

Vergleich der kontaktlinsenrelevanten Hornhautparameter und der Fluobildsimulation grenzlimbaler Kontaktlinsen basierend auf Messungen mit dem Keratograph®4 und der Pentacam® HR bei Keratokonus

Helga Seiler¹ Frank Widmer²

Zusammenfassung:

Ziel dieser Studie ist, Messunterschiede zwischen Pentacam® HR und Keratograph® 4 an Keratokonusaugen zu untersuchen in Bezug auf die Zentralradien und die Exzentrizitäten. Im zweiten Teil wird anhand der Pentacam® HR-Messung mit dem Hecht Anpass-Programm APEX® für jedes Auge eine mehrkurvige grenzlimbale Kontaktlinse berechnet, um anschliessend das reale Fluoreszeinbild mit den Simulationen der beiden Geräte zu vergleichen.

Für statistische Untersuchung der Messwerte anhand einer ANOVA wurden 105 Keratokonusaugen mit dem Keratograph® und mit der Pentacam® HR je dreimal vermessen.

Sowohl der flache als auch der steile Zentralradius wurden von der Pentacam® HR im Mittel steiler und die Gesamtexzentrizität deutlich flacher gemessen. Diese Abweichungen waren für den steilen Radius und für die Exzentrizität signifikant und für den flachen Zentralradius knapp nicht signifikant.

Anhand der Pentacam® HR-Messung wird für 90 Augen mit dem Hecht Anpass-Programm APEX® eine mehrkurvige grenzlimbale Kontaktlinse individuell berechnet. Anschliessend wird das reale Fluoreszeinbild mit den simulierten Fluoreszeinbildern verglichen. Hier ergab sich vor allem in der Peripherie eine bessere Simulation durch die Pentacam® HR, besonders in den horizontalen Meridianen, wo Messungen von Limbus zu Limbus möglich sind. Diese Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der Hauptvorteil der Pentacam® HR in der deutlich besseren Simulation der Fluoreszeinbilder – besonders bei großen, grenzlimbalen Kontaktlinsen – liegt. Lokale Unregelmäßigkeiten werden sehr gut abgebildet und der Anpasser kann die Geometrie der ersten Anpasslinse zuverlässiger bestimmen.

Schlüsselwörter: Keratokonus, Keratograph®, Pentacam® HR, Zentralradius, Exzentrizität, Fluoreszeinbild, Fluoreszeinbildsimulation, Anpassprogramm

Einleitung

Der Keratograph® von OCULUS stellt den Goldstandard der computergestützten individuellen Kontaktlinsenanpassung auf der Basis der Placido-Topographie. Daneben besitzt er in der 5M-Generation besonders viele Zusatzanalyse-Messtechniken und Auswertetools (umfangreiche

Tränenfilmanalyse, Meibographie, Video- und Fotodokumentation u.v.m.), wie wohl kaum ein anderes Topographiesystem.

Bei ektatisch veränderten Hornhäuten besitzt das Placido-Messsystem aber auch abbildungsoptische Einschränkungen. Je steiler eine Hornhaut wird, desto kleiner

wird der Durchmesser der reflektierten Ringabbildung. Gerade komplexe Hornhautformen wie bei Keratokonus, Keratoplastik oder Pelluzide Marginale Degeneration erfordern sehr häufig die Anpassung anspruchsvoller Kontaktlinsengeometrien. Um die Parameter einer ersten

Abstract:

The aim of this study is to analyse the measurement differences between Pentacam® HR and Keratograph® 4 in keratoconic eyes with respect to the central radii and eccentricities. Based on the Pentacam® HR measurement a multi curved intralimbal contact lens is calculated for each eye using the Hecht fitting program APEX® in order to compare the real fluorescein pattern with the simulations of the two devices.

In order to investigate the measurements by ANOVA 105 keratoconic eyes were measured three times with the Videokeratograph® and Pentacam® HR.

The means of the flat and the steep central radii measured by the Pentacam® HR were steeper and the overall eccentricity much flatter. These differences were significant for the steep radius and eccentricity and for the flat central radius marginal not significant.

Based on the Pentacam® HR measurement for each of the 90 eyes a multi curved intralimbal contact lens is individually calculated with the Hecht fitting program APEX®. Then the real fluorescein pattern is compared to the fluorescein patterns calculated by each devices. Mainly in the periphery there is a better simulation by the Pentacam® HR, particularly in the horizontal meridian, where measurements from limbus to limbus are possible. This study concludes that the main advantage of the Pentacam® HR lies in the significantly better simulation of the fluorescein patterns – particularly for large, intralimbal contact lenses. Local irregularities are reproduced very well and the geometry of the first fitting contact lens can be determined more reliable.

Keywords: Keratoconus, Videokeratograph®, Pentacam® HR, central radius, eccentricity, fluorescein pattern, simulation of fluorescein pattern, fitting program

¹Dipl. Ing. (FH) Augenoptik, M. Sc. Vision Science and Business (Optometry)

²Dipl. Ing. (FH) Augenoptik

Anpasscontactlinse so genau wie möglich festzulegen, ist eine exakte und flächen-deckende Vermessung des gesamten Hornhautareals wünschenswert.

Das auf dem Scheimpflugprinzip basierende Messverfahren der Pentacam® HR bietet hier den enormen Vorteil, dass aufgrund eines rotierenden Lichtschnitts, eine größere Messfläche – im Idealfall bis zum Limbus – erfasst werden kann. Auch wenn dieses Gerät in erster Linie als optometrisches und ophtho-chirurgisches Analysegerät entwickelt wurde, weckte die ausgegebene Topographie der Hornhautvorderfläche das Bestreben mit Hilfe von APEX® gleichwertige Kontaktlinsen-anpassungen durchzuführen wie bisher mit dem Keratograph® gewohnt.

