuchers, was ein großer Vorteil ist. Der erfahrene Untersucher sieht auch Tränenfilm-Probleme direkt an der Verzerrung und schlechten Abbildung der Messmarken, was auch bei der Fehlervermeidung hilfreich ist. Die Zeiss-Bombe hat eine Messgenauigkeit von zirka $\frac{2}{100}$ mm und kann damit als das genaueste manuelle Gerät gelten.



Abbildung 1: Messprotokoll der optischen Biometrie. Durch die Laser-Interferenzmessung erfasst werden die zentrale Hornhautdicke, Vorderkammertiefe, Linsendicke, Glaskörpertiefe und Netzhautdicke. Die Keratometrie bezieht sich auf zwei Messkreise; ausgewiesen werden Radien und deren Differenz (= kornealer Astigmatismus). Die anderen Messungen wie Hornhautdurchmesser, Iris- und Pupillendaten finden in die Biometrie normalerweise keinen Eingang.

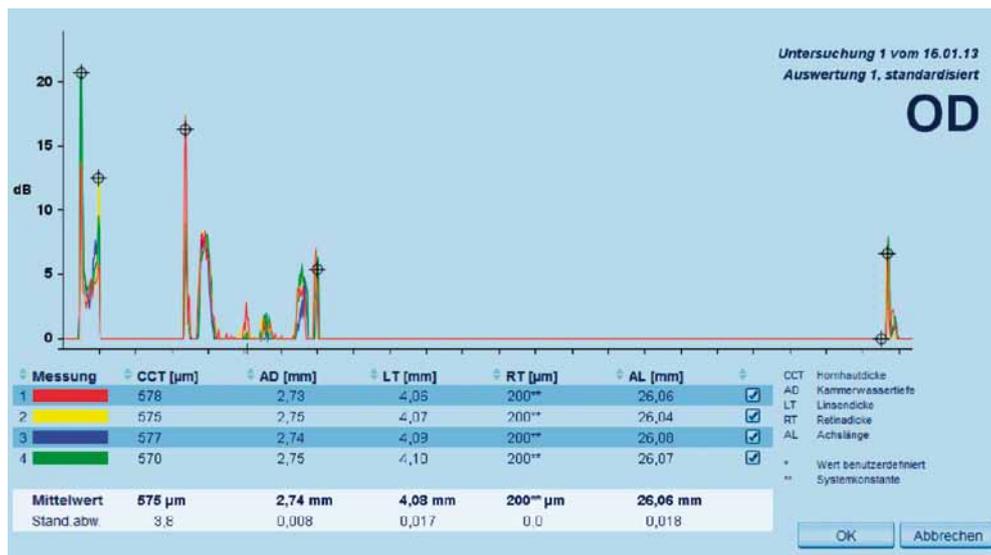


Abbildung 2: Die Signalkurve der Niedrigkohärenz-Reflektometrie (OLCR-Messung) mit dem Lenstar. Die relevanten Signalspitzen sind durch Kreuze markiert, welche die optischen Grenzflächen repräsentieren. Dies sind von links nach rechts: Hornhautvorderfläche, Hornhaurückfläche, Linsenvorderfläche, Linserrückfläche, Netzhautoberfläche, Aderhaut. Die Position und Dicke der natürlichen Linse ist für die Vorhersage der späteren axialen Position der IOL bedeutsam.

Javal-Schiøtz-Ophthalmometer

Ebenfalls sehr weit verbreitet ist das Javal-Schiøtz-Gerät, das an vielen Haag-Streit-Einheiten zu finden ist. Es erlaubt eine sehr schnelle abschätzende Messung. Allerdings sind die Testmarken für eine präzise Messung nicht so gut geeignet wie die Kreuzmarken der Zeiss-Bombe. Zudem besteht eine Entfernungsabhängigkeit der Radienmessung. Der Refraktions- und Akkommodationszustand muss am Okular sehr genau eingestellt sein, sonst kommt es zu systematischen Fehlmessungen.

Integrierte Autokeratometer

Aus Gründen des zügigen Ablaufs werden in der Routine heute meist automatisierte Keratometer eingesetzt, so dass die Messungen delegiert werden können. Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, alle vorzustellen. Im Rahmen der Kataraktchirurgie dürften die in die optischen Biometer integrierten Keratometer am häufigsten eingesetzt werden. Bei allen Autokeratometern ist die Reflektivität der Hornhaut ein kritischer Punkt. Gerade bei älteren Katarakt-Patienten ist der Tränenfilm oft instabil und dünn, was zu Fehlmessungen führen kann. Im Gegensatz zum manuellen Keratometer ist die Güte der Messreflexe durch den Untersucher nicht unmittelbar zu erkennen.

