

# **Der Keratokonus**

**Eine Informationsschrift für Interessierte und Betroffene<sup>©</sup>**

**Version 2010**

**Raphael Eschmann**

Christoph Ecke, Beatrice Frueh, Birgit Kreuter, Andrea Müller-Treiber,  
Leo Neuweiler, Karin Spohn, Frank Widmer

## Vorwort

In der heutigen Zeit werden immer mehr Anforderungen an die Augen und das Sehen gestellt. Bereits geringe Veränderungen der Sehschärfe können im täglichen Leben Einschränkungen oder Beschwerden beim Sehen verursachen oder gar eine Gefahr darstellen. Der optischen Korrektur von Fehlsichtigkeiten ist unter Berücksichtigung der Art und des Verlaufs unbedingt Beachtung zu schenken. Regelmässige Kontrollen beim Optometristen und Augenarzt sind unabdingbar.

Neben den üblichen, bekannten Fehlsichtigkeiten ist der Keratokonus eine Veränderung der Hornhaut, die das Sehen nachhaltig beeinträchtigen kann. Die betroffene Person kann je nach Art sowie Typ und Stadium der Veränderung vor allem bei deren schleichendem Verlauf diese nicht spontan sondern nur nach einer gewissen Zeit wahrnehmen.

Über den Keratokonus wird in interessierten Fachkreisen viel berichtet. Neben den Fragen nach Ätiologie (Ursache und Grund), Genese (Entstehung und Entwicklung), Morphologie (Konfiguration und Strukturen der Gewebe), Klassifikation (Erscheinungsbild), Epidemiologie (Häufigkeit und Ort des Auftretens) sowie der Heredität (Erblichkeit) sind vor allem auch die Möglichkeiten der optischen Versorgung aufzuzeigen und zu diskutieren. Ziel einer optimalen optischen Versorgung ist, den maximal möglichen Sehkomfort für die Betroffenen zu erreichen und längerfristig zu erhalten.

Der Wunsch, das Krankheitsbild, dessen Verlauf sowie die Korrekturmöglichkeiten zu verstehen, ist bei vielen Betroffenen vorhanden. Wir möchten daher versuchen, möglichst viele Informationen in einer Form anzubieten, die es auch Nichtfachpersonen erlaubt, das notwendige Verständnis für die Situation der durch Keratokonus Betroffenen aufzubauen und zu erhalten.

Der Keratokonus wird in seinen Auswirkungen von den einzelnen Betroffenen sehr unterschiedlich erlebt. Weitergehende Informationen zu den sich daraus ergebenden, individuellen Fragestellungen sollten daher beim jeweiligen betreuenden Optometristen und Augenarzt eingeholt werden. Neue Erkenntnisse aus Forschung und Lehre in der Medizin sowie neue Technologien zur Fertigung von optischen Hilfsmitteln öffnen immer wieder neue Fenster für Möglichkeiten und Anwendungen zur Optimierung der optischen Korrektur und des Sehkomforts.

Zur optimalen Betreuung ist somit ein offener Dialog zwischen den Betroffenen und den Betreuenden wichtig und von Vorteil.

✉ Das Vervielfältigen, Übersetzen, Mikroverfilmen sowie Einspeichern und Verarbeiten in elektronischen Systemen ist nur nach ausdrücklicher Genehmigung der Autoren erlaubt.

✉ Die folgenden Ausführungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellen die persönlichen Meinungen der Autoren zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Schrift dar.

Bern, im Februar 2010

Korrespondenzadressen:

Raphael Eschmann, M.Sc.Optom.  
Visiting Associate Professor PCO  
Eschmann - Contactlinsen  
Kramgasse 54  
CH-3000 Bern 8  
Tel. ++41 31 311 73 13  
Fax ++41 31 312 37 17  
E-mail [info@eschmann-contactlinsen.ch](mailto:info@eschmann-contactlinsen.ch)

Beatrice Frueh, Prof. Dr. med.  
Universitäts-Augenklinik  
Inselspital  
Freiburgstrasse  
CH-3010 Bern  
Tel. ++41 31 632 85 38  
Fax ++41 31 381 70 66  
E-mail [beatrice.frueh@insel.ch](mailto:beatrice.frueh@insel.ch)

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Einleitung

- 1.1 Auge und Sehen
- 1.2 Fehlsichtigkeiten
- 1.3 Korrektur der Fehlsichtigkeiten

## 2. Der Keratokonus (KK)

- 2.1 Die Hornhaut
- 2.2 Verschiedene Vorwölbungen (Ektasien) der Hornhaut
- 2.3 Häufigkeit des KK
- 2.4 Krankheitsbild des KK
- 2.5 Erscheinungsbilder des KK
- 2.6. Wann tritt der KK auf
- 2.7 Möglichkeiten des Verlaufes des KK
- 2.8 Wer kann vom KK betroffen sein
- 2.9 Ist der KK erblich

## 3. Korrektionsmöglichkeiten des Keratokonus

- 3.1 Grenzen der Brillengläser
- 3.2 Contactlinsen
- 3.3 Chirurgische Massnahmen

## 4. Videokeratographen Bilder – was diese aussagen können

## 5. Abschliessende Bemerkungen

- 5.1 Auf was ist besonders zu achten
- 5.2 Tipps für TrägerInnen von Contactlinsen
- 5.3 Was bringt den Betroffenen die Zukunft, welches sind die Prognosen
- 5.4 Autoren

## 6. Hinweise für weitere Literatur

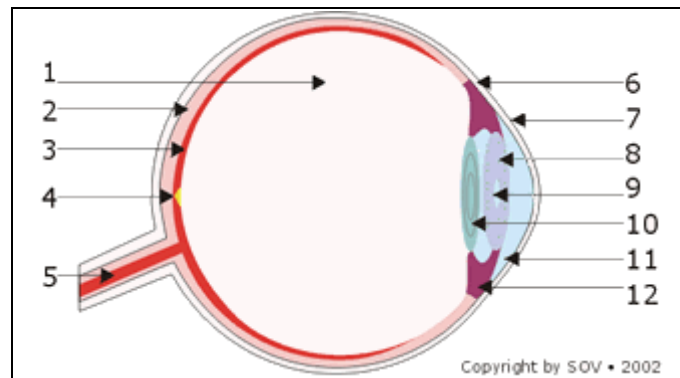
- 6.1 Fachbücher
- 6.2 Elektronische Medien, Links für Fachliteratur
- 6.3 Elektronische Medien, Links für Kommunikation mit Betroffenen

## 7. Verwendete Literatur

## 1. Einleitung

### 1.1. Auge und Sehen

Bevor das Licht auf die Netzhaut (3) mit der Netzhautgrube (4) fällt und dort ein umgekehrtes Bild des betrachteten Gegenstandes erzeugt, durchdringt es die Hornhaut (7), das dahinter liegende Kammerwasser (11), dann die Augenlinse (10) und schliesslich den Glaskörper (1) des Auges. Die Regenbogenhaut (8) reguliert die durch die Pupille (9) fallende Lichtmenge, und die Muskelfasern des Ziliarkörper (12) haben die Aufgabe, die Augenlinse (10) - je nach Distanz des betrachteten Gegenstandes - mehr oder weniger stark zu krümmen, um so Sehvermögen und Sehkomfort zu erhalten.



Querschnitt des Auges (schematisch)

Die Lederhaut (6) umschliesst den Augapfel und geht vorne in die Hornhaut über. Unter der Lederhaut liegt die gefässreiche Aderhaut (2), welche das Auge mit Nährstoffen versorgt und vorne zuerst in den Ziliarkörper (12) und dann in die Regenbogenhaut (8) übergeht.

Die Hornhaut (7) ist die vordere Begrenzung des Auges und dient zusammen mit der Augenlinse dazu, das auftreffende Licht so auf die Netzhaut (3) zu projizieren, dass ein scharfes Bild entsteht. Sie ist stark gewölbt und durchsichtig. Bei Fehlsichtigen, die Contactlinsen tragen, schwimmen diese im Tränenfilm direkt vor der Hornhaut.

Das Kammerwasser (11) ist eine Flüssigkeit, die im vorderen Augenabschnitt den Raum zwischen der Hornhaurückfläche und der Augenlinsenvorderfläche ausfüllt. Die Formerhaltung des Auges wird im Wesentlichen durch den intraokularen Druck des Kammerwassers garantiert.

Die Augenlinse (10) bildet, zusammen mit der Hornhaut (7), den Hauptteil des brechenden Systems des Auges. Sie besitzt zuzüglich die Fähigkeit, Gegenstände, die in unterschiedlichen Entfernungen liegen, deutlich auf der Netzhaut (3) abzubilden.

Der Ziliarkörper (12) ermöglicht die Krümmungsveränderung der Augenlinse und ist somit für das Naheinstellvermögen der Augenlinse verantwortlich (Autofocus), in den Ziliarfortsätzen wird das Kammerwasser (11) produziert.

Der Glaskörper (1) ist eine gallertartige Masse und füllt den hinter der Augenlinse liegenden Teil des Auges bis zur Netzhaut aus. Er dient wie das Kammerwasser (11) hauptsächlich zur Formerhaltung des Auges.

Die Netzhaut (3) ist der lichtempfindliche Teil und mit der Hornhaut (7) und der Augenlinse auch wichtigste Teil des Auges für das Sehen. Die Netzhaut enthält die Sehzellen (Stäbchen und Zapfen) und wandelt das auftreffende Licht mit Hilfe dieser ca. 125 Mio. Sehzellen oder Rezeptoren in elektrische Impulse um. Direkt gegenüber der Pupille liegt die Netzhautgrube (4), die Zone mit dem Bereich des schärfsten Sehens.

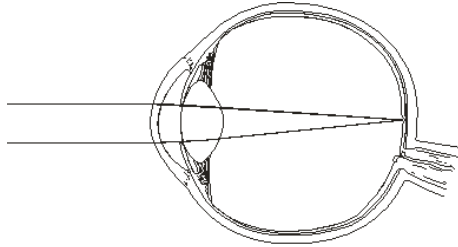
Der Sehnerv (5) leitet durch die Nervenfasern die elektrischen Impulse zur weiteren Verarbeitung an das Gehirn weiter. Der Eintritt des Sehnervs in die Netzhaut ist lichtunempfindlich ("Blinder Fleck").

Die Bindehaut ist eine Schleimhaut und kleidet als Verbindung der Oberfläche des Augapfels zu den Lidern in Form einer Umschlagsfalte den Raum zur Augenhöhle aus. Am Lidrand sowie am Übergang von der Leder- zur Hornhaut ist die Bindehaut fest mit der Unterlage verbunden, ansonsten ist sie leicht verschiebbar.

## 1.2. Fehlsichtigkeiten

### 1.2.1 Normalsichtigkeit (Emmetropie)

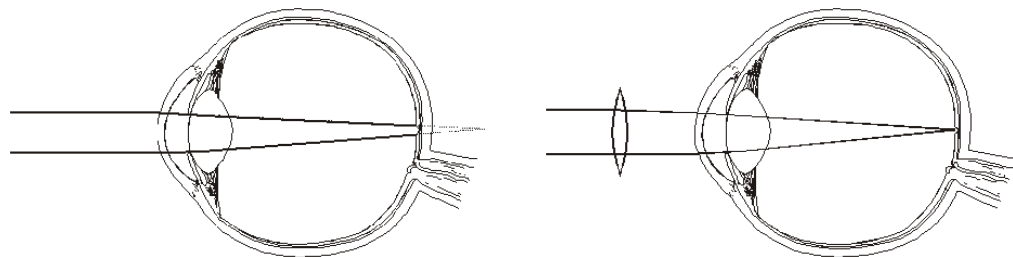
Die Baulänge des Auges steht im richtigen Verhältnis zum brechenden System. Parallel in das Auge einfallende Strahlen werden in einem auf der Netzhaut liegenden Brennpunkt vereinigt, d.h. scharf auf die Netzhaut abgebildet.



Quelle: [www.klinikum-dessau.de](http://www.klinikum-dessau.de)

### 1.2.2 Weitsichtigkeit (Hypermetropie)

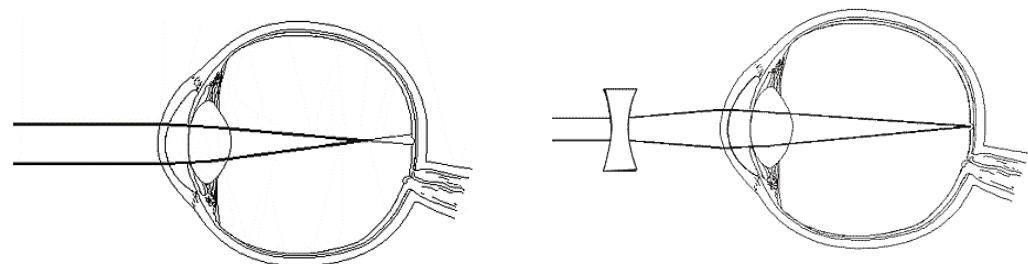
Die Baulänge des Auges ist im Verhältnis zum brechenden System zu kurz. Parallel in das Auge einfallende Strahlen werden daher nicht auf, sondern hinter der Netzhaut in einem Brennpunkt vereinigt. Weitsichtigkeit kann bis zu einem gewissen Grad durch die Fähigkeit der Augenlinse, den Brechwert zu ändern teilweise oder ganz kompensiert werden. Zur Korrektur werden sammelnde Gläser in Plusdioptrien vor das Auge gesetzt.



Quelle: [www.klinikum-dessau.de](http://www.klinikum-dessau.de)

### 1.2.3 Kurzsichtigkeit (Myopie)

Die Baulänge des Auges ist im Verhältnis zum brechenden System zu lang. Parallel in das Auge einfallende Strahlen werden daher nicht auf, sondern vor der Netzhaut in einem Brennpunkt vereinigt. Kurzsichtigkeit kann nicht durch die Augenlinse kompensiert werden. Wer kurzsichtig ist, sieht schlecht in die Ferne. Zur Korrektur werden zerstreue Gläser in Minusdioptrien vor das Auge gesetzt.



Quelle: [www.klinikum-dessau.de](http://www.klinikum-dessau.de)

#### 1.2.4 Regelmässige oder unregelmässige Stabsichtigkeit (Astigmatismus)

Dieser Sehfehler ist meist mit einer Weit- oder Kurzsichtigkeit verbunden. Parallel in das Auge einfallende Strahlen treffen sich nicht in einem Brennpunkt sondern in zwei Brennpunkten.

Liegt ein regelmässiger Astigmatismus vor, sind die Hornhaut und/oder die Augenlinse in zwei Richtungen unterschiedlich gekrümmt. Diese Krümmungen werden als Meridiane bezeichnet und stehen senkrecht aufeinander. Da beide Meridiane eine unterschiedliche optische Wirkung aufweisen, wird ein Punkt in zwei Brennpunkten abgebildet, die ebenfalls senkrecht aufeinander stehen. Zur Korrektur werden Zylindergläser eingesetzt, die, ebenso wie das Auge, in zwei verschiedenen Meridianen unterschiedliche Wirkungen aufweisen. Diese müssen in ihrer Achsenlage entsprechend den Meridianen vor das Auge gesetzt werden.

Ein unregelmässiger Astigmatismus wird meist durch Erkrankungen oder Verletzungen der Hornhaut hervorgerufen. Die Meridiane der Hornhaut stehen durch unregelmässige Formveränderungen der Hornhautvorderfläche oder Veränderungen in einer der Hornhautschichten nicht mehr senkrecht aufeinander. Die Folge ist eine irreguläre Abbildung, die durch Brillengläser nicht mehr korrigiert werden kann.

#### 1.2.5 Alterssichtigkeit (Presbyopie)

Die Alterssichtigkeit ist die Folge des natürlichen Alterungsprozesses der Augenlinse und tritt bei Normalsichtigkeit und bei jeder Art von Fehlsichtigkeiten auf. Sie betrifft alle Menschen und nimmt mit fortschreitendem Alter bis zum Erreichen eines stabilen Zustandes zu. Sie macht sich durch ein reduziertes oder fehlendes Naheinstellvermögen der Augenlinse (Akkommodation) in der Regel zwischen dem 45. und 50. Lebensjahr bemerkbar. Ihre subjektive Wahrnehmung ist jedoch auch davon abhängig, ob eine vorbestehende Fehlsichtigkeit korrigiert wurde.