Verwendete Messgeräte

Pentacam® HR –

Scheimpflug-Messprinzip

Die Pentacam® HR besteht aus einer Spaltbeleuchtung und einer Scheimpflugkamera, die sich gemeinsam 360° um das Auge drehen. Der Spalt beleuchtet eine dünne Schicht des vorderen Augenabschnittes. Da die Zellen nicht 100 % transparent sind, wird das einfallende Licht gestreut und es entsteht ein Bild, das von einer seitlich angebrachten Kamera nach dem Scheimpflugprinzip aufgenommen wird¹. Der Aufnahmemodus von 25/50 Bildern des rotierenden Lichtspalts wird automatisch, oder falls dies aufgrund zu starker Irregularitäten nicht möglich ist, manuell ausgelöst.

Das Scheimpflugverfahren stammt ursprünglich aus der Photographie, um Schrägansichten scharf und entzerrt abbilden zu können. Objekt-, Objektiv- und Bildebene sind dabei so angeordnet, dass sie sich in einer Geraden schneiden, mit dem Effekt, dass auch Schrägansichten mit einem äusserst grossen Schärfbereich abgebildet werden (Schärfedeckung)².

Übertragen auf die Pentacam® HR bedeutet dies, dass der vordere Augenabschnitt von der Vorderfläche der Cornea bis einschließlich der Rückfläche der Augenlinse (nur in Mydriasis) scharf abgebildet wird.

Keratograph® – Placido-Messprinzip

Der Keratograph® 4 arbeitet nach dem Placido-Prinzip. Die hellen Placido-Ringe werden am präcornealen Tränenfilm reflektiert und erzeugen dort ein virtuelles Bild, das von der CCD-Kamera, vergleichbar zur Pentacam® HR, durch automatische oder manuelle Auslösung aufgenommen wird.

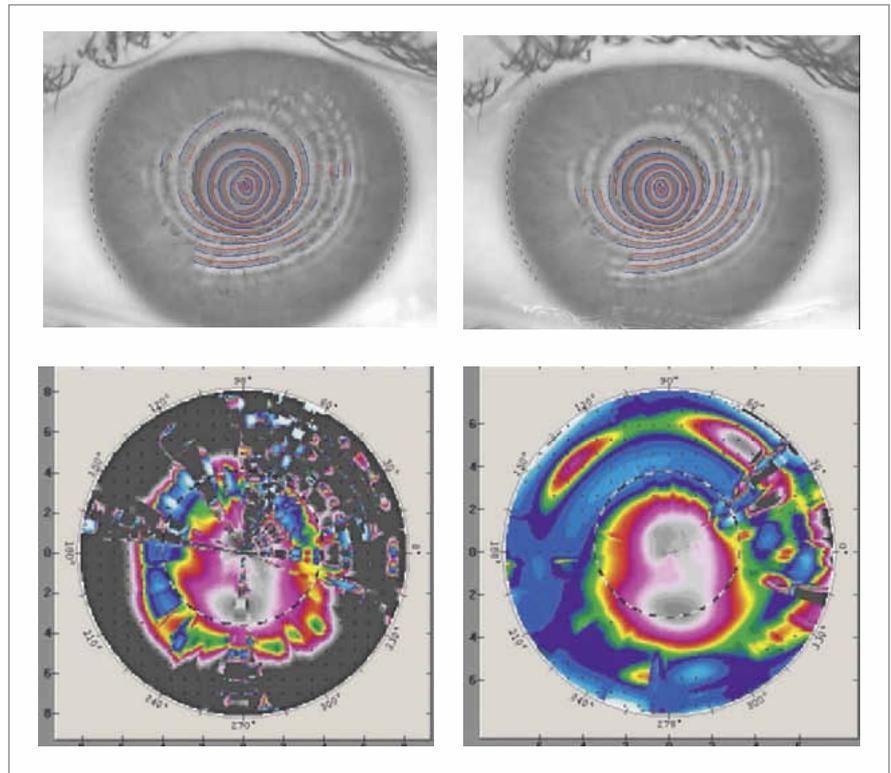


Bild 1: Links: Aufnahme mit dem Keratograph® 4 ohne Tropfen einer Benetzungslösung; rechts: Aufnahme mit dem Keratograph® 4 nach Tropfen einer Benetzungslösung

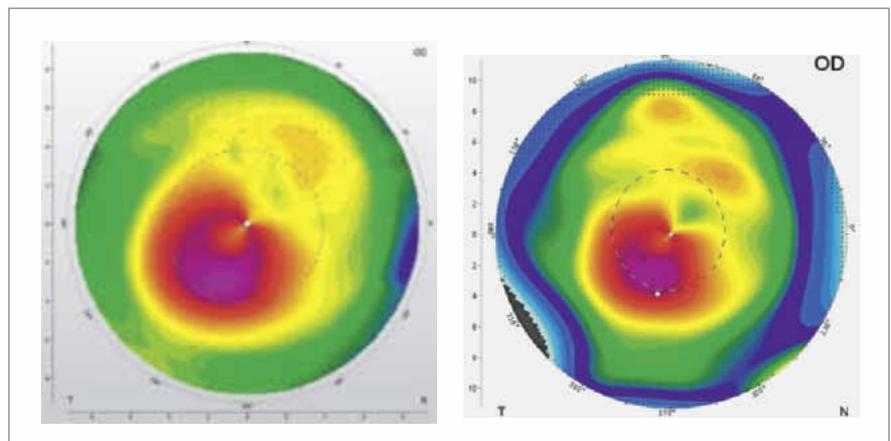


Bild 2: Topographische Übersichtsdarstellungen der Tangentialradialen links am Keratograph® 4 und rechts an der Pentacam® HR

Der Durchmesser des messbaren Hornhautareals ist abhängig von der Krümmung der Hornhautoberfläche, der Regelmäßigkeit der Hornhaut und des Tränenfilms sowie den anatomischen Verhältnissen (z. B. Position der Augenlider). Der AA-Quotient (Analysed Area) gibt den Prozentsatz der tatsächlich gemessenen Messpunkte gegenüber den maximal möglichen 22.000 Messpunkten an³.