Zeiss IOLMaster

Im bereits oben beschriebenen Zeiss IOLMaster® ist ein automatisches Keratometer integriert. Dieses basiert auf 6 Messpunkten, welche bei einem Durchschnittsauge auf einem Kreis mit 2,6 mm Durchmesser projiziert werden. Die Messungen laufen halbautomatisch ab und die Software verlangt mindestens drei Messungen für eine Auswertung. Es sollte darauf geachtet werden, dass alle 6 Messpunkte korrekt auswertbar sind; im Messprotokoll wird ein nicht-auswertbarer Punkt mit einem „X“ gekennzeichnet. Der mittlere gemessene HH-Radius ist bei uns 7,715 mm und entspricht damit im Mittel ziemlich genau den Zeiss-Bomben-Messungen, die wir in prä-IOLMaster-Zeiten bevorzugt haben.

Haag-Streit Lenstar

Auch der Haag-Streit Lenstar® beinhaltet eine automatische Keratometrie. Im Gegensatz zum IOLMaster werden hier 32 Messpunkte verwendet, die auf zwei Kreisen mit 1,65 und 2,3 mm Durchmesser beim Normalauge angeordnet sind. Auf dem Messprotokoll wird neben dem Mittelwert auch die

Standardabweichung der Messwerte angegeben, so dass eine gewisse Einschätzung der Datenqualität möglich ist. Der mittlere gemessene Radius ist mit 7,714 mm praktisch identisch mit dem IOLMaster. Dies ist angesichts der kleineren Messzone erstaunlich, denn eigentlich müsste wegen der normalerweise prolat-asphärischen Hornhaut eine kleinere Messzone auch kleinere Radien ergeben. Offenbar wurde mit Rücksicht auf die marktüblichen Geräte so kalibriert, dass es im Mittel übereinstimmt.

Der theoretische Vorteil der Keratometrie mit 32 Messpunkten findet in unseren klinischen Ergebnissen allerdings keinen Niederschlag. Die sphärische Brechkraftberechnung ist mit beiden Geräten gleich gut, was wir an einer Kohorte von 593 Augen überprüft haben, die mit beiden Geräten gemessen wurden. Bedauerlich ist aus unserer Sicht auch, dass aus den zwei Messkreisen keine Information über die Asphärität der Hornhaut extrahiert wird, was technisch leicht möglich und bei der Auswahl aberrationskorrigierender Linsen hilfreich wäre.

Bei der Berechnung torischer Linsen ist der Lenstar u. E. dem IOLMaster vorzuziehen. Der mittlere Hornhautastigmatismus wird etwas kleiner gemessen als beim IOLMaster und eine postoperative Überprüfung bei 550 Katarakt-Augen in unserem Hause ergab einen mittleren zylindrischen Vorhersagefehler von 0,67 dpt beim IOLMaster vs. 0,53 dpt beim Lenstar. Zylindrischer Vorhersagefehler ist in diesem Fall definiert als Länge des Differenzvektors zwischen objektiv (Keratometrie) und subjektiv (Refraktion) gemessenem Zylinderwert.

Topographie

Hornhauttopographen liefern lokale Krümmungsradien an sehr vielen verschiedenen Messpunkten im Gegensatz zum Keratometer. Hierdurch erhält man auch Informationen über Irregularitäten und über die Asphärität der Hornhaut, was für die Linsenberechnung von Bedeutung sein kann.

Nachteilig ist der größere Aufwand bei der Untersuchung und die größere Fehleranfälligkeit bei schlechtem Tränenfilm, unkooperativen Patienten oder Trübungen der Hornhaut.

Für die Intraokularlinsen-Berechnung mittels klassischer IOL-Formeln wird die Topographie nicht benötigt. Allerdings können die Informationen, die sie liefert, mit moderneren Berechnungs- und Simulationsverfahren gewinnbringend genutzt werden, insbesondere bei Augen nach LASIK, Keratoplastik oder ungewöhnlicher Geometrie.

Es existieren verschiedene Systeme am Markt, die im folgenden kurz beschrieben werden.

Placido

Placido-Topographen (auch Videokeratographen genannt) sind von der Placido-Scheibe abgeleitet, die schon im 19. Jahrhundert zur Beurteilung der Hornhaut eingesetzt wurde. Es wird eine Anzahl alternierend schwarzer und weißer oder auch farbiger Ringe auf die Hornhaut projiziert und das Bild digital aufgenommen. Aus den wechselnden Abständen der Ringe werden dann die lokalen Krümmungsradien rechnerisch interpoliert. Die Wiederholbarkeit dieser Untersuchungen ist relativ gut, jedoch ist eine große Abhängigkeit von der Benetzung der Hornhaut vorhanden. Prinzipbedingt erlaubt die Placido-Topographie lediglich die Untersuchung

der Hornhautvorderfläche (genauer gesagt der Tränenfilmoberfläche). Ein kleiner zentraler Bereich muss interpoliert werden, weil aufgrund der Kameraposition hier keine Ringprojektion möglich ist.