### 1.3 Korrektur der Fehlsichtigkeiten

#### 1.3.1 Brillengläser

Die oben erwähnten Fehlsichtigkeiten können, mit Ausnahme des unregelmässigen Astigmatismus, mit Brillengläsern korrigiert werden. Je nach Fehlsichtigkeit werden dazu sphärische oder zylindrische Ein- oder Mehrstärkengläser aus Silikatglas oder Kunststoff verwendet.

#### 1.3.2 Contactlinsen

Aufgrund der Tatsache, dass Contactlinsen im Tränenfilm vor der Hornhaut schwimmen, können diese, durch die unter der Contactlinse befindliche Tränenflüssigkeit, Unregelmässigkeiten der Hornhautvorderfläche weitgehend kompensieren. Wegen ihrer höheren Formstabilität eignen sich gasdurchlässige formstabile Contactlinsen zu diesem Zweck wesentlich besser als weich hydrogele Contactlinsen. Auf die spezielle Verwendung von Contactlinsen bei Keratokonus wird im Abschnitt 3.2 näher eingegangen.

#### 1.3.3 Orthokeratologie („Nachtlinsen“)

Die Contactlinsen werden über Nacht und nicht tagsüber getragen, sie dienen zur Korrektur von moderaten Astigmatismen und Kurzsichtigkeiten von bis zu -4.00 dpt. Es handelt sich dabei um eine nicht invasive, reversible Veränderung der Form der Hornhaut durch Umlagerung von Hornhautgewebe.

Diese Art von Korrektur eignet sich jedoch nicht bei vorliegendem Keratokonus oder ähnlichen Veränderungen der Hornhaut und ist in diesen Fällen kontraindiziert.

#### 1.3.4 Refraktive Chirurgie

Heute stehen viele verschiedene Methoden zur Behebung der unterschiedlichen Fehlsichtigkeiten zur Verfügung. Diese Methoden gelten, bis auf das Implantieren von intra-ocularen Ringsegmenten, nach dem heutigen Wissensstand alle als nicht tauglich für die

Anwendung bei Erkrankungen der Hornhaut. Somit besteht bei Vorliegen eines Keratokonus für das betroffene Auge eine Kontraindikation.  
Im Folgenden eine Auswahl der heute gängigsten Verfahren:

RK = Radiäre Keratotomie

Tiefe, radiäre Einschnitte in die Hornhaut ändern die Brechkraft. Dieses Verfahren wird heute nur noch selten und in speziellen Fällen angewendet.

PRK = Photorefraktive Keratektomie

Das Epithel der Hornhaut wird abgetragen, anschliessend wird die darunter liegende Schicht (Stroma) mit dem Excimer Laser behandelt. Dieses Verfahren wird heute nur noch selten und in speziellen Fällen angewendet.

Lasik = Laser in situ Keratomileusis

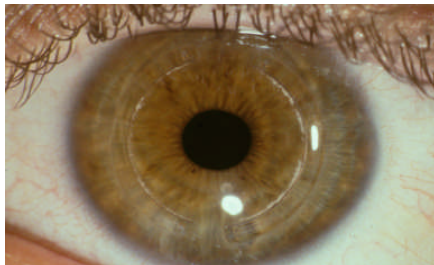
Mit einem Spezialinstrument wird ein dünner Hornhautlappen (Epithel und Bowman'sche Schicht) präpariert und zur Seite geschoben, anschliessend wird die darunter liegende Schicht (Stroma) mit dem Excimerlaser behandelt und der Lappen wieder zurückgelegt.  
Korrektionsbereich sphärisch: +4.00 bis -8.00 dpt.  
Korrektur des Astigmatismus: bis maximal 4.00 dpt.

Lasek = Laser (sub)epitheliale Keratektomie

Das Hornhautepithel wird mittels einer Alkohol-Lösung aufgeweicht und auf die Seite präpariert. Die darunter liegende Schicht (Stroma) wird mit dem Excimerlaser behandelt. Anschliessend wird das Epithel wieder wie eine Schicht auf die behandelte Hornhaut gelegt.  
Korrektionsbereich sphärisch: +4.00 bis -8.00 dpt.  
Korrektur des Astigmatismus: bis maximal 4.00 dpt.

ICR = Intracorneale Ringsegmente

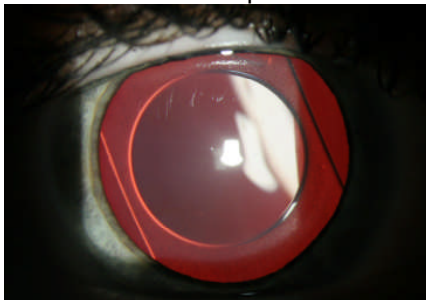
In die mittlere Peripherie der Hornhaut werden im Bereich des Stromas zwei Ringsegmente implantiert, diese ändern indirekt die Brechkraft im Zentrum.  
Korrektionsbereich sphärisch: -2.00 bis -5.00 dpt.  
Bei Keratokonus Implantation von einem oder 2 verschieden dicken Segmenten möglich.



*Auge nach Implantation von intracornealen Ringsegmenten*

ICL = Intraoculare Linse

Implantation einer Kunstlinse hinter die Pupille (Iris), vor die eigene, natürliche Augenlinse.  
Korrektionsbereich sphärisch: -8.00 bis -25.00 dpt. und +4.00 bis +12.00 dpt.



*Intraoculare Linse, die hinter der Iris eingesetzt wurde, sichtbar bei stark dilatierter Pupille*



IOL = Intraoculare Linse

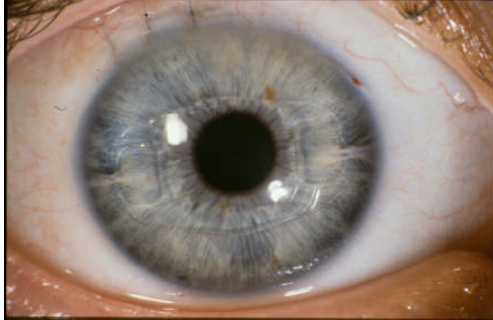
Ersetzen der eigenen Augenlinse durch eine Kunstlinse mit optimierter Brechkraft. Das Auge ist dann "pseudophak". Das Auge verliert die natürliche Möglichkeit der Naheinstellung (Autofocus).

Korrektionsbereich sphärisch: +12.00 bis -30.00 dpt.

IOL-LC = Intraoculare Vorderkammerlinse

Implantation einer Kunstlinse vor der Pupille (Iris), die Fixation erfolgt entweder im Kammerwinkel oder an der Iris selbst.

Korrektionsbereich sphärisch: -8.00 bis -25.00 dpt. und +4.00 bis +12.00 dpt.



*Intraokulare Vorderkammerlinse (IOL-LC), fixiert an der Iris*

Für die anderen oben erwähnten Methoden ist eine Abbildung nicht sinnvoll, da bei erfolgreicher Durchführung die einzelnen Details im Druck nicht wünschenswert dargestellt werden können.

## 2. Der Keratokonus (KK)

### 2.1 Die gesunde Hornhaut

Die menschliche Hornhaut ist Bestandteil der äusseren Augenhaut und stellt die Fortsetzung der Lederhaut nach vorne dar. Sie besteht aus sechs unterschiedlich strukturierten Schichten mit verschiedenen Aufgaben. Die einzelnen Schichten sind das Epithel, die Basalmembran, die Bowman'sche Schicht, das Stroma, die Descemet'sche Membran und das Endothel.

Das Epithel ist die oberste Schicht der Hornhaut. Es stellt einen mehrschichtiger Zellverband dar, der relativ leicht verletzbar ist, jedoch nach Verletzungen wieder vollständig und schnell regeneriert. Das Epithel stellt eine wichtige Barriere gegen das Eindringen von Tränenfilm und Mikroorganismen dar. Die optimale Benetzung der Oberfläche wird durch eine schleimige Substanz erreicht, die von den Becherzellen der Bindehaut und den Epithelzellen selbst erzeugt wird und auch wichtig ist, um einen optimalen Tragekomfort von Contactlinsen zu gewährleisten und zu erhalten.

Das Epithel liegt direkt der von ihm gebildeten Basalmembran auf.

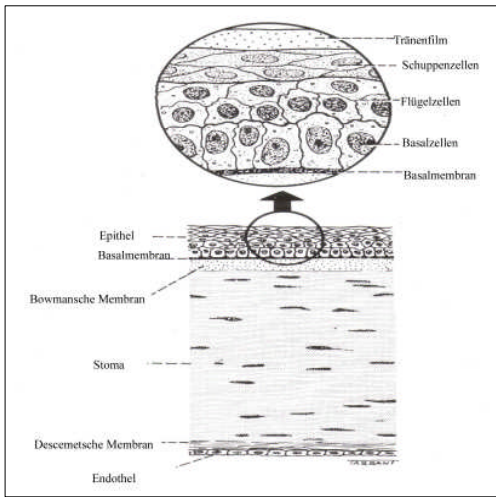
Die Bowman'sche Schicht kann als oberste, komprimierte Schicht des Stromas aufgefasst werden, sie weist eine relativ hohe Widerstandsfähigkeit auf, ist bei Verletzungen jedoch nicht in der Lage vollständig zu regenerieren und heilt damit unter Narbenbildung.

Das Stroma besteht aus Zwischenzellsubstanz (Fasern und Grundsubstanz) und Zellen (Keratozyten). Es ist sehr formbeständig und weist mit Abstand die grösste Dicke der Schichten auf.

Die Descemet'sche Membran ist die Basalmembran des Endothels und verdickt sich mit steigendem Lebensalter. Sie kann nach Verletzungen regenerieren, heilt also ohne Narbenbildung. Bei Keratokonus kommt es im Bereich der Descemet'schen Membran zu Vogt'schen Spaltlinien und ab einem gewissen Stadium zur Faltenbildung.

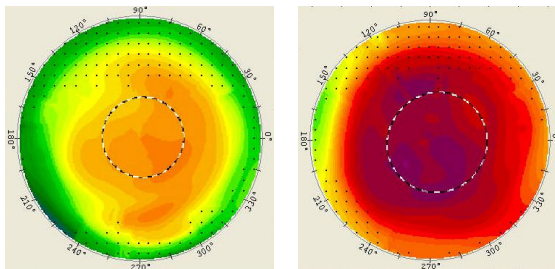
Das Endothel ist ein einschichtiges Epithel und sehr wichtig für die Ernährung und die Transparenz der Hornhaut. Nach Verletzungen und/oder nachhaltigen Stoffwechselstörungen werden die Lücken der fehlenden Zellen durch Migration und Ausdehnung der Nachbarzellen geschlossen. Bei Erwachsenen können abgestorbene Endothelzellen nicht mehr ersetzt werden.



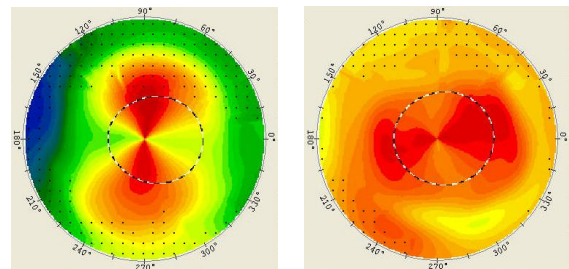


Histologischer Schnitt durch eine Hornhaut, der die Lage der besprochenen Strukturen verdeutlicht

Zur Erhöhung der Stabilität der Hornhaut ist das Epithel durch tiefe Verankerungen, die bis in das Stroma reichen, an der Unterlage befestigt. Durch Veränderungen in der Struktur der Basalmembran und der Bowman'schen Schicht beim Keratokonus ist sowohl die Struktur als auch die Anheftung des Epithels bei Keratokonus, je nach Ausprägung, mehr oder weniger stark beeinträchtigt. Dies führt zu einer geringeren mechanischen Belastbarkeit der Hornhaut, was den Tragekomfort und die Verträglichkeit von Contactlinsen beeinträchtigen kann. Die Grenzen für das Tragen von Contactlinsen werden somit neben der topographischen auch wesentlich von der morphologischen Situation der Hornhaut gesetzt.



Videokeratographie-Aufnahmen bei sphärischen Hornhaut-Oberflächen



Videokeratographie-Aufnahmen bei regelmässig, astigmatischen Hornhaut-Oberflächen

## 2.2 Verschiedene Vorwölbungen (Ektasien) der krankhaft veränderten Hornhaut

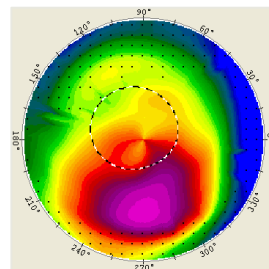
Im Zusammenhang mit den verschiedenen, unregelmässigen Vorwölbungen sind die folgenden Erscheinungsformen zu erwähnen.

### 2.2.1 Keratokonus (KK)

Der Keratokonus ist eine nicht entzündliche, oftmals fortschreitende und meist beidseitig auftretende Erkrankung der Hornhaut. Die Vorwölbung hat meist die Form eines Konus und betrifft nur einen Teil der Hornhaut, meist den unteren Bereich. Das erste Auftreten liegt meist zwischen der zweiten und dritten Lebensdekade.



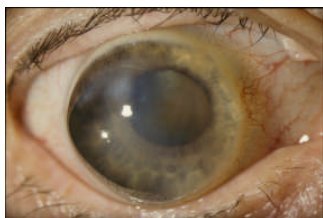
Seitenansicht der Vorwölbung der Hornhaut bei Keratokonus



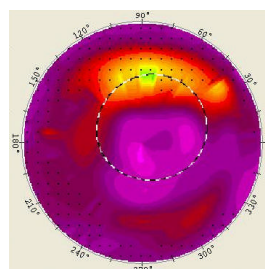
Videokeratographie-Aufnahme bei Keratokonus

## 2.2.2 Keratoglobus

Der Keratoglobus ist eine extrem seltene, krankhafte und gewöhnlich beidseitig vorhandene Veränderung der Hornhaut, die eine kugelförmige Vorwölbung aufweist und die ganze Hornhaut betrifft. Es handelt sich um eine angeborene Fehlbildung der Hornhaut.



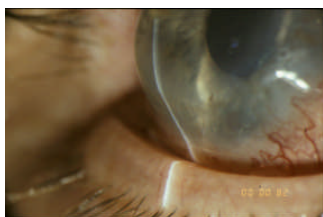
Vorderansicht der Vorwölbung der gesamten Hornhaut bei Keratoglobus



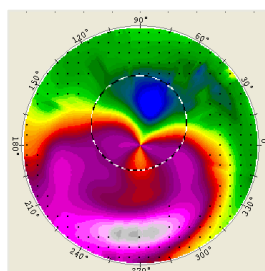
Videokeratographie-Aufnahme bei Keratoglobus

## 2.2.3 Pellucide marginale Degeneration

Die pellucide, marginale Degeneration ist eine gewöhnlich beidseitig vorhandene, sehr seltene, krankhafte Veränderung der Hornhaut. Die Ektasie liegt im unteren, peripheren Bereich der Hornhaut die Erkrankung tritt meist in der dritten oder vierten Lebensdekade auf.



Unterer, verdünnter Bereich der Hornhaut Bei pellucider marginaler Degeneration



Videokeratographie-Aufnahme bei pellucider marginaler Degeneration

## 2.3. Häufigkeit des KK

Eine Angabe zur Häufigkeit des Auftretens eines Keratokonus ist nicht abschliessend möglich. Die Gründe dafür liegen zum einen darin, dass Keratokonus regional in sehr unterschiedlicher Häufigkeit auftritt. Zusätzlich gibt es verschiedene Hornhautformen, die den Anschein erwecken, dass es sich um einen Keratokonus geringer und damit subjektiv nicht wahrgenommener klinischer Ausprägung handelt, der in einem frühen Stadium zum Stillstand kam. Angaben in der Literatur gehen von ca. 50 Fällen pro 100 000 Einwohner aus.