Aufgrund der Reflexion der Placidoringe am präcornealen Tränenfilm wird mit steiler werdenden Hornhauradien das messtechnisch erfassbare Hornhautareal immer kleiner. So wird bei einem Keratoko-nus Grad 3 oft nur noch ein Bereich von 4–5 mm Durchmesser erfasst. Hingegen liegt bei regelmäßigen, gesunden Hornhäuten der Durchmesser des gemessenen Areals bei ca. 8–9 mm.

Vergleich

Die Vorteile des Keratograph® 4 liegen in der Schnelligkeit der Messung und in der langjährigen Erfahrung in der Beurteilung der Messungen. Gerade bei pathologischen oder traumatischen Veränderungen der Hornhautvorderfläche, in denen eine exakte und möglichst flächendeckende Messung der Hornhautvorderfläche hilfreich für die Kontaktlinsenanpassung wäre, zeigen sich die Einschränkungen des Placido-Verfahrens:

1. Die Reflexion der Placido-Ringe am präcornealen Tränenfilm kann sowohl durch eine schlechte Tränenfilmqualität als auch durch Irregularitäten der Cornea beeinträchtigt werden. An diesen Stellen werden die Placido-Ringe unscharf abgebildet und können zum Teil nur fragmentarisch vermessen werden. Fehlende Daten werden je nach Geräte-Software und Einstellung als nicht gemessen markiert und für eine flächendeckende Topographie interpoliert. Die Konsequenz ist, dass die Simulation des Fluoreszeinbildes einer Kontaktlinse an diesen Stellen mit Ungenauigkeiten behaftet ist. Durch das Tropfen einer Benetzungslösung kann das Messergebnis in vielen Fällen verbessert werden (Bild 1), führt aber nicht immer zu einem befriedigenden Ergebnis.
2. Stark irreguläre Hornhautareale können eine Abbildung außerhalb der Tiefenschärfe des Keratograph® 4 verursachen, so dass diese Zonen ebenfalls unscharf abgebildet und interpoliert werden.
3. Durch die Reflexion der Placido-Ringe an der Hornhautvorderfläche ist die Größe des Messareals abhängig von ihrer Krümmung. Mit steiler werdenden Hornhautradien wird der Durchmesser des gemessenen Areals kleiner.
4. Es wird ausschließlich die Hornhautvorderfläche betrachtet. Um Pathologien richtig einschätzen zu können, liefert aber auch die Topographie der Cornea-Rückfläche bzw. eine flächendeckende Pachymetrie wertvolle Informationen, z.B. bei der Unterscheidung zwischen Corneal Warpage und Keratokonus.
5. Sind starke Irregularitäten im Bereich der Abbildung des 3. Placido-Ringes auf der Hornhaut vorhanden, kann das dort integrierte Ophthalmometer unter Umständen nicht mehr den richtigen Messabstand detektieren und es muss manuell ausgelöst werden. Bei einer Nichtein-

haltung des Messabstandes werden die errechneten Radien bei zu kleinem Abstand als zu flach angegeben und bei zu grossem Abstand als zu kurz. Die Topographie ist dann allenfalls noch qualitativ verwertbar. Die Pentacam® HR scheint alle Einschränkungen des Keratograph®4 zu eliminieren und das perfekte Messinstrument für alle – auch noch so irregulären – Hornhäute zu sein. Hauptnachteil der Pentacam® HR liegt in der im Vergleich geringeren Erfahrung bei der Verwendung in der Kontaktlinsen-Anpassung. Aufgrund des grösseren Messareals erscheinen die Topographien zunächst ungewohnt (Bild 2) und auch bei der Pentacam® HR können sich inter- oder extrapolierte Flächenanteile, wie zum Beispiel bei Lidbedeckung zeigen. Um den optimalen Messabstand zu ermitteln, wird im Scan-Modus der Apex mit einer Art Reflexpunkt markiert, der im Scheimpflugbild für die automatische Auslösung mit der roten Linie zur Deckung gebracht werden muss. Bei sehr stark irregulären Cornea-Oberflächen kann der Apex von der Pentacam® HR-Software nicht gefunden werden und es muss ebenfalls manuell ausgelöst werden. Anders als beim Keratograph® 4 können diese Aufnahmen aber sehr gut für die Kontaktlinsenanpassung verwendet werden, da aufgrund der Schärfendehnung des Scheimpflugverfahrens die Höhenwerte meist noch mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden.

Erscheint die Berechnung der Flächenkontur der Hornhaut nicht mehr zuverlässig (siehe Auswertequotient), ist es unerlässlich, sich für die Bestimmung einer ersten Anpasskontaktlinse eines Zwischenschrittes zu bedienen. Eine möglichst regelmässige Rückflächengeometrie (rotationssymmetrisch oder torisch), die zur Hornhaut „passt“ und die man als Messlinse im Hause hat, wird aufgesetzt. Ist das reale Fluobild mit dem simulierten Bild gleicher Parameter vergleichbar, so eignet sich die Messung, trotz Hochrechnungen in der Hornhautkontur, zur Festlegung einer auch aufwendigen ersten Anpasskontaktlinse.

Weichen die Bilder zu stark voneinander ab, so kann man die Vermessung nicht als vertrauenswürdige Grundlage verwenden und kann versuchen, durch eine Wiederholung der Vermessung, eine besser Ausgangssituation zu schaffen.

Kontaktlinsen-Anpass-Software

Sowohl der Keratograph® 4 als auch die Pentacam® HR (optional) besitzen ein Softwaremodul für die Kontaktlinsenanpassung, in dem eine erweiterbare Datenbank mit 380.000 Linsengeometrien integriert ist⁴.