Populäre Vertreter dieser Technik sind – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – Zeiss Atlas, Oculus Keratograph, Tomey TMS.

Scheimpflug

Scheimpflug-Kameras erzeugen optische Schnittbilder, indem unter Ausnutzung der Scheimpflug-Regel eine selektive Schärfen-Ebene durch die Hornhaut/ Linse gelegt und diese photographischen Informationen dann in Höhendaten um-



Abbildung 3: Auswertung der Daten, die mittels optischer Biometrie, Keratometrie und Topographie/Tomographie der Hornhaut gewonnen wurden. Die Rohdaten der Messgeräte werden in die Raytracing-Software importiert und verarbeitet. In die IOL-Berechnung gehen nicht nur die realen physikalischen Eigenschaften der jeweiligen IOL ein, sondern auch Informationen über die Hornhaurückfläche, Asphärität und die Linsendicke. Der Gesamtastigmatismus der Hornhaut (inklusive Rückfläche) wird als Betrag und steile Achse ausgewiesen. In der Ergebnistabelle wird die Restrefraktion sphäro-zylindrisch aufgelistet. Dies ist u. E. sehr wichtig, um eine optimale Restrefraktion planen zu können, die ja nicht immer in einem sphärischen Äquivalent von 0 dpt besteht. In diesem konkreten Fall würden eine torische Linse mit 1 dpt Zylinder oder antiastigmatische Keratotomien auf die steile Achse von 111° ein besseres Ergebnis bringen als eine rein sphärische Korrektur. Der Gesamtastigmatismus ist hier deutlich kleiner als der keratometrisch gemessene (siehe Abbildung 1).

gerechnet werden. Wird dieser Vorgang in verschiedenen Ebenen mehrfach wiederholt, kann durch Extrapolation ein 3D-Bild erzeugt werden. Die korrekte Entzerrung der Bilder ist nicht trivial und die Anfälligkeit für Artefakte aufgrund der relativ langsamen Aufnahme und wechselnder optischer Dichte innerhalb der Hornhaut recht hoch. Im Gegensatz zu Placido-Geräten liefern solche Scheimpflug-Topographen auch Informationen über die Dicke und die Rückflächenkurvatur der Hornhaut. Beispielhaft seien als Vertreter dieser Art ist die Oculus Pentacam und das Tomey TMS-5 genannt.

Kombinierte Geräte

Zur Verbesserung der Genauigkeit gibt es Kombinationen verschiedener Messtechniken. Diese verbinden die Vorteile der Placido- mit denen der Scheimpflug- bzw. Spaltlicht-Topographie. Das Tomey TMS-5 verbindet beispielsweise Placido-Ringe mit rotierender Scheimpflug-Kamera, der Bausch+Lomb Orbscan II Placido mit scanning-slit.

OCT

Auch das Vorderabschnitts-OCT kann Informationen über lokale Krümmungsradien der Hornhaut liefern. In Zukunft könnte das OCT insbesondere für die Beurteilung der Rückflächenkurvatur größere Bedeutung erlangen, weil es weniger artefaktanfällig ist als die photographischen Verfahren.

Die Beitragsserie wird fortgesetzt mit Teil 2: „Berechnungsmethoden“.

Literatur – Teil 1

1. *Haigis W (2004)* The Haigis formula. Intraocular lens power calculations.
2. *Hoffer KJ (1993)* The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. Errata: JCRS 1994; 20: 677. J Cataract Refract Surg 19: 700–712
3. *Hoffmann PC, Hütz WW, Eckhardt HB, Heuring AH (1998)* IOL-Berechnung und Ultraschallbiometrie: Immersions- und Kontaktverfahren. Klin Monatsbl Augenheilkd 213: 161–165
4. *Hoffmann PC, Hütz WW (2010)* Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23,239 eyes. J Cataract Refract Surg 36: 1479–1485
5. *Holladay JT, Prager TC, Chandler TY et al (1988)* A three-part system for refining intraocular lens power calculations. J Cataract Refract Surg 14: 17–24
6. *Olsen T, Corydon L, Gimbel H (1995)* Intraocular lens power calculation with an improved anterior chamber depth prediction algorithm. J Cataract Refract Surg 21: 313–319
7. *Olsen T, Nielsen PJ (1989)* Immersion versus contact technique in the measurement of axial length by ultrasound. Acta Ophthalmol (Copenh) 67: 101–102
8. *Sanders DR, Retzlaff JA, Kruff MC et al (1990)* Comparison of the SRK/T formula and other theoretical and regression formulas. J Cataract Refract Surg 16: 341–346



Samstag, 15. Juni 2013
12.00–13.30 Uhr
Saal Shanghai



Korrespondenzadresse:
Dr. med. Peter Hoffmann, Augenarzt
Dortmunder Straße 39
44575 Castrop-Rauxel
E-Mail: ph@augenlinik-castrop-rauxel.de