## 2.4 Krankheitsbild des KK

Unter Keratokonus versteht man eine nicht entzündliche, meist fortschreitende (progrediente) Erkrankung der Hornhaut, die vermutlich durch lokale Stoffwechselstörungen hervorgerufen wird und in deren Verlauf es zu einer Vorwölbung von zentralen und parazentralen Bereichen der Hornhaut kommt. Im Bereich der Vorwölbung kommt es zusätzlich zu einer Verdünnung der Hornhaut und in fortgeschrittenen Stadien der Erkrankung zur Narbenbildung.

Durch die Erkrankung kann die Sehschärfe stark beeinträchtigt werden. Eine Korrektur der beeinträchtigten Sehschärfe ist im Anfangsstadium mit Brille, in fortgeschrittenen Stadien nur noch mit formstabilen Contactlinsen möglich. Können in stark fortgeschrittenen Stadien keine Contactlinsen mehr angepasst werden, muss für eine visuelle Rehabilitation eine Hornhauttransplantation durchgeführt werden.

Eine Stabilisierung des Hornhautgewebes durch Kollagenvernetzung (siehe 3.3.4) zeigt erste, häufig positive Ergebnisse und scheint vor allem in frühen Stadien zur Erhaltung des Status quo sinnvoll. Es liegen Ergebnisse aus Nachbeobachtungszeiten von 7,5 Jahren vor. Zusätzlich wird eine Korrektur der Form der Hornhaut durch den Einbau cornealer Ringsegmente versucht. Eine Heilung des Keratokonus ist bis dato nicht möglich.

## 2.4.1 Veränderung des Gewebes

### Histologische Veränderungen

In der Hornhaut finden sich bei Keratokonus Veränderungen in der Struktur vor allem der vorderen Hornhaut. So ist die vorderste Schicht der Hornhaut, das Epithel, dünner als normal und weist strukturelle Unregelmässigkeiten auf. Die darunter liegende Basalmembran und die Bowman'sche Schicht weisen eine veränderte Zusammensetzung, teilweise Verdünnung, Aufsplitterung und Vernarbungen auf. Im Stroma der Hornhaut kommt es zu einer Veränderung der Struktur und der Anordnung der kollagenen Fasern und zu Form- und Funktionsänderungen der Zellen des Stromas, der Keratozyten.

### Biochemische Veränderungen

Die aufgeführten Veränderungen sind mehrheitlich auf eine gestörte Funktion von Enzymen, die die Erhaltung und Erneuerung von Hornhautzellen und -substanz regeln, zurückzuführen. So findet man im Stroma von Hornhäuten, die an Keratokonus erkrankt sind, gleichzeitig einen erhöhten Anteil an gewebeabbauenden Enzymen und einen verringerten Anteil an Enzymen, die die Apoptose, d. h. den die Zellzahl regulierenden, genetisch programmierten Zelltod, hemmen. Dies führt in der Summe zu einem Abbau von Gewebe und damit zu einer Verdünnung der Hornhaut.

Zusätzlich weisen an Keratokonus erkrankte Hornhäute einen reduzierten Anteil an Enzymen auf, die gewebeschädigende Abbauprodukte freier Radikale inaktivieren. Die dadurch in grösserer Anzahl vorhandenen gewebeschädigenden Substanzen bewirken eine weitere Zunahme der Apoptose im Stroma der Hornhaut.

Während Zellen, die irreversibel geschädigt sind, absterben, können reversibel geschädigte Zellen durch Reparaturmechanismen wiederhergestellt werden. Die Keratokonus-hornhaut befindet sich also in einem Zustand ständiger Verletzungen und den darauf folgenden Heilungsprozessen, die in der Summe ebenfalls zu einem Abbau von Gewebe und zur Narbenbildung im Bereich der Ektasie führen.

Auf Grund der Veränderungen wird das Stroma zunehmend dünner und die Hornhaut zunehmend weicher. Die mechanische Belastbarkeit ist etwa um das 2.5 fache reduziert.

## 2.4.2 Symptomatik

### Subjektive Symptome

Aufgrund der Vorwölbung der Hornhaut kommt es zu einer zunehmenden Kurzsichtigkeit (Myopisierung), die als Sehverschlechterung wahrgenommen wird. Durch die Vorwölbung der Hornhaut entsteht zudem eine mehr oder weniger unregelmässige Hornhautvorderfläche, die einen zunehmend unregelmässigen Astigmatismus und durch die Bildverzerrung eine weitere Verschlechterung der Sehschärfe bewirkt. Die betroffenen Personen beschreiben häufig, auch mit der bestmöglichen Brillenkorrektur, Schattensehen und Doppelkonturen. In diesem Stadium kann mit einer Brille die maximal mögliche Sehschärfe nicht mehr vollständig wiederhergestellt werden.

Da der Keratokonus auf beiden Augen meist zeitlich versetzt auftritt, sind diese Verschlechterungen der Sehschärfe typischerweise auf einem Auge stärker ausgeprägt. Häufig findet sich zusätzlich eine starke Lichtempfindlichkeit.

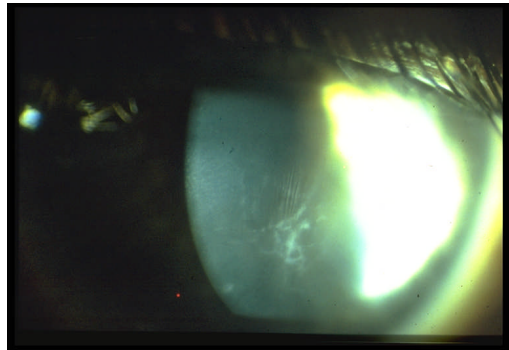
### Objektive Anzeichen

Die objektiven Anzeichen eines Keratokonus können von einer entsprechenden Fachperson (Augenarzt oder Optometrist) mit speziellen Untersuchungsgeräten festgestellt werden. So findet sich zum Beispiel eine Versteilung der zentralen Krümmungsradien der Hornhaut sowie eine Verkipfung und Verkleinerung der Testmarken des Ophthalmometers, einem Gerät zur Messung der Krümmungsradien. Bei der Progredienz eines Keratokonus wird der Astigmatismus in der Regel grösser und die Achslagen der zu korrigierenden Hornhautverkrümmung sind bei bester Brillenkorrektur oftmals wechselnd. Mit dem Videokeratographen wird eine Grosszahl an Messdaten ermittelt und lässt meist eine eindeutige Analyse, ob und wie stark ein Keratokonus ausgeprägt ist, zu.

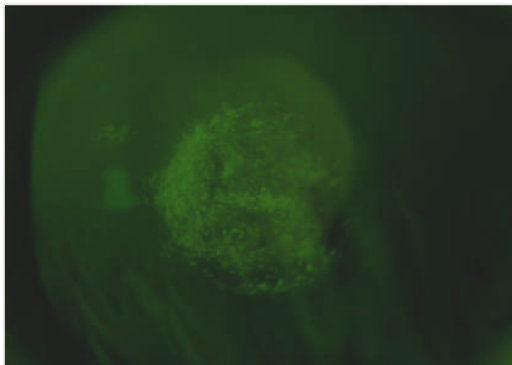
Beim Blick nach unten wölbt sich bei ausgeprägten Keratokoni das Unterlid in Form des Konus, was als Munson'sches Zeichen bezeichnet wird.



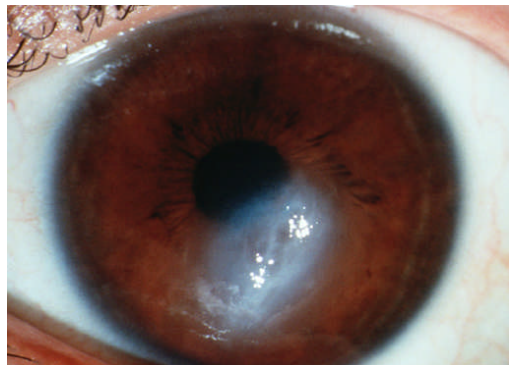
*Verdünnung der Hornhaut im betroffenen Bereich zentral bei fortgeschrittenem Keratokonus, sichtbar bei Spaltbetrachtung am Spaltlampenmikroskop*



*Vogt'sche Spaltlinien der Descemet'schen Membran und Narbenbildung im Bereich der Vorwölbung (Bild: W. Sickenberger)*



*Wirbelförmige Stippen bei Keratokonus, durch Fluoreszein angefärbt*



*Akuter Hydrops - nach Ruptur des Endothels und der Descemet Membran*

Am Spaltlampenmikroskop finden sich eine überdurchschnittliche Vorwölbung der Hornhaut sowie Veränderungen der Hornhautstruktur wie z. B. Verdünnung und Narbenbildung der Hornhaut im Bereich der Ektasie, eisenhaltige Einlagerungen in der Peripherie der Ektasie in der vordersten Schicht der Hornhaut (Fleischer'scher Ring) und Spaltlinien im hinteren Bereich der Hornhaut (Vogt'sche Spaltlinien). Zusätzlich zeigt zum Teil die vorderste Schicht der Hornhaut (Epithel) unter Einfärbung mit einem diagnostischen Farbstoff (Fluoreszein) ein charakteristisches Färbemuster (wirbelförmige Stippen).

Im Rahmen der Brillenglasbestimmung ist eine Zunahme der Kurzsichtigkeit (Myopie) verbunden mit einer Zunahme der Hornhautverkrümmung und einer abnehmenden Sehschärfe mit bester Brillenkorrektur charakteristisch.

## 2.5. Erscheinungsformen des KK

Phänomenologisch lassen sich mit aufgesetzten Contactlinsen anhand der Fluoreszenzbilder die verschiedenen Formen des Keratokonus in 4 Gruppen einteilen. Ein fließender Übergang der Formen untereinander ist jedoch feststellbar.

Die morphologische Erscheinungsform des Keratokonus kann jedoch auch durch messbare Parameter quantifiziert werden. Dies sind Parameter wie Ort und Lage sowie Durchmesser der prominentesten Hornhautstelle, Ort und Durchmesser der dünnsten Hornhautstelle, Differenzen des Verlaufes der Krümmungen der Hornhautradien in den Halbmeridianen der betroffenen Hornhaut sowie dem Scheiteltiefenunterschied der prominentesten Hornhautstelle zur nicht betroffenen Hornhautperipherie.

### 2.5.1 Einteilung nach Amsler (erweitert nach Muckenhirn)

Eine erste Einteilung des Keratokonus erfolgte rein auf der Grundlage von zentral gemessenen Werten mit dem Ophthalmometer (Keratometer) und dem morphologischen Befund am Spaltlampenmikroskop.

Grad	Amsler-winkel	Radius der Hornhaut [mm] *	Visus mit Brille	Visus mit Contactlinse	Transparenz der Hornhaut	Dicke der Hornhaut [mm]	Exzentrizität
1	0° - 3°	>7.5	1.0 – 0.8	>1.0	normal	0.5	< 0.8
2	4° - 9°	6.5 – 7.5	0.2 – 0.8	0.8 – 1.0	normal	0.3 – 0.5	0.8 – 1.2
3	> 9°	5.8 – 6.5	0.1 – 0.2	0.4 – 0.8	Leichte zentrale Trübung	0.2 – 0.3	1.2 – 1.5
4	Nicht messbar	<5.8	<0.1	0.2 – 0.4	starke zentrale Trübung	<0.2	>1.5

Tabelle nach Amsler

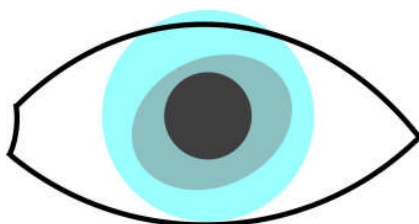
\*Radius des Meridians mit gleicher Grösse der Testmarken

Die ursprüngliche Einteilung nach Amsler wurde von Muckenhirn durch die Exzentrizität der Hornhaut erweitert. Die Exzentrizität ist ein Mass für die periphere Abflachung der Hornhaut und damit ein wichtiges Mass für die Herstellung der korrigierenden Contactlinsen. Je grösser die Exzentrizität ist, umso stärker ist die periphere Abflachung.

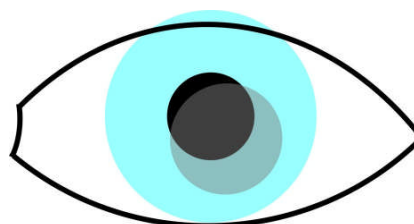
### 2.5.1 Erscheinungsformen nach Form und Lage der Vorwölbung

Die Definition dieser Erscheinungsformen erfolgt durch die Interpretation der Auflageflächen der angepassten Contactlinsen mit bekannter Rückflächengeometrie im Fluoreszeinbild und ist als rein qualitative Unterscheidung zu sehen. Eine quantitative Aussage ist nicht möglich.

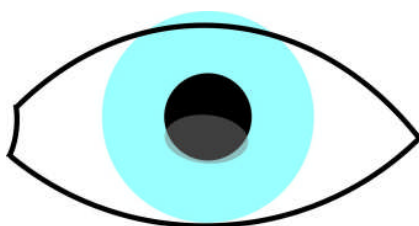
Eine vereinfachende Einteilung in globaler, ovaler, kreisförmiger sowie kuppelförmiger Keratokonus kann vorgenommen werden, wobei ein fließender Übergang der Formen untereinander feststellbar und eine scharfe Abgrenzung der Erscheinungsformen nicht möglich ist.



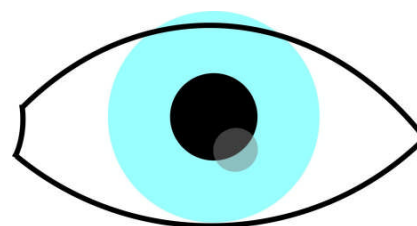
Globaler Keratokonus im Schema



Kreisförmiger Keratokonus im Schema



Ovaler Keratokonus im Schema



Kuppelförmiger Keratokonus im Schema

Um eine optimale Verlaufskontrolle des keratokonisch betroffenen Bereiches zu erhalten, ist die Veränderung der Vorwölbung (Ektasie) in Art und Lage, sowie die Verdünnung der Hornhaut und eine mögliche Dickenveränderung wichtig.

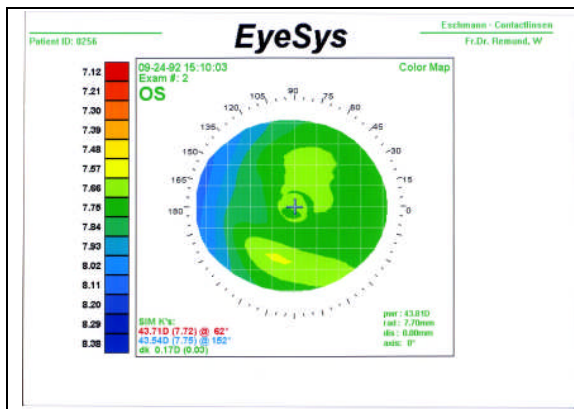


## 2.5.2 Erscheinungsformen nach videokeratographischen Befunden

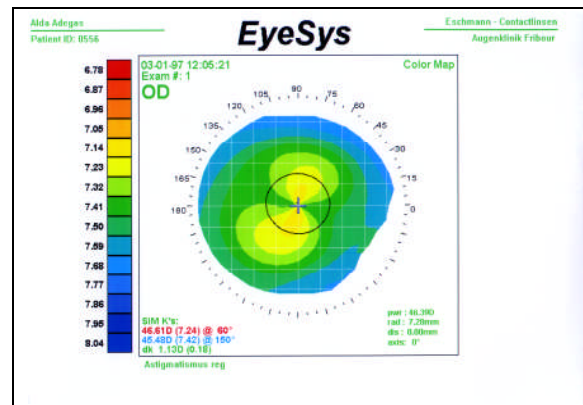
Videokeratoskope (Keratographen) bieten im Gegensatz zu herkömmlichen Vermessungen der Hornhaut mit Ophthalmometern (Keratometern), bei denen die Hornhautform aus der Messung einzelner wenige Punkte definiert wird, die Möglichkeit, durch eine Vielzahl von Messpunkten (bis zu 22'000) die Hornhautform über einen größeren Bereich zu erfassen. Diese Vielzahl von Messpunkten kann durch verschiedene mathematische Verfahren ausgewertet werden und Informationen sowohl über die Hornhautform als auch über Veränderungen geben.