Basierend auf den gemessenen Topographiedaten wird die Rückflächengeometrie einer passenden Kontaktlinse berechnet. Der Anpasser kann aus der integrierten Datenbank einen Kontaktlinsenvorschlag wählen und entsprechend modifizieren. Im Rahmen des Kontaktlinsenmoduls ist auch die Basisversion der Hecht-Anpass-Software APEX® integriert, die erweitert auf die Expert-Version auch Module für die Berechnung von aufwendigeren Kontaktlinsengeometrien, wie zum Beispiel quadrantenspezifischer Rückflächengeometrien bietet.

Ergebnisse bisheriger Studien

Im Rahmen von Bachelor- und Master-Abschlussarbeiten wurde im Hause HECHT das Thema „Vergleich von Keratograph® 4 und Pentacam® in Bezug auf Topometrie und Kontaktlinsenanpassung“ in den letzten Jahren intensiv beleuchtet.

Reguläre Hornhautformen

Colleen Rothe hat insgesamt 67 nahezu sphärische reguläre Hornhäute untersucht, bei denen man in der Anpassung typischerweise rotationssymmetrische formstabile Kontaktlinsen auswählt.

Eva-Maria Schüller hat die Anpassung von rückflächentorischen formstabilen Kontaktlinsen bei 103 torischen Hornhäuten untersucht.

In diesen beiden Studien zu den rotationssymmetrischen und torischen Kontaktlinsen wurden folgende Parameter von Keratograph® 4 und Pentacam® HR verglichen und ausgewertet:

Hornhautparameter:

- Zentralradius flach, Zentralradius steil, Achse flacher Meridian, Exzentrizität flacher Meridian in 30°, Exzentrizität steiler Meridian in 30°, Gesamtexzentrizität in 30°
- Kontaktlinsenvorschlag aus dem APEX®-Programm
- Vorgeschlagene Kontaktlinse versus abgegebene Kontaktlinse
- Fluoreszeinbilder (Vergleich der simulierten mit den realen Bildern)

Beide Studien konnten zeigen, dass die Differenzen zwischen den Messwerten der

beiden Geräte in Bezug auf die genannten Hornhautparameter sehr gering waren^{5,6}. Beim Vergleich der simulierten Fluoreszeinbilder mit den realen Fluobildern zeigten sich bei beiden Studien zwischen Keratograph® 4 und Pentacam® HR vergleichbare Fluobildsimulationen.

Hornhäute mit Keratokonus

Im Rahmen seiner Master-Abschlussarbeit⁷ hat Horst Drexel Hornhäute mit Keratokonus (Grad 1–4) untersucht, die mit formstabilen Kontaktlinsen versorgt waren. Ziel dieser Arbeit war es, die Messwerte der Hornhautvorderfläche, den ersten Anpassvorschlag und die Fluobildsimulation der endgültig abgegebenen Keratokonus-Kontaktlinsen zwischen Keratograph® 3 und Pentacam® zu vergleichen. Es wurden insgesamt 71 Augen untersucht, die ophthalmologisch als Keratokonus diagnostiziert waren und bei der Messung mit dem Keratograph® 3 eine entsprechende Keratokonusidentifizierung aufwiesen (KK1, KK2, KK3 oder KK4). Die Klassifizierung des Keratokonusgrades der einzelnen Augen erfolgte anhand der Messungen mit dem Keratograph® 3 und dem dort integrierten Indizes-Modul⁸.

Die Mittelwerte über alle Messungen für den flachen Hornhautmeridian lagen beim Keratograph® 3 bei 7.095 mm und bei der Pentacam® bei 7.164 mm. Für den steilen Radius ergaben sich Mittelwerte von 6.646 mm für den Keratograph® 3 und 6.723 mm für die Pentacam®. Die Exzentrizität wurde von der Pentacam® im Mittel um 0.17 flacher gemessen.

Im Rahmen dieser Studie wurden für den Vergleich der Fluoreszeinbilder ausschließlich Kontaktlinsen der Hecht-Geometrie KAKC N oder KAKC F im Durchmesser 9.2 mm angepasst.

Erwartungsgemäß gab es Abweichungen zwischen der Fluobildsimulation von regulären Hornhäuten zu irregulären Hornhäuten. Die Prozentzahlen in Bezug auf Parallelität gingen zurück.

In dieser Studie zeigte sich, dass mit der Pentacam® eine detailgetreuere Fluobildsimulation möglich ist. Betrachtet über alle Fluobildbewertungen konnte im Mittel in 69.5% eine Übereinstimmung des Fluoreszeinbildes mit der Simulation durch die Pentacam® gefunden werden. Im Vergleich dazu waren 48.17% der Simulationen durch den Keratograph® 3 als identisch zum realen Fluobild.

Vergleich der kontaktlinsen-relevanten Hornhautparameter und der Fluobildsimulation grenzlimbaler Kontaktlinsen bei Keratokonus

Im ersten Teil dieser Studie sollten an ekta-tisch veränderten Hornhäuten die Messunterschiede zwischen Keratograph® 4 und Pentacam® HR für den flachen und steilen Zentralradius sowie für die Exzentrizitäten in 30° betrachtet werden.

Basierend auf der Pentacam® HR-Messung wird im zweiten Teil der Studie für jedes Auge mit dem Hecht Anpass-Programm APEX® eine mehrkurvige Kontaktlinse berechnet, die passend zum jeweiligen Hornhautprofil eine sphärische, torische oder quadrantenspezifische Geometrie besitzt. Anschließend wird das reale Fluoreszeinbild jeweils mit dem simulierten Fluoreszeinbild der Pentacam® HR und des Keratographen® 4 verglichen. Anders als in den bisherigen Studien liegt das Hauptaugenmerk beim Vergleich der realen und simulierten Fluoreszeinbilder auf der peripheren Hornhaut. Aus diesem Grund sind die Durchmesser der angepassten Kontaktlinsen nur 0.6 mm kleiner als der gemessene Hornhautdurchmesser.

Biometrische Daten

Für diese Studie wurden 105 Augen von 63 Probanden im Alter von 28 bis 74 Jahren (52.5 ± 12.4 Jahre) mit dem Keratograph® 4 und anschließend mit der Pentacam® HR vermessen. Die Einteilung der Patientenaugen in die verschiedenen Keratokonusgrade erfolgte anhand des auf- oder abgerundeten Mittelwerts aus den drei Messungen mit Pentacam® HR. Sie wird im Weiteren mit „KK Grad nach PC“ in allen Diagrammen bezeichnet. Da bei vier Augen der Mittelwert aus den drei Pentacam®

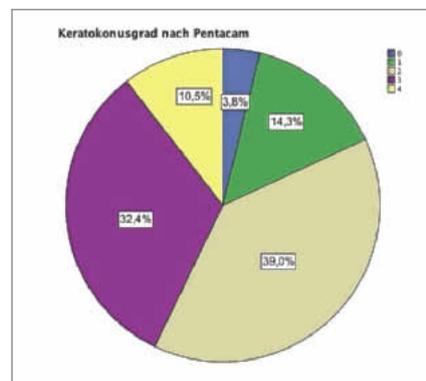


Bild 3: Anteile der Keratokonusgrade nach Pentacam® HR beim untersuchten Kollektiv

HR-Messungen kleiner 0.5 war, wurden diese Augen in eine Keratokonusgruppe KK 0 zusammengefasst. Dies kam dadurch zustande, dass bei Messungen, die zu einer Bewertung „KK möglich“ führten, eine „0“ für den Keratokonusgrad vergeben wurde. Bild 3 zeigt die Anteile der Keratokonusgrade, wie sie anhand der Klassifikation mit der Pentacam® HR vorgenommen wurde.

Hintergründe zur Auswertung

Das statistische Mittel zur Prüfung der Messwerte war die ANOVA (ANalysis Of VAriance) = Varianzanalyse. Sie wird verwendet, um die Signifikanz von Mittelwertdifferenzen zu prüfen. Treten Unterschiede auf, kann die Differenz sowohl auf einen systematischen Unterschied zwischen den Geräten als auch auf den unterschiedlichen Einfluss einzelner Augen auf die Differenz zurückgeführt werden.

Um zufällige Messabweichungen von individuellen Unterschieden zwischen den Augen anhand der ANOVA zu bestimmen, wurden sowohl mit der Pentacam® HR als auch mit dem Keratograph® 4 pro Auge drei Messungen durchgeführt.

Für eine gültige Auswertung ist eine Varianzhomogenität Voraussetzung. Liegen signifikant unterschiedliche Varianzen vor, werden mit Hilfe einer Zellenstatistik die Messwertdifferenzen innerhalb einer Messreihe eines jeden Auges ermittelt.

Bei einzelnen Augen, bei denen die Messwertdifferenzen bei den Wiederholmessungen eindeutig größer waren als beim Durchschnitt aller Augen, konnte die Varianzhomogenität nicht erfüllt werden. Sie wurden somit von der Auswertung ausgeschlossen.

Messwertdifferenzen sind mit jedem Messmittel bis zu einem bestimmten Grad zu erwarten, insbesondere bei irregulären Hornhäuten, da sich hier Einflüsse, wie Tränenfilmqualität, Fixation und unter Umständen Messdauer mehr bemerkbar machen.

Ergebnisse Hornhautparameter

Flacher Hornhautmeridian

Die Mittelwerte über alle Messungen für den flachen Hornhautmeridian liegen beim Keratograph® 4 bei 7.311 mm und bei der Pentacam® HR bei 7.269 mm, wobei für den Effekt „Gerät“ mit $p=0.063$ knapp keine Signifikanz vorlag. Betrachtet man in der ANOVA allerdings die Wechselwirkung zwischen dem Messgerät und dem Keratokonusgrad („Gerät*PC_KK_Grad“) ergibt sich mit $p=0.002$ eine

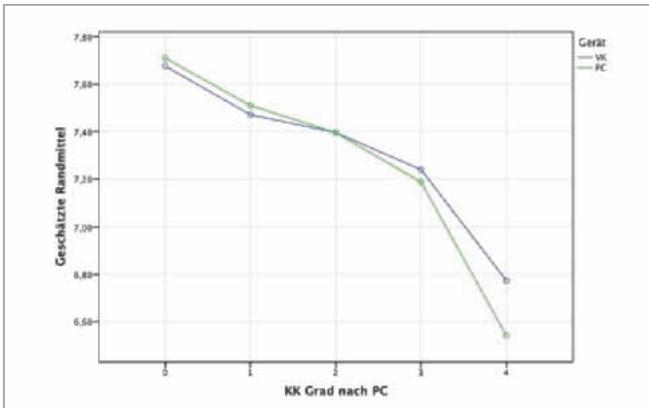


Bild 4: Vergleich der Mittelwerte für den flachen Zentralradius in Abhängigkeit des Keratokonugrades

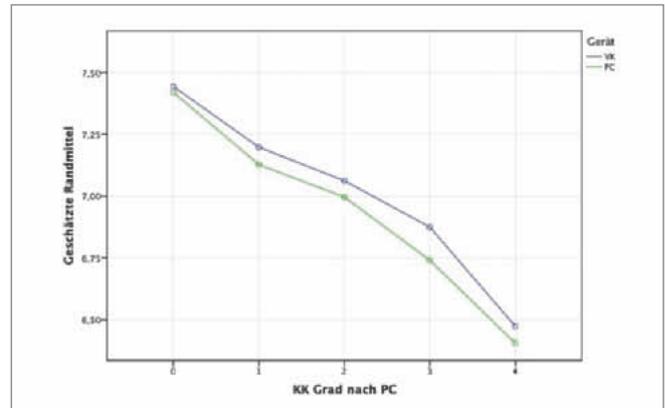


Bild 5: Vergleich der Mittelwerte für den steilen Zentralradius in Abhängigkeit des Keratokonugrades