Eine grobe Einteilung und "Normierung" erfolgt durch die Informationen über die Lage des apikalen Bereiches in Bezug auf die gesamte Hornhautoberfläche. Bei Abweichungen von diesen "Normen", werden zusätzliche Daten für die Definition der jeweiligen Erscheinungsform verwendet. Falls erforderlich, werden auch die Informationen über die, für die Anpasstechnik der Contactlinsen bestimmende Formen, herangezogen.

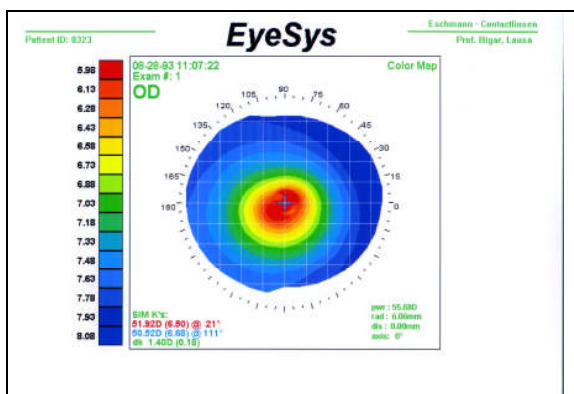
Die Farbskala reicht von Blau für sehr flache Hornhautbereiche über Grün, Gelb, Rot bis hin zu Violett und Grau für sehr steile Hornhautbereiche.



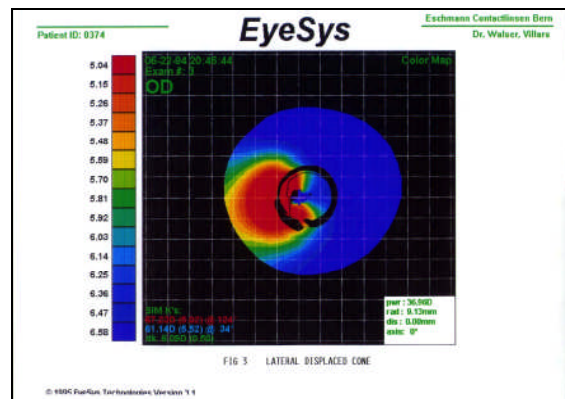
Hornhauttopographie bei sphärischer Hornhautgeometrie



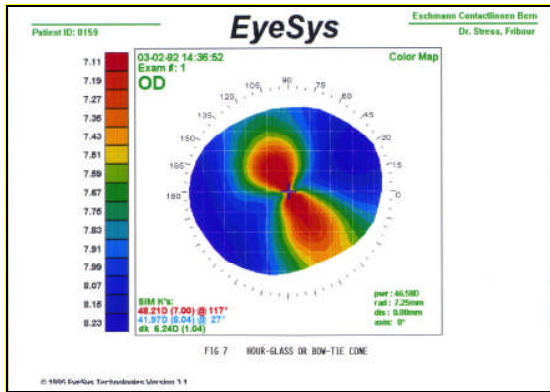
Hornhauttopographie bei diskretem, regelmässigen Astigmatismus



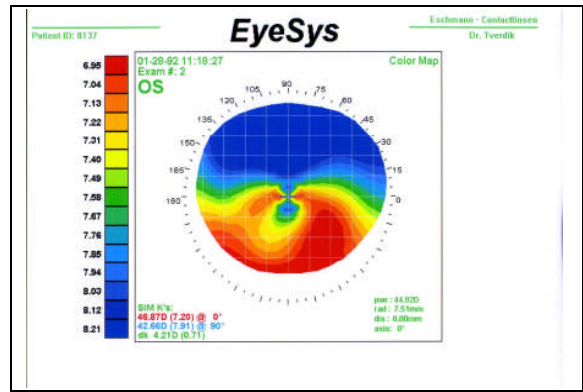
Zentraler Keratokonus (Bereich der Spitz des Konus - Apex) im Vektor nicht mehr als ca. 1.5 mm horizontal/vertikal dezentriert).



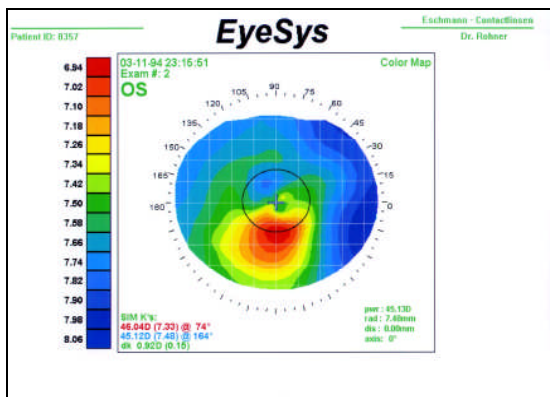
Nach aussen dezentrierter Keratokonus



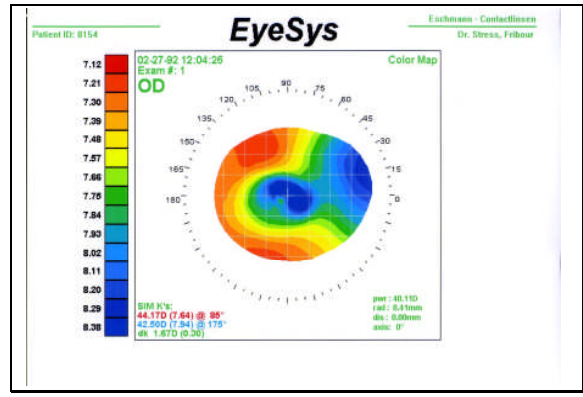
Sanduhr Keratokonus (Form in bow-tie), auch diese Form kann, wie die "normale" Form, dezentriert sein



Halbseitiger (hemisphärischer) Keratokonus



Nach unten dezentrierter Keratokonus



Vernarbter Keratokonus (selbstheilender Apexbereich)

Diese grösserflächige Erfassung der Hornhauttopographie stellt einen enormen Fortschritt sowohl für die Verlaufskontrolle bei Veränderungen als auch für die Anpassung von Contactlinsen dar. Mit einigen Geräten ist es zusätzlich möglich, neben der Topographie auch die Dicke der Hornhaut sowie die Form der Hornhaurückfläche zu erfassen.

## 2.6 Wann tritt der KK auf

Der Keratokonus tritt meist in der zweiten oder dritten Lebensdekade auf. Bestehende Anlagen zum Keratokonus müssen sich jedoch nicht in jedem Fall zur manifesten Form ausbauen. Da diese nicht voll ausgebildeten Formen die optische Abbildung nicht oder kaum beeinträchtigen, werden sie meist nur zufällig, eventuell zu einem späteren Zeitpunkt, gefunden.

## 2.7 Möglichkeiten des Verlaufes des KK

Keratokonus ist eine meist progrediente Erkrankung, deren genaue Ursachen und Krankheitsmechanismen noch weitgehend unbekannt sind. Im Allgemeinen sind beide Augen, allerdings in unterschiedlichem Ausmass, von der Erkrankung betroffen. Häufig tritt der Keratokonus an beiden Augen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf. Die Diagnose wird meist in der zweiten bis dritten Lebensdekade gestellt. Der Krankheitsverlauf ist individuell sehr unterschiedlich. Bis zum Alter von ca. 35-40 Jahren muss mit einem Fortschreiten der Erkrankung und damit mit einer Zunahme der Hornhautveränderungen und der subjektiven Beschwerden gerechnet werden. Danach stellt sich in der Regel ein stabiler Zustand ein. Die progressive Veränderung kann schubweise erfolgen.

Während der Zeit, in der die Krankheit fortschreitet, verstreuen sich die Krümmungsradien der betroffenen Hornhautbereiche. Aufgrund der nachlassenden Stabilität der Hornhaut kann es zu Einrissen in den hinteren Bereichen der Hornhaut und damit zum Einfließen von Kammerwasser, der Flüssigkeit, die sich hinter der Hornhaut befindet, kommen. Man spricht dann von einem „akuten Keratokonus“ (Hydrops). Der „akute Keratokonus“ heilt unter Narbenbildung. Dies führt



meist zu einer Stabilisierung der Hornhaut, so dass die Erkrankung danach meist zum Stillstand kommt.

Verläuft die Erkrankung stark progredient, d. h. dass es zu extremen Vorwölbungen der Cornea und zu starken Verdünnungen des Stromas oder zu starker Narbenbildung kommt, muss eine Hornhauttransplantation durchgeführt werden.

## 2.8 Wer kann vom KK betroffen sein

Keratokonus tritt gehäuft mit einer genetischen Veranlagung (Prädisposition) für allergische Reaktionen auf. Zusätzlich zeigt sich eine Häufung bei Menschen mit Trisomie 21 (Down Syndrom, Mongolismus). Auch ein Zusammenhang mit sehr seltenen systemischen Erkrankungen, bei denen der Aufbau von Bindegewebsanteilen gestört ist wie z. B. Ehlers-Danlos-Syndrom, Marfan-Syndrom und seltenen Augenerkrankungen wie Leber'scher congenitaler Amaurose, Retinitis pigmentosa und Frühgeborenen-Retinopathie wird diskutiert.

## 2.9 Ist der KK erblich

Eine genetische Prädisposition für eine Keratokonus-Erkrankung ist sehr wahrscheinlich, allerdings ist der genaue Erbgang nicht geklärt. Allgemein gilt der Keratokonus als autosomal rezessiv oder unregelmässig dominant. Auch die Faktoren, die diese Krankheit bei erblicher Vorbelastung auslösen, konnten noch nicht identifiziert werden.

Eine mechanische Komponente, die den Ausbruch des Keratokonus bei genetischer Prädisposition begünstigt, wird als sehr wahrscheinlich angesehen. So finden sich bei Keratokonuspatienten im Vergleich zur Normalbevölkerung signifikant mehr Menschen, die ihre Augen stark reiben. Zusätzlich scheint der Einfluss von UV-Strahlung bei entsprechender Disposition durch eine vermehrte Bildung freier Radikale die Entstehung des Keratokonus zu begünstigen.

In etwa 6 - 15 % der Betroffenen sind mehrere Mitglieder der Familie von diesem Krankheitsbild betroffen. Zudem tritt der Keratokonus in geschlossenen Populationen häufiger auf.

# 3. Korrektionsmöglichkeiten des KK

## 3.1 Grenzen der Brillengläser

Brillengläser korrigieren alle vorgenannten Fehlsichtigkeiten, vorausgesetzt, dass die Oberfläche der Hornhaut regelmässig gekrümmt ist und eine gute Abbildung auf der Netzhaut erlaubt. Ist dies, wie bei fortgeschrittenem Keratokonus, nicht mehr der Fall, wird in der Regel mit einer gasdurchlässigen, formstabilen Contactlinse der Versuch unternommen, eine regelmässige Vorderfläche für die optische Abbildung zu erreichen.

## 3.2 Contactlinsen

Die Contactlinsen sollen einerseits die Unregelmässigkeit der Hornhautvorderfläche und andererseits die Fehlsichtigkeit kompensieren. Durch die Ansammlung von Tränenflüssigkeit zwischen Hornhaut und Contactlinse wird die Irregularität der Hornhautoberfläche optisch ausgeglichen. Nach heutigem Wissensstand stellen Contactlinsen weder eine prophylaktische noch eine therapeutische Massnahme dar. Sie dienen lediglich der Verbesserung der optischen Abbildung und somit der Rehabilitation des Sehens.

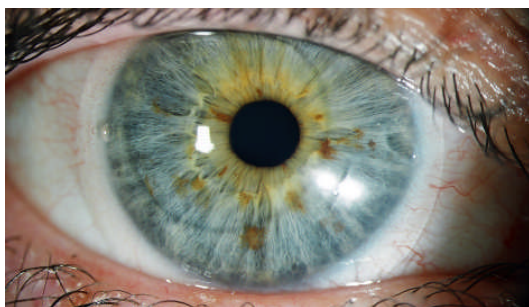
Untersuchungen haben gezeigt, dass die reduzierte Sehleistung bei Keratokonus auf die schlechtere Abbildung der irregulären und z.T. nicht mehr ganz transparenten Hornhaut zurückzuführen ist und nicht auf die Netzhaut.

Zur contactoptischen Versorgung stehen eine Vielzahl von verschiedenen Contactlinsenmaterialien in den unterschiedlichsten Ausführungen und Geometrien zur Verfügung.

### 3.2.1 Weich hydrogele Contactlinsen

Diese zeichnen sich durch eine hohe Spontanverträglichkeit bezüglich eines anfängliche Fremdkörpergefühls aus. Sie schmiegen sich wie eine zweite Haut an die Hornhaut an. Dadurch können sie eine regelmässige oder gar unregelmässige Hornhautverkrümmung je nach Ausprägung kaum oder nur bedingt korrigieren. Neue Entwicklungen ermöglichen heute eine Anwendung, wenn die Unregelmässigkeit der Hornhautverkrümmung

ein gewisses Ausmass nicht übersteigt. Dabei spielt auch die Lage der Vorwölbung im Bezug auf die Hornhaut eine wesentliche Rolle.



Weiche hydrogele Keratokonus-Linse

### 3.2.2 Formstabile, gasdurchlässige Contactlinsen

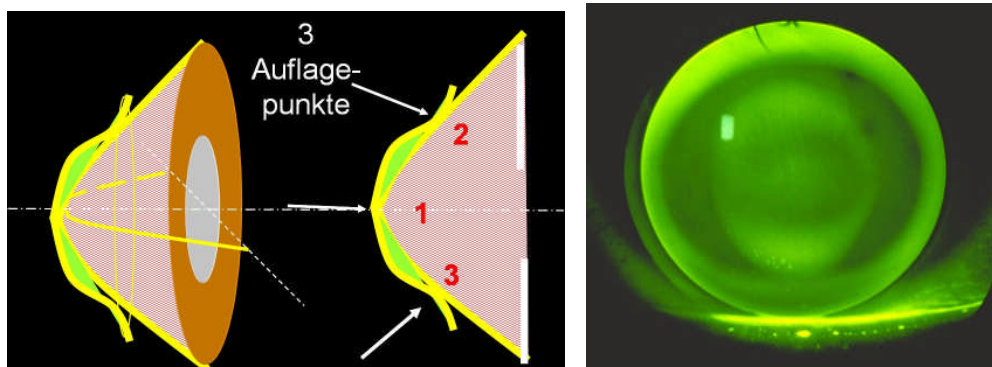
Formstabile, gasdurchlässige Contactlinsen stellen bei Keratokonus mit irregulärer Hornhautvorderfläche das einzige Korrektionsmittel dar, das die irreguläre Hornhautvorderfläche optisch ausgleicht und damit ein qualitativ gutes Netzhautbild, eine Voraussetzung für eine gute Sehschärfe, erzeugen kann.

Aufgrund der Vorwölbung der Hornhaut kommt es bei Keratokonus zu einer Abweichung der Hornhautform gegenüber nicht erkrankten Augen, die besondere Anforderungen an die Anpassung formstabiler Contactlinsen stellt.

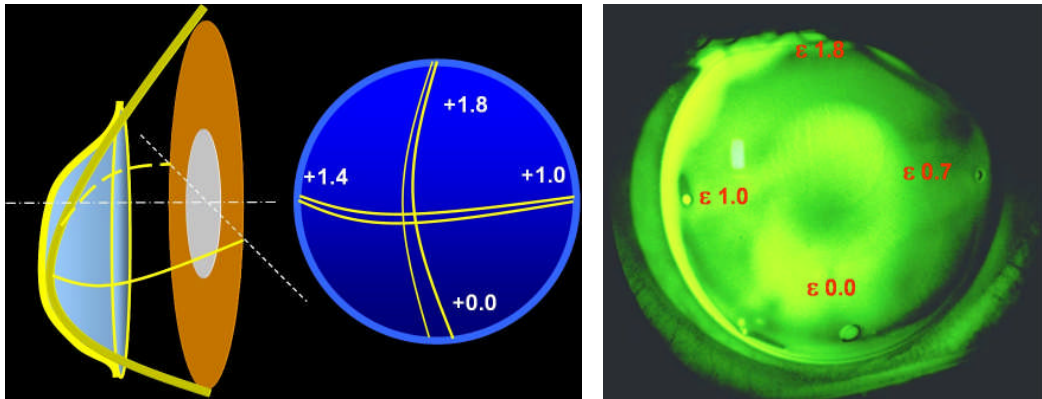
Die Formveränderungen beinhalten vor allem eine Verschiebung des höchsten Punkts der Hornhaut (Apex) meist nach unten nasal, wodurch sich eine starke Abflachung der Hornhaut nach oben und gleichzeitig eine starke Versteilung nach unten ergeben

Da formstabile Contactlinsen subjektiv und objektiv am besten vertragen werden, wenn sie über die ganze Fläche gleichmässig auf der Hornhaut aufliegen (Gleichlauf), ergeben sich mit Zunahme der Vorwölbung zunehmend Probleme, dieses Ziel mit rotationssymmetrischen Contactlinsen zu erreichen.

Dem Contactlinsenspezialisten steht heute eine Vielzahl von Contactlinsen-Geometrien zur Versorgung der Hornhaut bei Keratokonus zur Verfügung. Es sind dies z. B. rotationssymmetrische Contactlinsen (d.h. die Wölbung der Rückfläche verläuft vom Zentrum zu jedem Punkt am Rand der Contactlinse gleich) mit hoher peripherer Abflachung (numerischer Exzentrizität) und quadrantenspezifische Contactlinsen, die in vier verschiedenen Richtungen, den Halbmeridianen, unterschiedliche Formen der Rückfläche aufweisen. Des Weiteren finden asymmetrische Contactlinsen, bei denen z. B. im oberen Bereich eine Randabflachung eingearbeitet ist, um der starken Abflachung der Cornea im oberen Bereich gerecht zu werden und Contactlinsen mit dezentrierten Optikzonen Anwendung.



Beispiel einer rotationssymmetrischen Contactlinse bei Keratokonus (Bilder: G. Pöltner)



Beispiel einer nicht rotationssymmetrischen, quadrantenspezifischen Speziallinse zur Versorgung der Hornhaut bei ausgeprägtem Keratokonus mit nach unten dezentriertem Apex. (Bilder: G. Pöltner)

Bei stark ausgeprägten Keratokoni oder Personen mit überdurchschnittlich hohem Fremdkörperempfinden, werden auch Contactlinsen mit sehr grossem Durchmesser angewendet. Diese Contactlinsen werden als Minisklerallinsen bezeichnet. Ihr Durchmesser entspricht etwa dem Hornhautdurchmesser. Sie sind in ihrer Formgebung genauso vielfältig, wie kleinere formstabile Contactlinsen.

In eher seltenen Fällen kommen auch Contactlinsen zum Einsatz, die noch über diese Grösse hinausgehen, so genannte Sklerallinsen. Sie kommen dann zum Einsatz, wenn der Keratokonus besonders weit fortgeschritten ist und mit kleineren Contactlinsen kein zufriedenstellendes Sitzverhalten zu erreichen ist

Bei der Anpassung ist zu beachten, dass jede Contactlinse auf der bei Keratokonus ohnehin bereits traumatisierten Hornhaut eine zusätzliche mechanische und metabolische Belastung darstellt. Daher kommt neben der Auswahl der Form der Contactlinse und der Anpassart auch der Materialauswahl eine hohe Bedeutung zu. Zur Versorgung des Keratokonus sollten nur hochwertige, hoch gasdurchlässige und gut benetzbare Materialien Anwendung finden, um eine weitere Beeinträchtigung der Hornhautfunktionen durch zusätzlichen Sauerstoffmangel und mechanische Belastung zu vermeiden. In der Regel erfolgt bei Keratokonus eine Contactlinsenanpassung erst dann, wenn die Sehschärfe mit Brillengläsern nicht mehr zufrieden stellend korrigiert werden kann.

Contactlinsen zur Anpassung bei Keratokonus stellen Unikate dar, die entsprechend dem Wissen und Können des Contactlinsenspezialisten von spezialisierten Herstellern auch in der Schweiz individuell in Form, Stärke und Material für die entsprechende Hornhaut hergestellt werden.

Auf Grund dieser hohen Anforderungen sollte die Anpassung von Contactlinsen bei Keratokonus deshalb nur von in diesem Bereich ausgebildeten und erfahrenen Contactlinsenspezialisten ausgeführt werden.

Neben der Anpassung ist grösste Sorgfalt auf die Nachkontrollen zu legen, bei denen die Verträglichkeit der Contactlinsen für das Auge überwacht wird. Dies erfordert Erfahrung und Sicherheit im Erkennen und in der Beurteilung auch kleinster Veränderungen der Struktur der Hornhaut.

Während der Kontrolle sind die folgenden Punkte von Interesse:

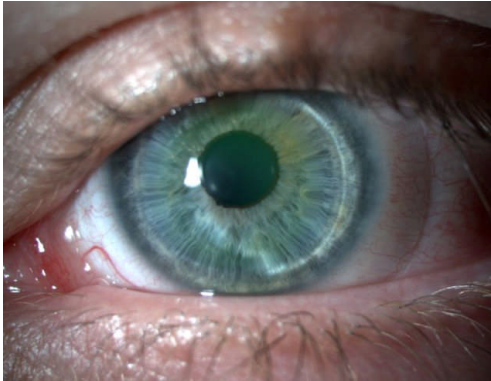
- Am Spaltlampen-Mikroskop wird die Zentrierung, das dynamische Sitzverhalten, sowie der Flächenverlauf der Contactlinsen in Bezug auf die Hornhaut beurteilt und festgehalten.
- Die Morphologie, d.h. die sichtbare Struktur der Hornhaut wird nach Abnahme der Contactlinsen beurteilt und, wenn zielgerichtet, zeichnerisch oder photographisch festgehalten.
- Die Hornhautform wird vorzugsweise mit dem Videokeratographen gemessen und somit auf Veränderungen überwacht.
- Die Brillenglasbestimmung kann Auskunft über die Brechkraft und die optische Qualität der Hornhaut und des gesamten Auges geben.
- Erscheinen durch diese Beobachtungen und Messungen Verbesserungen der Contactlinsen Anpassung sinnvoll wird diese entsprechend modifiziert.

### 3.2.3 Contactlinsen im "Huckepack-System"

In seltenen Fällen, vor allem bei sehr sensibler Hornhaut und stark erhöhter Staubempfindlichkeit, können weich hydrogele und gasdurchlässige formstabile Contactlinsen kombiniert werden. Dabei wird auf eine weiche "Trägerlinse" eine formstabile "Korrektionslinse" angepasst.

### 3.2.4 Contactlinsen Typ Janus / Hybridlinse

Dies sind Contactlinsen mit „stabilem Kern“ und „weicher Peripherie“, um einerseits den Vorteil der optimalen, optischen Abbildungseigenschaften der formstabilen Contactlinse mit der hohen Spontanverträglichkeit der weichen Contactlinsen zu verbinden. Allerdings ist die Sauerstoffdurchlässigkeit extrem gering. Zudem ist dieser Typ sehr anspruchsvoll in der Herstellung und konnte sich bis heute nicht wirklich durchsetzen. Probleme in der Anpassung, der Reproduzierbarkeit bei der Herstellung, der mechanischen Stabilität und der Pflege scheinen die Anwendung auf breiter Ebene zu limitieren.



Hybridlinse am Auge

### 3.2.5 Ablauf einer Anpassung von Spezial-Contactlinsen bei vorliegendem KK

Die Contactlinsen, die eine betroffene Person braucht, sind anlässlich des ersten Besuchs beim Spezialisten noch nicht vorhanden. Diese werden meist in mehreren Schritten definiert und anschliessend speziell gefertigt. Im Folgenden die Aufstellung eines möglichen Ablaufs eines Anpass-Vorgangs:

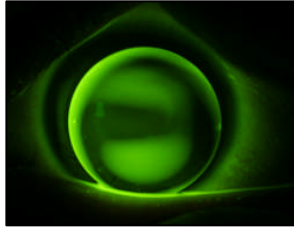
- Festhalten der Sehschärfen unkorrigiert, mit bestehender Brille und mit neu ermittelten und somit aktuellen Brillenglaswerten.
- Ausmessen der verschiedenen Parameter der Hornhaut wie Durchmesser horizontal und vertikal, zentrale Radien, Kurvenverlauf der gesamten Topographie der Hornhautvorder- sowie Rückfläche und der Dicke der Hornhaut.
- Erste Anpasscontactlinsen werden berechnet, wenn vorhanden aufgesetzt, ansonsten bei einem besonders qualifizierten und spezialisierten Hersteller bestellt.
- Aufsetzen der Anpasscontactlinsen und erste Beurteilung des Sitzverhaltens der Contactlinsen am Auge mit Hilfe eines diagnostischen Farbstoffs sowie Festhalten der Restkorrektur und der damit erreichbaren Sehschärfen. Stimmt das Bild der Contactlinse auf dem Auge mit der simulierten Version beim Videokeratographen überein, kann auf diesem Weg auf eine passendere Geometrie hingearbeitet werden und die weitere Anpassung am Träger verkürzt werden. Der Vorgang kann sich mit weiteren Anpasscontactlinsen wiederholen, bis die zu erwartenden Resultate bezüglich Verträglichkeit und Sehschärfe zufriedenstellend sind.
- Die Angaben für die Fertigung der Rezeptlinsen werden dem Hersteller übermittelt, die endgültigen Contactlinsen werden mit höchster Präzision gefertigt.
- Die individuell hergestellten Contactlinsen werden abgegeben, die CL-TrägerInnen bezüglich Handhabung und Pflege sowie Tragezeiten in der Eingewöhnungsphase sorgfältig instruiert.
- Anlässlich der folgenden Nachkontrollen werden Verträglichkeit der Contactlinsen am Auge und erreichte Sehleistung überprüft. Sollten geringe Verbesserungen notwendig sein, können die Contactlinsen möglicherweise durch den Hersteller oder den Contactlinsenspezialisten selbst nachbearbeitet werden. Sind gravierende Änderungen



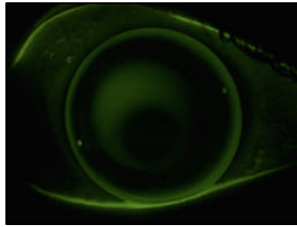
notwendig, werden zur Optimierung der contactoptischen Versorgung optimierte Anpasscontactlinsen bestellt.

- In der Regel erfolgen regelmässigen Kontrollen von Sitz und Funktion sowie Zustand der Contactlinsen alle 6 - 12 Monate. Bei Problemen sollten die Betroffenen jedoch ohne Verzug den Spezialisten aufsuchen.

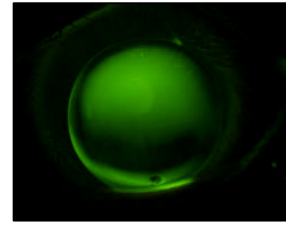
Die Dauer einer Erstversorgung, inklusive der Eingewöhnungsphase, kann je nach Problemstellung mehrere Wochen dauern.



*Torische Keratokonuslinse bei Betrachtung mit Fluoreszein*



*Grenzlinsale, torische Keratokonuslinse*



*Quadrantenspezifische Keratokonuslinse*

### 3.3 Chirurgische Massnahmen

#### 3.3.1 Epikeratoplastik

Bei der Epikeratoplastik wird nach Entfernung des zentralen Epithels eine dünne Hornhautscheibe über die eigene Hornhaut genäht. Diese dünne Hornhautscheibe hat die Aufgabe, die Fehlsichtigkeit zu korrigieren. Dieses Verfahren wird heute nicht mehr angewendet.

#### 3.3.2 Lamelläre und perforierende Keratoplastik

Man unterscheidet zwischen lamellärer und perforierender Keratoplastik. Bei der lamellären Keratoplastik (LKP) wird der zentrale Anteil der Hornhaut bis zu einer bestimmten Tiefe durch Spendergewebe ersetzt; bei der perforierenden Keratoplastik (PKP) wird die Hornhaut in der ganzen Dicke ersetzt, d. h. das Auge wird während der Operation ganz eröffnet.

Eine neuere Operationstechnik ist die sogenannte tief lamelläre Keratoplastik: bei dieser Operation wird die Hornhaut Schicht um Schicht abgetragen, bis im Empfängerauge zentral nur noch das Endothel und die Descemetmembran vorhanden sind. Auf die verbleibenden Schichten wird eine Spenderhornhaut ohne Endothel genäht. Technisch ist diese Operation sehr anspruchsvoll, hat aber für den Patienten mehrere Vorteile, v. a. die Erhaltung der eigenen Endothelzellschicht, die bei Keratokonus normal ist. Lamelläre Techniken sind der perforierenden Keratoplastik vorzuziehen, wenn die Hornhaut im Transplantatsbereich / Transplantatsareal nicht narbig verändert ist.

#### *Spendergewebe*

Sowohl bei der LKP als auch bei der PKP handelt es sich um die Transplantation von menschlichem Gewebe. Daher werden die Spenderhornhäute strengen Qualitätskontrollen unterzogen. Diese beinhalten auch Serologien. Darunter versteht man Blutteste zum Ausschluss von Infektionen, z. B. HIV. Daraus ergibt sich eine fast 100%ige Sicherheit für den Empfänger. Bei positiven Tests oder in unklaren Fällen wird die Hornhaut nicht zur Transplantation frei gegeben. Die Spenderhornhaut wird, je nach Methode, bis zu vier Wochen in einer Augenbank aufbewahrt, so dass -im Gegensatz zu den Grossorgantransplantationen- die Operation im Voraus geplant werden kann.

#### *Operation*

Sowohl die LKP als auch die PKP können in Lokalanästhesie (Spritzen ums Auge) oder in Vollnarkose durchgeführt werden, wobei die Vollnarkose für das Auge etwas sicherer ist und von KK-Patienten oft bevorzugt wird. Die Operationsdauer beträgt für die LKP ca. 80 Minuten, für die PKP 45 Minuten, die Hospitalisationsdauer bis zu drei Tagen. Die Arbeitsunfähigkeit ist sehr unterschiedlich, für eine Bürotätigkeit muss man mit einer ca. drei Wochen dauernden 100%igen Arbeitsunfähigkeit rechnen.

### *Postoperativer Verlauf*

In der Regel müssen bis zur Fadenentfernung (bei LKP ca. 8 Monate, bei PKP ca. 11 Monate) am operierten Auge Kortison Tropfen appliziert werden. Diese Therapie wird individuell angepasst und dient der Vorbeugung von Abstossung des Spendergewebes. Tabletten oder andere Augentropfen werden nur in speziellen Fällen verschrieben. Die Wunde der operierten Hornhaut ist sehr schwach, deshalb sind Schläge zu vermeiden. Diese Vorsichtsmassnahme ist auch nach der Fadenentfernung zu beachten, da die Hornhaut sehr schlecht heilt. Aus diesem Grund werden auch die Fäden so lange belassen. Die schwache Stelle bleibt lebenslang.

Da bei einer perforierenden Keratoplastik alle Nervenfasern durchtrennt werden und diese aus der Wirtshornhaut erst allmählich im Laufe des Heilungsprozesses in die Spenderhornhaut wachsen, besitzt das Transplantat eine reduzierte Sensibilität. Diese herabgesetzte Hornhautsensibilität bedeutet auch ein geringeres ausgeprägtes Schmerzempfinden, z. B. bei Verletzungen oder entzündlichen Prozessen.

Abstossungen sind bei Hornhauttransplantaten, insbesondere beim KK, selten. Sie treten meist im ersten Jahr nach der Operation auf.

Mögliche Komplikationen sind Glaukom (=Augendruckhöhung), Katarakt (=grauer Star) oder Infektionen.

Die "Lebensdauer" einer transplantierten Hornhaut ist für lamelläre Verfahren theoretisch unbegrenzt, für eine PKP beträgt sie durchschnittlich 10 Jahre.

In den ersten Monaten nach dem Eingriff schwankt die Sehschärfe sehr stark. In ausgewählten Fällen können eine Brille oder Contactlinse auch bei vorhandenen Fäden angepasst werden. Nach der Fadenentfernung kann sich die benötigte Korrektur stark ändern, da sich die Zugverhältnisse auf die Hornhaut ohne Fäden ändern.