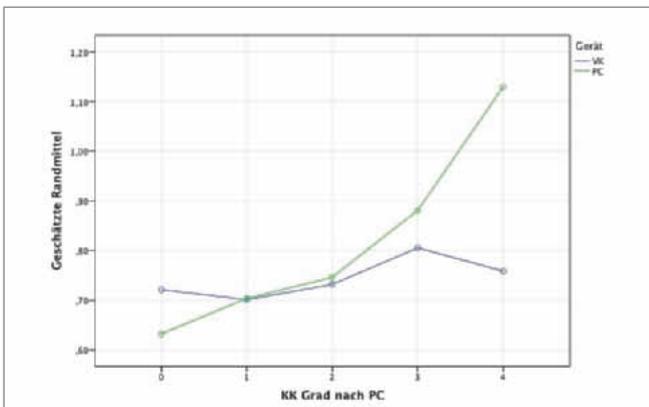


Bild 6: Mittlere Gesamtexzentrizität bezogen auf die Keratokonugrade

Signifikanz. Bild 4 zeigt, dass mit der Pentacam® HR für beginnende Keratokoni leicht flachere Radien gemessen werden. Ab Grad 2 werden mit höher werdendem Keratokonugrad steilere Radien gemessen.

Steiler Hornhautmeridian

Für den steilen Meridian ergab sich wieder über alle Messungen betrachtet für den Keratograph® 4 ein Mittelwert von 7.009 mm und für die Pentacam® HR ein Mittelwert von 6.937 mm. Hier war die Differenz signifikant mit $p < 0.001$.

Bild 5 verdeutlicht die im Mittel steileren Messergebnisse der Pentacam® HR für den steilen Zentralradius, wobei die Abweichungen unabhängig vom Keratokonugrad über alle Messungen signifikant und auch in etwa gleich groß sind. Sie sind aber nicht abhängig vom Keratokonugrad, da die Wechselwirkung „Gerät*PC KK Grad“ nicht signifikant ist.

Gesamtexzentrizität

Über alle Messungen ergibt sich für den

Keratograph® 4 ein Mittelwert für die Gesamtexzentrizität von 0.744 und für die Pentacam® HR von 0.818. Hier ist die Differenz ebenfalls signifikant mit $p = 0.002$. In diesem Fall ergibt sich aus der ANOVA für die Wechselwirkung zwischen dem Messgerät und dem Keratokonugrad („Gerät*PC KK Grad“) mit $p < 0.001$ eine hohe Signifikanz. Die Pentacam® HR misst in dieser Studie deutlich flachere Exzentrizitäten mit steigendem Keratokonugrad (Bild 6).

Fluoreszeinbildvergleich

Um eine gute Basis für den Vergleich der simulierten Fluoreszeinbilder mit dem realen zu schaffen, werden die Bilder zunächst in die vier Quadranten – superior, inferior, nasal und temporal – unterteilt. Jeder Quadrant wird in eine zentrale und drei periphere konzentrische Zonen unterteilt, die in ihren Durchmessern der zentralen und peripheren Zonen der angepassten Kontaktlinse entsprechen (Bild 7).

Die einzelnen Zonen der simulierten Fluoreszeinbilder werden jeweils mit dem Fluoreszeinbild der realen Kontaktlinse verglichen. Diese dient als Referenz und erhält für alle Zonen die Bewertung „0“. Für den Vergleich der beiden Simulationen mit dem realen Fluoreszeinbild wird der Klassifizierungsschlüssel nach Sickenberger für die Beurteilung in den einzelnen Zonen verwendet (Bild 8).

Fluoridbetrachtung	
+2	flach
+1	Tendenz flach
0	parallel
-1	Tendenz steil
-2	steil

Bild 8: Klassifizierungsschlüssel für die Fluoreszeinbild-Betrachtung nach Sickenberger

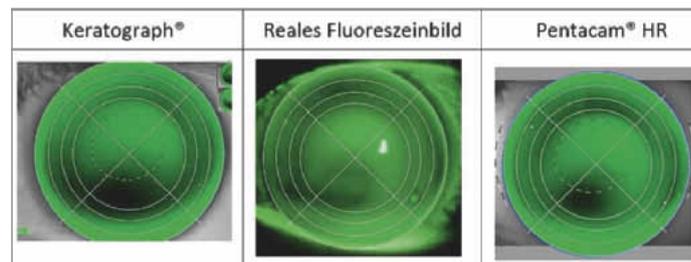


Bild 7: Vergleich der Fluoreszeinbilder bei rücktorischen KA Quadro-Linsen: Die Richtung der Markierungspunkte in der Fluoreszeinbild-Simulation entspricht der Stabilisationsachse im realen Fluoreszeinbild

Skaleneinteilung für den Fluoreszeinbildvergleich

Es kann vorkommen, dass das simulierte Fluoreszeinbild deutlich überhöht dargestellt erscheint und so keine oder eine nur sehr geringe Übereinstimmung mit der Realität aufweist. Durch entsprechende Änderung der Skaleneinteilung ist es so zum Teil möglich, die Simulation und das reale Fluobild anzugleichen.

Die Skaleneinteilung für die Fluoreszeinbildsimulation wurde deshalb an jedem der beiden Geräte so gewählt, dass eine größtmögliche Ähnlichkeit mit dem realen Fluoreszeinbild entsteht, um eine bessere Bewertung der Fluoreszeinbilder zu erreichen. Für den Vergleich der Fluoreszeinbilder wurden an der Pentacam® HR in 94,4 % (Bild 9) der Fälle die Standardskala „100“ verwendet, während am Keratograph® 4 in 53,3 % der Fälle (Bild 10) die Standardskala zu verwertbaren Simulationen führte. In annähernd einem Drittel (30,0 %) wurde beim Keratograph® 4 auf die Skala „150“ gewechselt und in 11,1 % der Fälle auf Skala „300“. Diese wurde für Simulationen an der Pentacam® HR nicht benötigt.