### *Contactlinsenversorgung nach Keratoplastik*

Nur ca. 2 – 4 % der Patienten mit Keratoplastik bedürfen keiner optischen Korrektur mehr. In 6 % der Fälle kann die notwendige optische Korrektur mit einer Brille ermöglicht werden. Oft treten hohe Astigmatismen und / oder unregelmässige Hornhautsituationen auf. Dann brauchen etwa 86 % der KK-Patienten auch nach einer Keratoplastik eine Contactlinse, da mit einer Brillenkorrektur keine verträgliche oder ausreichend gute Sehqualität erreicht werden kann.

Für die Contactlinsenanpassung wird die Hornhautform anhand verschiedener Messmethoden so genau wie möglich erfasst. Eine gute Darstellung der vorherrschenden Hornhauttopographie kann die Messung mit einem Videokeratographen geben. Je regelmässiger die Hornhautoberfläche ist, umso zuverlässiger sind die Messergebnisse. Allerdings kann wegen der gegebenen Irregularitäten im Übergangsbereich von Wirts- zur Spenderhornhaut, also im Nahtbereich, meist nur der Bereich des Transplantats ausgewertet werden. Jede Keratoplastik ist individuell zu betrachten, da die möglichen Formen der Hornhaut sehr unterschiedlich sein können.

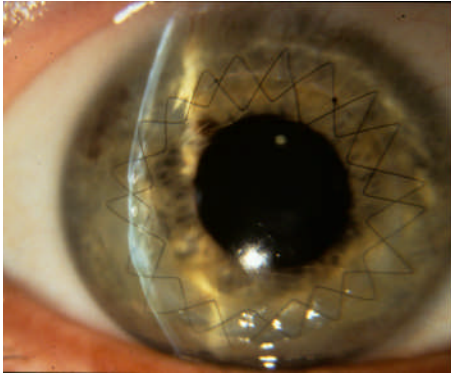
Bei der Anpassung mit formstabilen Contactlinsen ist es erforderlich, eine Contactlinse mit bekannten Parametern aufzusetzen, um dann das Zentrum, die Peripherie sowie die Übergangzone zu beurteilen. Stimmt diese Bild mit der simulierten Version beim Videokeratographen überein, so kann das die weitere Anpassung verkürzen. Aufgrund dieser Beurteilungen kann auf eine passendere Geometrie hingearbeitet werden. Die prinzipiellen Schritte der Anpassung unterscheiden sich kaum, von dem unter 3.2.5 beschriebenen Vorgehen.

Grundsätzlich kann die Contactlinse kleiner als das Transplantat sein, dann darf diese aber kein Störfaktor für den Nahtbereich sein oder grösser als die Keratoplastik, dann muss die Contactlinse den Nahtbereich überbrücken und beweglich bleiben. Die getragenen Contactlinsen nach einer Keratoplastik sind fast immer Spezialanfertigungen und Unikate, um den besonderen Gegebenheiten gerecht zu werden.

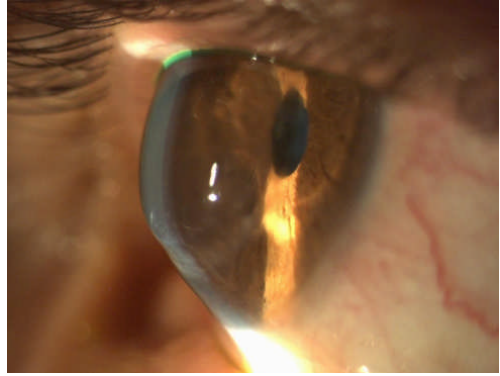
Bei jeder Anpassung ist zu beachten, dass die Contactlinse keine zusätzliche mechanische und metabolische Belastung darstellt.

Wegen der oftmals grossen Unregelmässigkeit und des hohen Sauerstoffbedarfs der Hornhaut, im Speziellen des Transplantats, sind weiche, hydrogele Contactlinsen meist nicht indiziert.

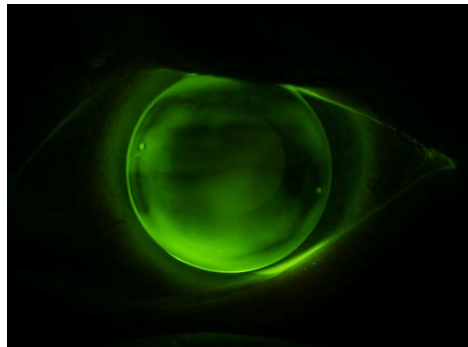
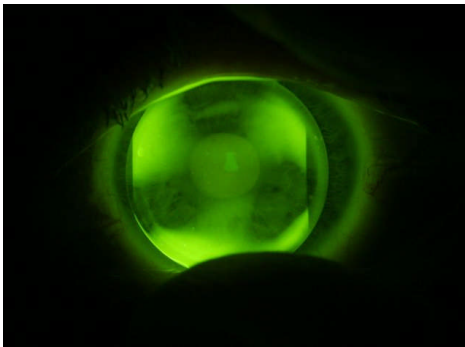
In seltenen Fällen ist eine operative Korrektur der Krümmung nötig, um eine Contactlinse anpassen zu können oder wenn eine absolute Contactlinsenunverträglichkeit besteht.



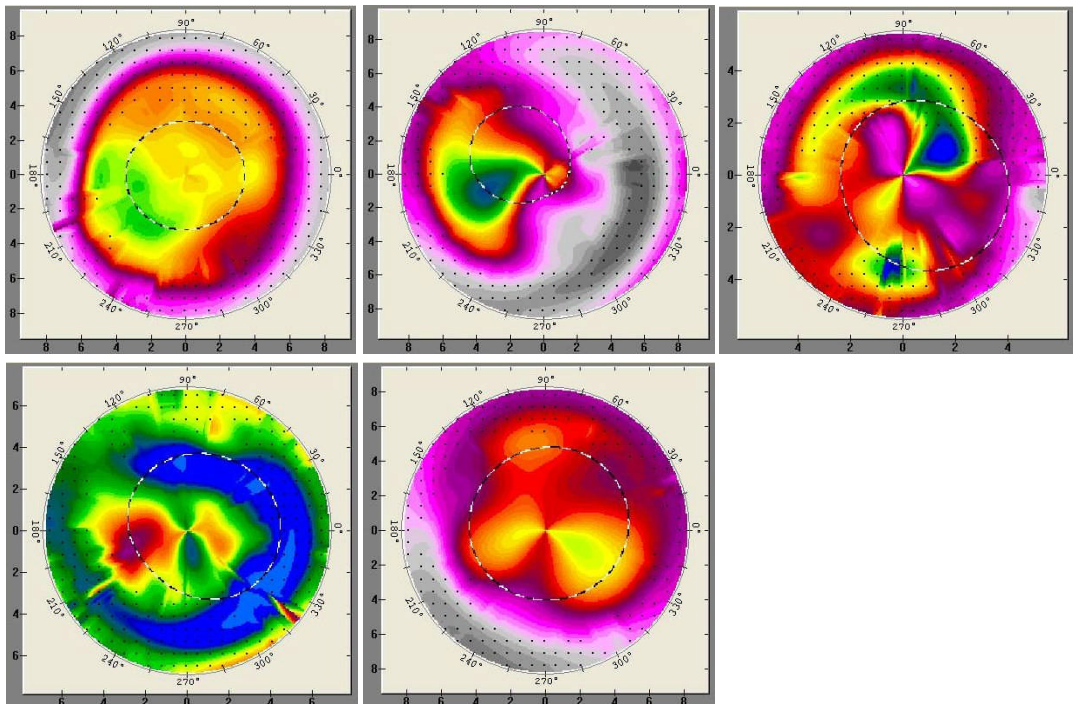
Auge mit doppelter Zickzacknaht nach perforierender Keratoplastik



Querschnitt Hornhaut nach PKP mit sichtbarer Stufenbildung am Übergang Wirts- zur Spenderhornhaut (Bild: G. Pöltner)



Formstabile Contactlinsen auf PKP bei Betrachtung mit Fluoreszein



Hornhaut-Topographien nach perforierender Keratoplastik in unterschiedlichster Ausprägung der Hornhautoberfläche. Diese kann relativ symmetrisch sein, in den meisten Fällen liegt allerdings ein asymmetrisches und irreguläres Bild vor.



### 3.3. Intracorneale Ringsegmente (ICR)

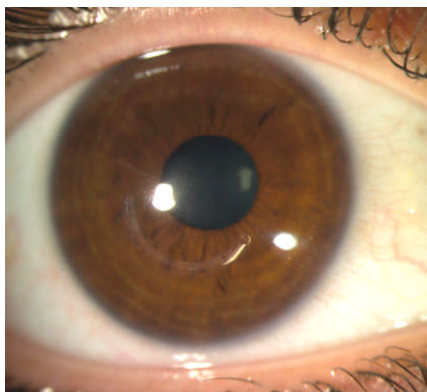
Mit der Implantation von intracornealen Ringsegmenten (s. Abschnitt 1.3.3) wird versucht, die Hornhaut abzuflachen und somit die Kurzsichtigkeit und die irreguläre Verkrümmung zu mindern. Obwohl in den meisten Fällen sowohl unkorrigiert als auch mit Brillenkorrektur die Sehschärfe besser wird, muss nach dieser Operation in vielen Fällen eine Contactlinse angepasst werden. Die Verträglichkeit der Contactlinse wird aber deutlich verbessert. Die Operation ist sinnvoll, wenn die Contactlinsen nicht mehr anpassbar sind und sonst eine Hornhauttransplantation angezeigt wäre. Im Falle von zentralen Hornhautnarben ist diese Operation nutzlos.

Die Operation erfolgt in Lokalanästhesie. Die Präparation eines cornealen Tunnels kann mit speziellen Instrumenten oder mit einem Femtosekunden Laser erfolgen. Je nach Ausprägung des Keratokonus werden ein oder zwei Ringsegmente in den Tunnel geschoben. Die Resultate (bis zu 5 Jahre publiziert) sind gut: verbesserte Contactlinsenverträglichkeit, keine Sehverschlechterung. Nach der Operation verändert sich die Topographie und erst nach 4 bis 6 Monaten kann man den erzielten Effekt beobachten. Dank der verbesserten Contactlinsenverträglichkeit kann mit dieser Operation der Zeitpunkt einer allfälligen Transplantation verschoben werden. Die ICR Implantation wird in den Schweiz von den Krankenkassen im Fall einer Contactlinsenunverträglichkeit und ungenügender Brillensehschärfe übernommen.

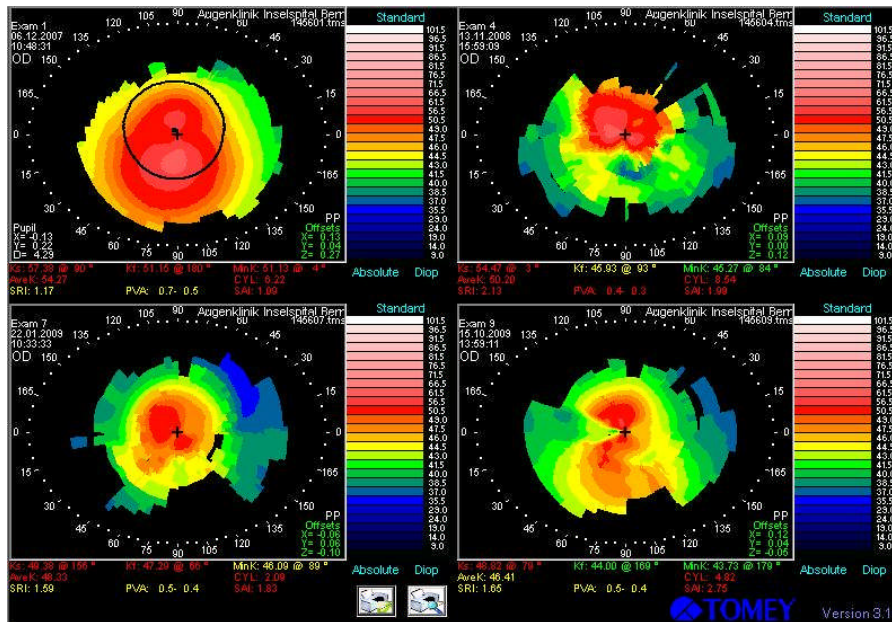
#### *Contactlinsenversorgung nach Implantation von ICR*

Nach dem Eingriff wird die Hornhaut in der Regel flacher und damit der Keratokonus weniger steil. Es bleibt aber auch anschliessend die Situation einer Anpassung bei Keratokonus, wie unter 3.1 und 3.2 beschrieben, bestehen. Wurde vor dem Eingriff eine Contactlinse getragen, muss die Anpassung sehr wahrscheinlich geändert und den neuen Gegebenheiten angepasst werden.

Der Zeitpunkt des Beginns einer Contactlinsenanpassung nach dem Eingriff ist mit dem behandelnden Ophthalmologen zu besprechen.



*Keratokonusaugen nach Implantation von Ringsegmenten in die Hornhaut*



Topographie vor Implantation von ICRs (oben links), nach 1 Monat (oben rechts), nach 4 Monaten (unten links) und nach 1 Jahr (unten rechts). Der Effekt auf die Topographie ist dramatisch, die Hornhaut ist wesentlich flacher geworden und der Astigmatismus ist kleiner geworden.

### 3.3.4. Crosslinking (UV-Vernetzung der Kollagenfasern der Hornhaut)

Die UV-Vernetzung ist ein photochemischer Prozess, um eine mechanische Stabilisierung der Hornhaut zu erzielen und daher ein weiteres Voranschreiten des Keratokonus zu verhindern. Das Verfahren der Kollagenvernetzung wird bereits seit vielen Jahren in anderen Bereichen, wie der Herzchirurgie, HNO oder der Orthopädie eingesetzt. Zur Verfestigung der Hornhaut bei Keratokonus wird diese Methode seit 1998 angewendet.

Dabei wird unter Tropfenanästhesie die Epithelschicht der Hornhaut über einen Durchmesser von ca. 9 mm abgetragen (Abrasio). Anschliessend werden Riboflavin-Tropfen (Vitamin B2) verabreicht und der abradierete Bereich für 30 Minuten UV-A-Licht exponiert, damit zusätzlich stabilisierende Querverbindungen zwischen den einzelnen Kollagenfasern der Hornhaut gebildet werden können. Während der Bestrahlung wird im 5 Minuten Takt weiter Riboflavin getropft. Bei einer einzelnen Behandlung kann die Hornhautstabilität um 300% gesteigert werden.

Die Operation ist geeignet, um frühe Formen von Keratokonus, die nicht stabil sind und weiter fortschreiten, zu behandeln und damit eine Progredienz zu vermindern bzw. zu verhindern. Um eine Schädigung der hinteren Hornhaut, dem Endothel, zu vermeiden, sollte die Hornhaut eine Mindestdicke von 400µm aufweisen.

Mit Crosslinking wird eine Stabilisierung der Befunde erreicht und keine Heilung des Keratokonus. Laut der bisher veröffentlichten Beobachtungsstudien wurde bei fast allen behandelten Patienten ein Progressionsstopp mit geringer Komplikationsrate dokumentiert. Nach der Therapie wurde bei 68% der Fälle eine leichte Visusverbesserung und bei 50% eine Abflachung der zentralen Hornhautradien beobachtet.

Da es beim Crosslinking zur Stabilisation der Hornhautsituation kommt, bleibt weiterhin ein Keratokonus bestehen und damit auch die Notwendigkeit die optimale Korrektur anhand von Brille und/oder Contactlinse zu erreichen.

Diese Behandlungsmethode bei Keratokonus ist relativ neu. Es sind 7,5 Jahresdaten publiziert und weltweit mehrere Tausend Augen behandelt worden. Das Crosslinking ist bei älteren Patienten nicht sinnvoll, da im Laufe der Jahre eine natürliche Vernetzung der Kollagenfasern stattfindet. Auch bei stabilen Keratokoni ist anzunehmen, dass es zu einer natürlichen Versteifung gekommen ist. Das Crosslinking wird von den Krankenkassen bislang nicht übernommen.

Es ist möglich, die Implantation von ICRs und Crosslinking am gleichen Auge durchzuführen und es scheint, dass es keine grossen Unterschiede gibt, welche Operation zuerst durchgeführt wird. Bei schneller Progression empfiehlt sich, zuerst das Crosslinking durchzuführen.

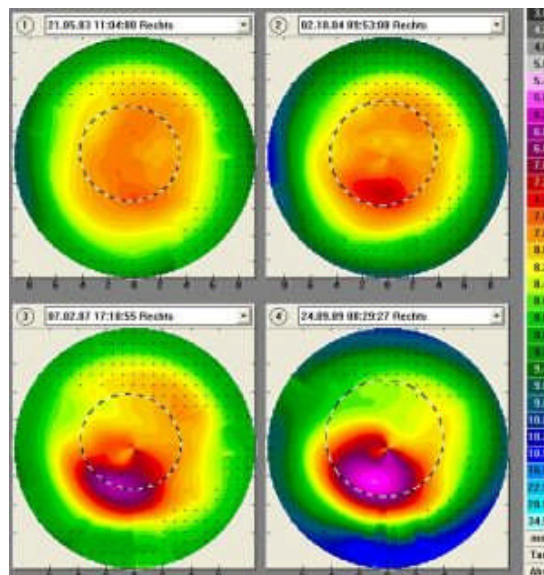
Die Kombination Crosslinking und Behandlung mit dem Excimer Laser ist noch experimentell.

#### *Mögliche Symptome / Komplikationen nach Crosslinking*

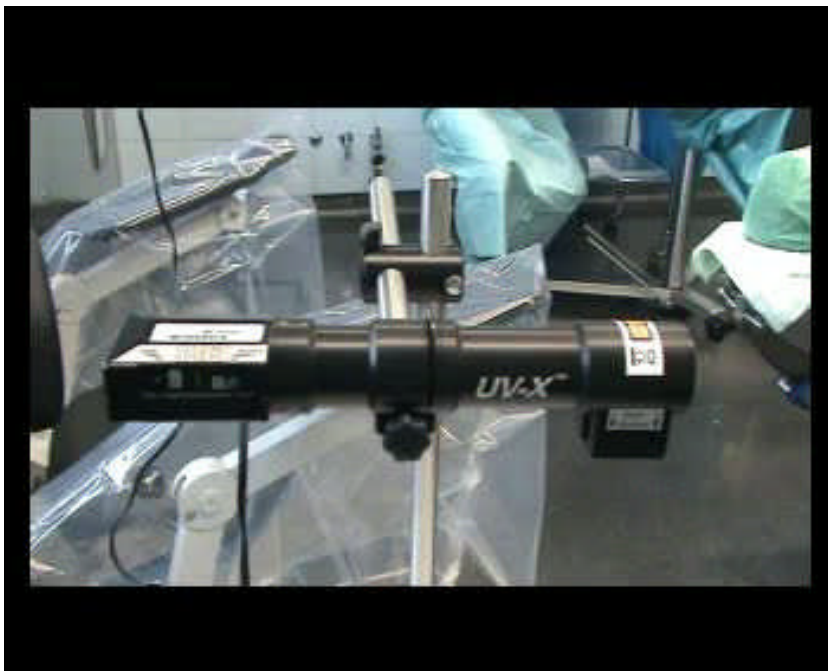
- Rote Augen (postoperativ können die Augen für zwei Wochen stark gerötet sein)
- Fremdkörpergefühl (Kratzen, Beissen, Brennen kann während 6-8 Wochen andauern)
- Verschwommenes Sehen (in den ersten 6-8 Wochen postoperativ)
- Erhöhte Blendempfindlichkeit (Ausprägung in den ersten postoperativen Wochen)
- Erhöhtes Entzündungsrisiko während der Epithelheilung
- Subepitheliale Trübungen / Haze bis zu 6 Monate nach der Behandlung
- Reduktion der Kontrastempfindlichkeit
- Allgemein unscharfes Sehen



*Subepitheliale Trübungen / Haze*



*Hornhauttopographie bei Progredienz eines Keratokonus von 05/2003 bis 09/2009. Mit Crosslinking eröffnet sich die Möglichkeit den „Status quo“ zu erhalten und ein weiteres Voranschreiten des Keratokonus zu verhindern*



*Kurzfilm über die Verfahrenstechnik bei Crosslinking, zur Verfügung gestellt durch Frau Prof. Dr. med. Beatrice Frueh, Universitäts-Augenklinik Inselspital Bern  
Zum Abspielen der Films bitte die Filmdatei auf der CD öffnen.*

Zum Film: Arbeitsschritte beim Ablauf von Crosslinking

- Präparation der Auges mit Lidsperre
- Spülen mit Betadine (Antiseptika)
- Spülen mit BSS-Lösung
- Abrasion des Epithels
- Spülen mit BSS-Lösung
- Abtupfen der Flüssigkeit
- Auftropfen von Riboflavin (Vitamin B2)
- Kontrolle mit Handspaltlampe
- Bestrahlung mit UV-A
- Aufsetzen einer Verbandslinse
- Entfernen der Lidsperre
- Auftropfen von Antibiotikum

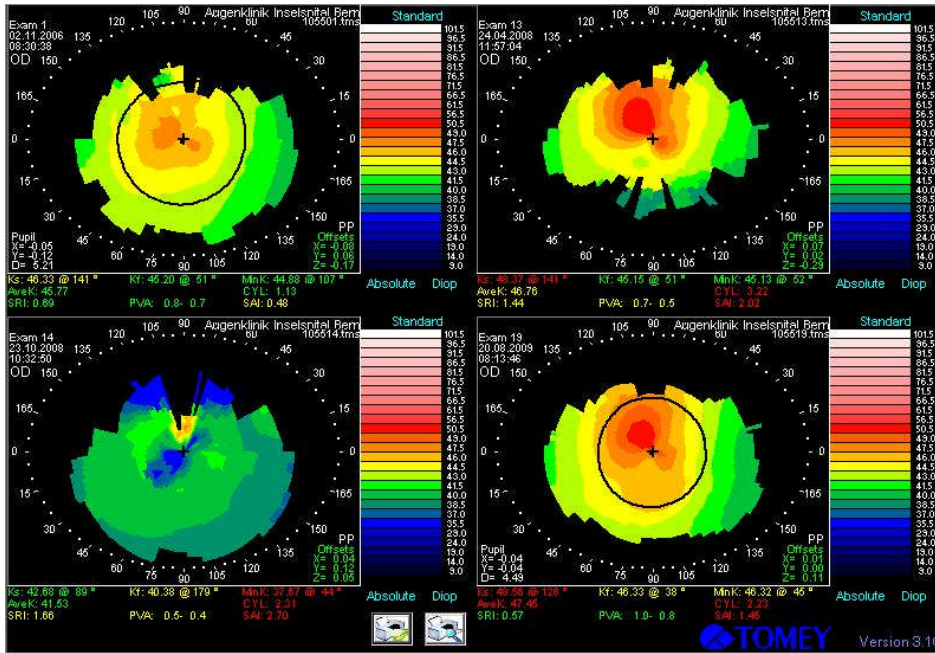
### *Contactlinsenversorgung nach Crosslinking*

Da es sich bei Crosslinking nicht um einen therapeutischen Eingriff handelt, bleibt auch die Hornhautform die eines Keratokonus. Da aber bei der Hälfte der Fälle eine zentrale Abflachung beobachtet wurde, muss die eventuell bestehende Contactlinse sehr wahrscheinlich neu angepasst und gegebenenfalls modifiziert werden.

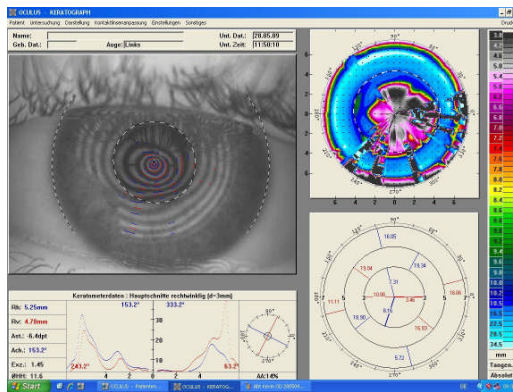
Auch nach der UV-Vernetzung behält die Hornhaut die Form eines Keratokonus. Diesem Umstand muss bei der Contactlinsenanpassung entsprechend Rechnung getragen werden, wie unter 3.1 und 3.2 beschrieben. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass das behandelte Auge trockener sein kann und die äusserste Hornhautschicht, das Epithel, grossflächig abradert wurde und deshalb nach minimaler Belastung verlangt.

Der Zeitpunkt des Beginns einer Contactlinsenanpassung nach dem Eingriff ist mit dem behandelnden Ophthalmologen zu besprechen. Die Kontrollen sind in der ersten Zeit relativ engmaschig, da es noch zu Veränderungen der Hornhauttopographie und damit dem Linsensitz kommen kann. In einzelnen Fällen sind mehrere Anpassungen der CL-Geometrie innerhalb eines Jahres erforderlich.

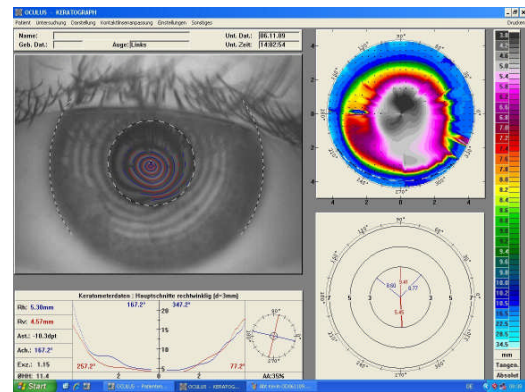




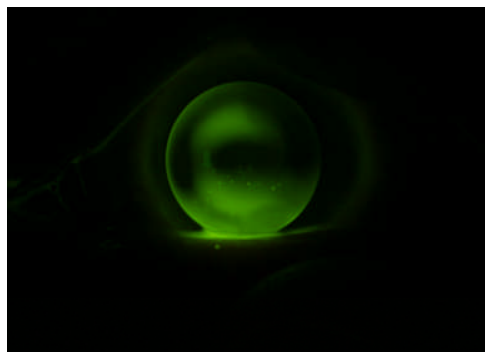
Die Hornhauttopographie vor Crosslinking (obere 2 Bilder) zeigt eine deutliche Progression der Erkrankung, die Hornhaut ist steiler und stärker astigmatisch geworden. Einen Monat nach Crosslinking (unten links) ist die Hornhaut noch unregelmässig. Ein Jahr nach Crosslinking (unten rechts) ist die Topographie wie vor dem Eingriff, d. h. man hat die Progression stoppen können.



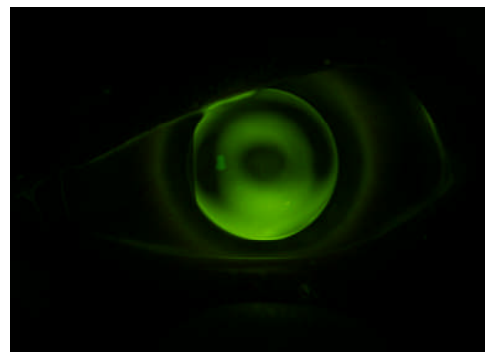
Hornhauttopografie 2 Monate nach Crosslinking



Gleiches Auge 7 Monate nach Crosslinking



CL Sitz der Neuanpassung nach Crosslinking dieses Auges bei Betrachtung mit Fluoreszein.



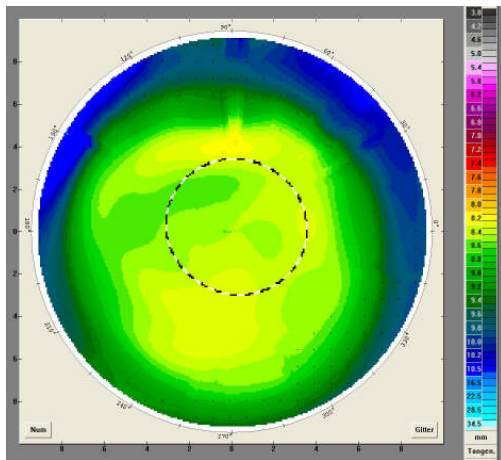
Sitz derselben CL nach 7 Monaten

#### 4. Videokeratographen Bilder – was diese aussagen können

Die folgenden Darstellungen der Hornhautvorderfläche durch den Videokeratographen zeigen den durch Farben definierten Radienverlauf.

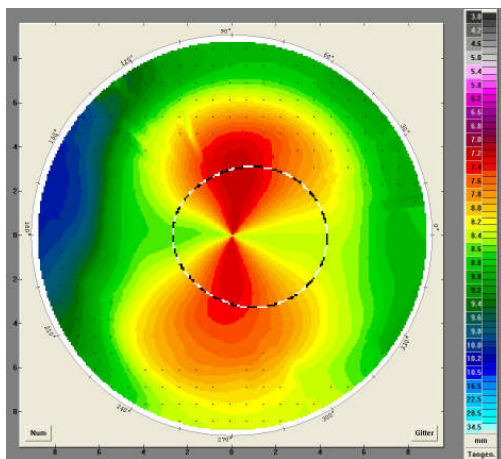
Bei der Vermessung der Hornhautoberfläche mit dem Videokeratographen wird eine Placido-Scheibe auf die Cornea projiziert und das Spiegelbild anhand eines Rechenprogramms ausgewertet. Bereiche, die durch Schatten, Ober- und/oder Unterlid verdeckt sind können nicht gemessen werden und reduzieren die Menge an auswertbaren Messpunkten. Durch die verwertbaren Ergebnisse können solche Blind-Bereiche extrapoliert werden. Auf Trübungen und Hornhautnarben kann teilweise kein Reflexbild der Placido-Scheibe erzeugt werden und dadurch auch nicht verwertet werden. Je höher der Auswertequotient, desto sicherer und genauer ist die Messung. Das maximale Messfenster hat einen Durchmesser von ca. 8.0 mm. In den folgenden Darstellungen ist der Radienverlauf durch die unterschiedlichen Farben demonstriert.

##### 4.1 Sphärische Hornhaut

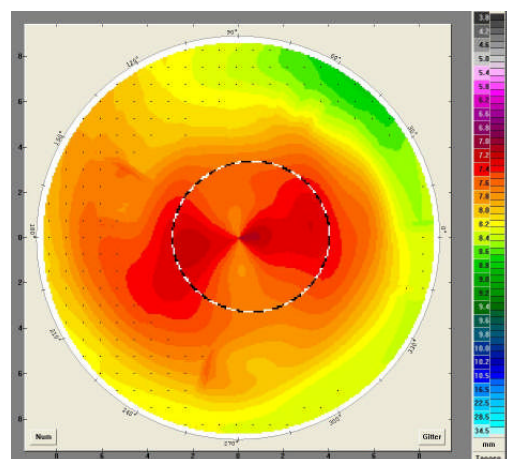


Kennzeichnend bei dieser Darstellung einer sphärischen Hornhautvorderfläche ist die annähernde, gleiche Krümmung in den unterschiedlichen Hornhautmeridianen. Zur Peripherie hin werden die Radien größer, was einen asphärischen Verlauf anzeigt.