Betrachtet man die Verwendung der Fluoreszeinbildskala in Abhängigkeit des Keratokonusgrades, so muss erst bei Augen mit Keratokonusgrad KK 4 an der Pentacam® HR häufiger (20 %) von der Standardskala abgewichen werden, wobei die Skalierung „150“ für einen guten Fluoreszeinbildvergleich ausreichend war. Im Gegensatz dazu wurde beim Keratograph® 4 in 60 % der Fälle auf die höchste Skalierung „300“ gewechselt, um einen Vergleich mit dem realen Fluoreszeinbild zu ermöglichen. Dies verdeutlicht, dass es durchaus sinnvoll sein kann, die Farbskala zu verändern, so dass eine Übereinstimmung oder relative Vergleichbarkeit zwischen Simulation und Realität besser erkennbar wird.

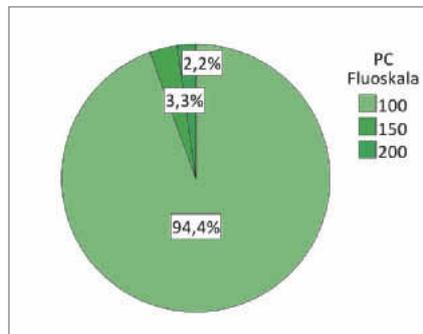


Bild 9: Häufigkeit der verwendeten Fluoreszeinbild-Skala an der Pentacam® HR

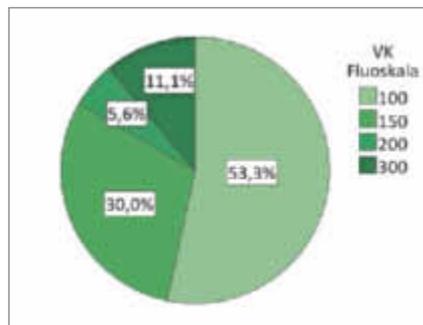


Bild 10: Häufigkeit der verwendeten Fluoreszeinbild-Skala am Keratograph® 4

Tabelle 1 zeigt für die peripheren Zonen die prozentualen Unterschiede der Fluoreszeinbildbewertung zwischen Pentacam® HR und Keratograph® 4. Ein positives Vorzeichen zeigt, in wie viel Prozent der Anpassungen eine bessere Simulation an der Pentacam® HR zu beobachten war. In den peripheren Zonen ist ein Unterschied zwischen den horizontalen und vertikalen Quadranten zu erkennen. In der ersten peripheren Zone des nasalen und temporalen Quadranten simuliert die Pentacam® HR um einen ähnlichen Prozentsatz wie im Zentrum besser als der Ke-

ratograph® 4. In der zweiten und dritten peripheren Zone der beiden horizontalen Quadranten ist die Simulation der Pentacam® HR in 26,2 % bis maximal 38,1 % der Fälle besser.

Für die Fluobildsimulation pro Quadrant in den einzelnen konzentrischen Zonen stellt man fest, dass signifikante Unterschiede nur für Keratokoni Grad 3 und 4 in den 2. und 3. peripheren Zonen der beiden horizontalen Quadranten vorliegen. Vertikal gab es signifikante Unterschiede nur inferior in der 1. und 2. peripheren Zone für die Keratokonusgruppe KK 3 und nicht signifikante Unterschiede für KK 2.

Betrachtet man den Durchmesser des messtechnisch erfassbaren Hornhautareals am Keratograph® 4, so kann bei gesunden regelmäßigen Hornhäuten im Idealfall ein Areal von 8 mm – 9 mm im Durchmesser tatsächlich gemessen werden. Bei Keratokonusaugen wird der Messfelddurchmesser mit steigendem Keratokonusgrad kleiner, so dass bei einem Keratokonus Grad 3 oft noch ein Bereich von etwa 4 mm – 5 mm Durchmesser gemessen wird. Ausserhalb dieses tatsächlichen Messfeldes extrapoliert der Keratograph® 4 den Verlauf der Hornhautoberfläche, womit sich für die beiden äußeren peripheren Zonen die detailgetreuere Simulation der Pentacam® HR erklärt, da hier die Cornea in der Regel horizontal von Limbus zu Limbus gemessen wird. Allerdings ist die Fluobildsimulation des Keratograph® 4 trotz Extrapolation so gut, dass die Geometrie einer ersten Anpassungskontaktlinse ausreichend gut bestimmt werden kann.

Im superioren Meridian ist bei 26,2 % der Fälle mit der Pentacam® HR eine bessere Simulation im Vergleich zum Keratograph® 4 zu beobachten. Keratokonusbetreffene sind meist deutlich blendemp-

was machen wir anders?
was machen wir besser?

Teil 4

Wir haben stets die Reproduzierbarkeit im Auge.
Damit Sie bei Nachbestellungen exakt dieselbe
Linse geliefert bekommen.

Fortsetzung

appenzeller-kontaktlinse.ch

appenzeller
kontaktlinse®
passt.

Deutschland 069 332 962 31 (Ortstarif)
Schweiz 071 344 20 00
Österreich 072 088 16 97 (Ortstarif)
E-Mail info@appenzeller-kontaktlinse.ch

Periphere Zone	Horizontale Quadranten		Vertikale Quadranten	
	nasal	temporal	Superior	inferior
1	+11.3 %	+13.9 %	+26.2 %	+34.9 %
2	+38.1 %	+26.2 %	+14.2 %	+45.5 %
3	+32.7 %	+26.3 %	+16.5 %	+13.4 %

Tabelle 1: Prozentuale Unterschiede zwischen Pentacam® HR und Keratograph® 4 für die realitätsnahe Simulation

findlicher als Probanden mit gesunden Augen, so dass unter Umständen durch die Beleuchtung der Placido-Ringe am Keratograph® 4 eine Blendung entstehen kann, die zu einem Zusammenkniffen der Augen während der Messung führen kann. Die Folge ist eine Abschattung des Placido-Ring-Bildes im superioren und inferioren Bereich der Cornea, so dass hier nur extrapolierte Werte zur Verfügung stehen. Bei der Pentacam® HR ist eine Blendung seltener, so dass der superiore Bereich der ersten peripheren Zone unter Umständen besser gemessen werden kann.

Fazit

In dieser Studie konnte sehr gut gezeigt werden, dass bei der Anpassung von großen, grenzlimbalen Kontaktlinsen bei Hornhäuten mit Keratokonus sich die Vorteile des Scheimpflugsystems eindeutig zeigen:

- Schlechte Tränenfilmqualität beeinträchtigt Messung mit Pentacam® HR nicht
- Größeres Messareal auf der Cornea
- Irreguläre Hornhautoberflächen können besser gemessen werden
- Als Folge eine realistischere Fluobildsimulation

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die Studien zu rotationssymmetrischen, torischen und rotationssymmetrischen Keratokonus-Kontaktlinsen haben gezeigt, dass die Pentacam® HR und der Keratograph® 4 von Oculus bei der Anpassung von „normal“ großen Kontaktlinsen vergleichbare Ergebnisse liefern. Bei irregulären Hornhauttopographien zeigt sich, dass mit der Pentacam® HR eine der Realität nähere Fluobildsimulation möglich ist. Sollen große, limbusnahe Kontaktlinsen, zum Beispiel bei irregulären oder Transplantat-Hornhäuten angepasst werden, bestätigen sich die erwarteten Vorteile des Messprinzips der Pentacam® HR. Dort wo die Abbildung des Spaltlichtes bis zum

Limbus – ohne Abschattung – möglich ist, gewinnt die periphere Hornhauttopographie an Zuverlässigkeit. Trotz inter- beziehungsweise extrapolierte Areale liefert der Keratograph® 4 aber auch in diesen Fällen oftmals gut verwendbare Fluobildsimulationen.

Es ist wünschenswert eine möglichst naturgetreue und großflächige Vermessung der Hornhautvorderfläche zu erhalten, um aufgrund der bestimmten Hornhauttopographie, eine möglichst gut „passende“ Kontaktlinse auswählen und simulieren zu können. Letztendlich entscheiden aber immer das statische und dynamische Fluobild sowie das dynamische Verhalten der Kontaktlinse am Auge über Erfolg oder Optimierungsnotwendigkeit der Kontaktlinse.

Literatur:

- [1] Oculus GmbH, <http://www.pentacam.de/sites/messprinzip.php> Stand 09.10.2012
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Scheimpflug_principle; Stand 03.10.2012
- [3] Oculus GmbH, Keratograph® (G/70670/0508/d) Gebrauchsanweisung
- [4] Oculus GmbH, Pentacam®/Pentacam®HR Broschüre 2015
- [5] Rothe C., Bachelor-Thesis „Vergleich eines Kontaktlinsenanpassvorschlages auf der Basis zweier Vermessungsmethoden der Hornhaut – Videokeratographie und Scheimpflugverfahren“, HTW Aalen, 2011
- [6] Schüler E., Masterthesis „Vergleich Kontaktlinsenanpassungsrelevanter Parameter und Anpassvorschlüsse für rückflächentorische Kontaktlinsen auf der Basis zweier Vermessungsmethoden der Hornhaut – Keratographie und Scheimpflug“, Beuth Hochschule für Technik Berlin, 2011
- [7] Drexel H., Masterthesis „Vergleich der Oculusgeräte Videokeratograph 3 und Pentacam Basic bezüglich der Mess- und Rechendaten in der Contactlinsenanpassung bei Keratokonus“, HTW Aalen, 2011
- [8] http://www.cibavisionacademy.at/pdf/Contactlinsen_Klassifizierungsschlüssel.pdf, Stand 30.10.2012

Die Autorin:

Helga Seiler, Dipl. Ing (FH), MSc
E-Mail: Helga.Seiler@prolens.ch

Helga Seiler

Nach Beendigung ihres Studiums zum Dipl.-Ing. (FH) Augenoptik an der Hochschule Aalen arbeitete sie als Kontaktlinsenspezialistin in München. 2007 wechselte sie in die Kontaktlinsen-Industrie, um in der Anpassberatung zu arbeiten. Seit 2011 ist sie bei der Prolens AG, Zürich als Kontaktlinsenanpasserin und in der Anpassberatung tätig. 2013 beendete sie erfolgreich das nebenberufliche Studium zum M.Sc. Vision Science and Business (Optometry).



Frank Widmer

1987: Abschluss des Studiengangs Augenoptik an der Fachhochschule Aalen (Dipl. Ing. für Augenoptik). Bis 1990: Kontaktlinsenanpassstätigkeit im Contactlinsen-Institut R. Holland Contactlinsen/Hamburg. Seit 1991: Firma Hecht Contactlinsen GmbH in den Bereichen Entwicklung neuer Kontaktlinsendesigns, Qualitätsmanagement, Seminar- und Vortragstätigkeit sowie Kontaktlinsenanpassstätigkeit bei der Firma Nosch-Contactlinsen, Freiburg
Besondere Tätigkeiten:
1993: Mitarbeit an der „Cornea and Contact Lens Research Unit“, Sydney/Australien
1997 u. 1998: Kontaktlinsenanpassstätigkeit an der Universitätsaugenklinik Basel mit Schwerpunkt der KL-Versorgung von Säuglingen und Kindern sowie Keratokonus und Keratoplastik.
Mitgliedschaft in der VDC – Vereinigung deutscher Contactlinsenspezialisten und Optometristen (VDCO).