##### 4.2 Regulärer Astigmatismus

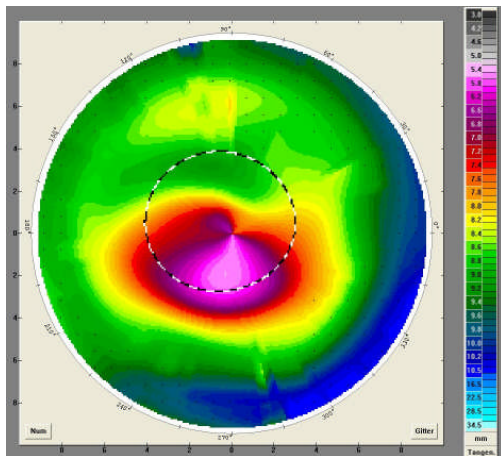


**Astigmatismus rectus**  
Hier befindet sich der flachere Hauptschnitt in ca. 0° und genau senkrecht dazu der steilere Radius

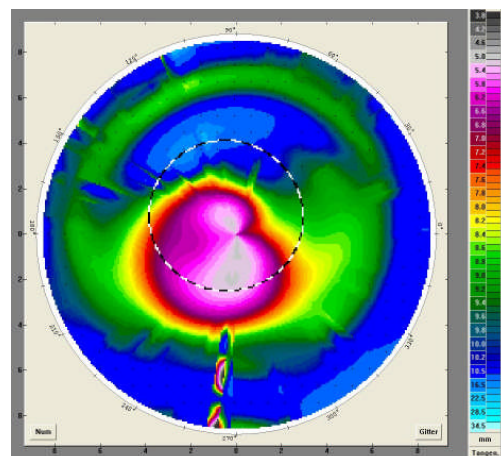


**Astigmatismus inversus**  
Ungefähr in der Horizontalen ist die Hornhaut stärker gekrümmt als in der Vertikalen

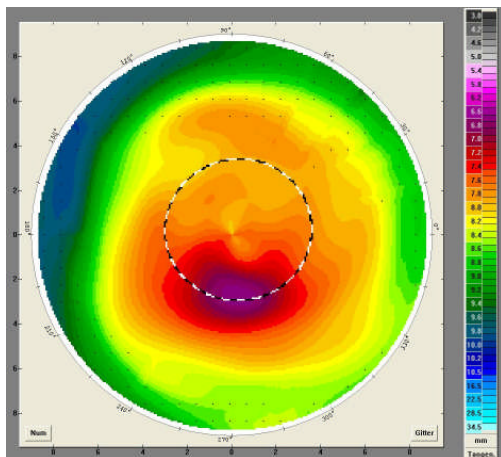
### 4.3 Unregelmäßiger Astigmatismus – Keratokonus (KK)



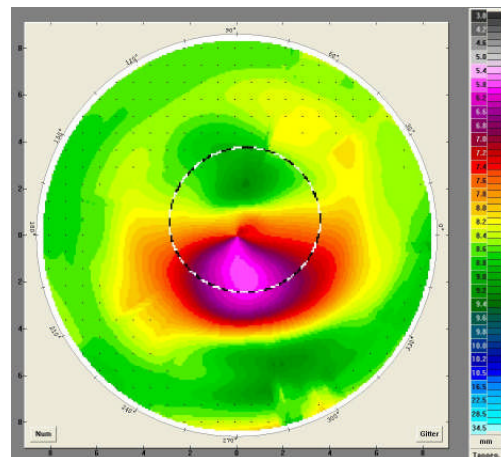
Progredienz Keratokonus am rechten Auge  
Aufnahme vom 23.07.2003



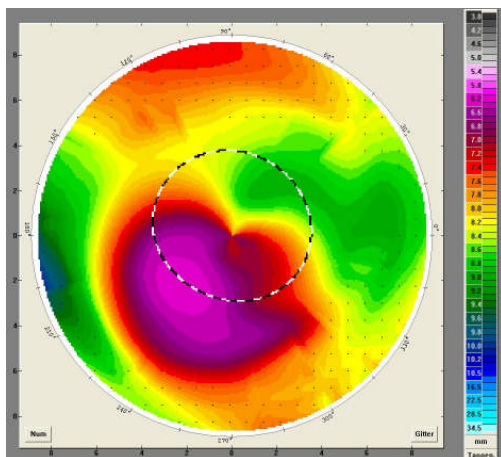
Aufnahme vom 11.05.2005



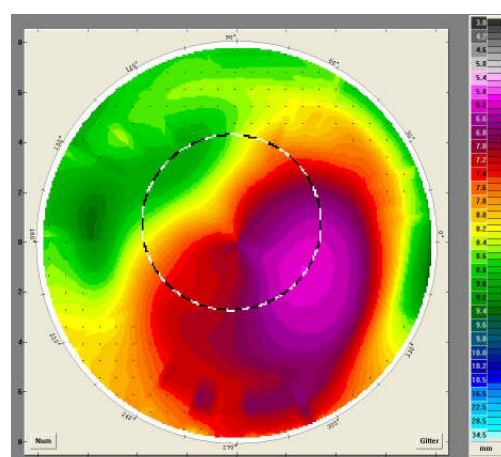
Progredienz Keratokonus am linken Auge  
Aufnahme vom 23.07.2003



Aufnahme vom 11.05.2005



Keratokonius am rechten Auge temporal



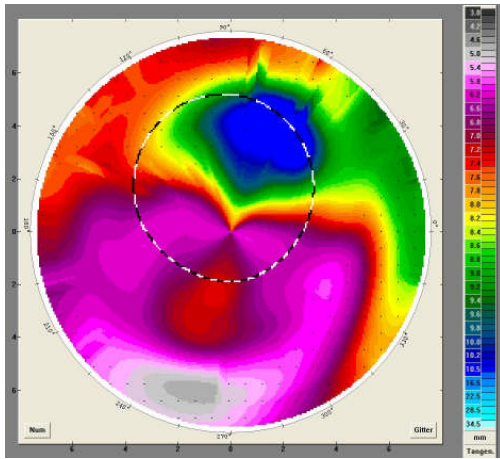
Keratokonius am linken Auge temporal

Die Positionen des Keratokonus OD zu OS sind sehr häufig spiegelverkehrt, d.h. bilateral temporal, nasal oder inferior.

Bei Progredienz des Keratokonus verstellen sich die zentralen Hornhautradien und die Exzentrizität nimmt zu. Keratokoni können mittig oder dezentriert sein. Der verdünnte Hornhautbereich befindet sich am Apex.



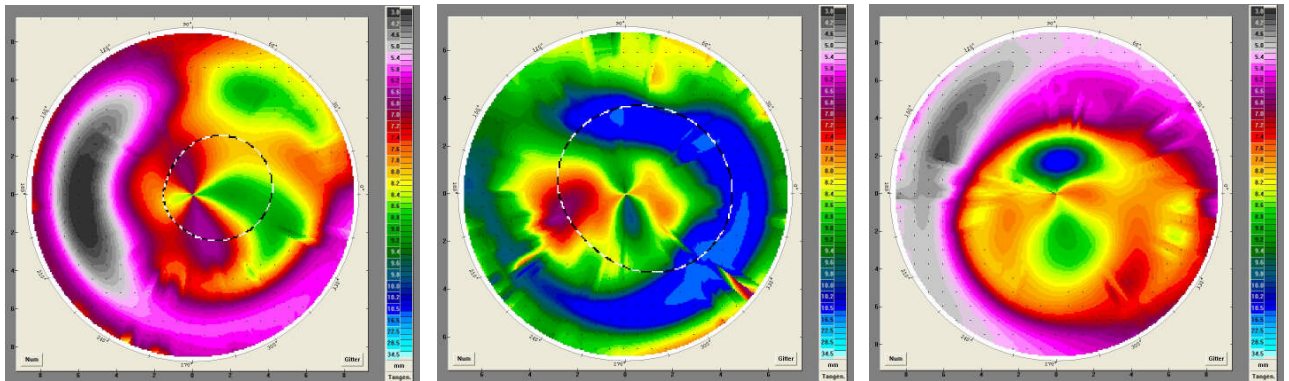
#### 4.4 Pellucide marginale Degeneration (PMD)



Dies ist eine ganz besondere Form von Hornhautveränderung. Charakteristisch ist das beinahe achsensymmetrische Bild bei der Aufnahme durch den Videokeratographen (kissing birds).

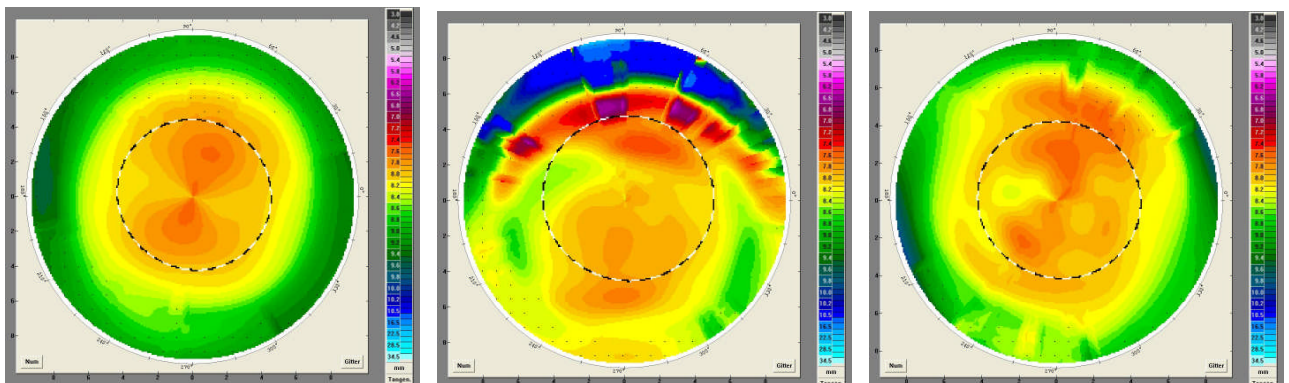
Die Hornstrahlen werden von oben kommend kleiner, wobei der steile Hornhautpart unten relativ peripher liegt. Die dünnste Hornhautstelle befindet sich unterhalb des Apex.

#### 4.5 Unregelmäßige HH – Nach perforierender Keratoplastik (PKP)



Nach einer perforierenden Keratoplastik folgt die Hornhautform nicht mehr den ursprünglichen Gegebenheiten, sondern kann verschiedene Charakteristika besitzen.

#### 4.6 Spectacle blur

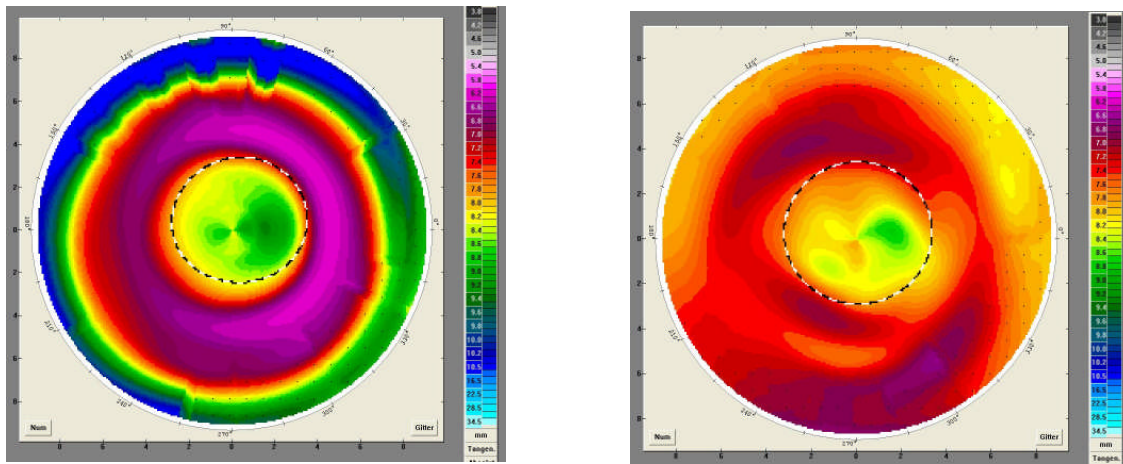


Nach 1 Woche CL-Karenz: Sehr deutlich ist hier ein Astigmatismus rectus zu sehen.

Nach Absetzen der CL nach 2 Tagen: Durch Low-Riding einer RGP wurde die HH verformt.

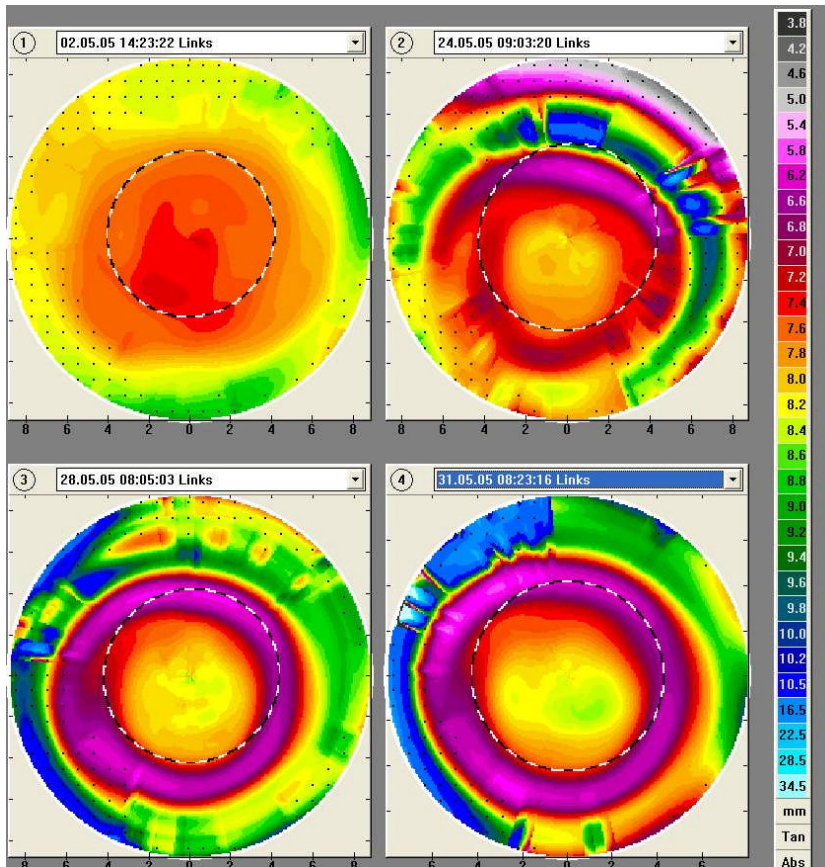
Nach 2 Tagen CL-Karenz: Die Hornhaut hat während der Linsenpause begonnen, wieder in Ihre ursprüngliche Form zu gehen.

#### 4.7 Post LASIK



Durch den Lasereingriff wurde der zentrale Hornhautbereich abgeflacht, um die vorliegende Myopie zu korrigieren.

#### 4.8 Ortho-Keratologie



Hier zeigt sich der Verlauf der Hornhaut-Topographie bei der Anpassung von Ortho-K-Linsen. Bild oben links ist die Aufnahme vor dem Tragen von Contactlinsen. Die Hornhaut-Form nach der 1. Nacht ist auf dem Bild oben rechts zu sehen. Nach 5d hat sich bereits ein gut ausgeprägter Ring gebildet (Bild unten links), welcher sich nach 10d Tragezeit kaum mehr verändert (Bild unten rechts).

## 5. Abschliessende Bemerkungen

Bei einer Verschlechterung der Sehschärfe bei vorliegendem Keratokonus, die mit Brillengläsern nicht mehr korrigiert werden kann, sind die Betroffenen oftmals viele Jahre auf ein komfortables Tragen von Contactlinsen mit teilweise überlangen, täglichen Tragezeiten angewiesen.

### 5.1 Auf was ist besonders zu achten

Es ist sehr wichtig, dass neben einer ständig optimierten, contact-optischen Versorgung, von Anfang an auf eine gute Handhabung und Hygiene im Umgang mit den Contactlinsen geachtet wird. Nur gut gepflegte Contactlinsen sind eine auf lange Sicht verträgliche Lösung. Neben der korrekten Anwendung der Pflegemittel sind auch Pflege und regelmässiges Ersetzen des Contactlinsenbehälters wichtig.

### 5.2 Tipps für TrägerInnen von Contactlinsen

Um eine optimale, optische Versorgung zu erreichen, werden in der Regel gasdurchlässige, formstabile Linsen getragen. Das Sitzverhalten auf den mehr oder weniger unregelmässigen Hornhauttopographien kann zu erhöhter Staubempfindlichkeit führen, sehr staubige Umweltbedingungen sind daher möglichst zu meiden, ebenso Luftzug aber auch übermässige Strahlenexpositionen (Schutz- und/oder Sonnenbrille).

#### Kosmetika und Contactlinsen

Zum Waschen der Hände sollten keine rückfettenden oder parfümierten Seifen verwendet werden. Hautcremes können die Contactlinsen verschmieren oder verfärben (Sonnencremes ebenso), deshalb ist Vorsicht geboten, wenn, dann nicht zu nahe am Auge auftragen. Bei der Verwendung von Haar- oder anderen Spraysorten entweder die Augen schliessen oder die Contactlinsen erst nach dem Sprayen aufsetzen.

#### Staub/Pollen und Contactlinsen

Bei AllergikerInnen ist vor allem im Frühjahr auf optimale Linsenhygiene und -trageverhalten zu achten. In staubiger Umgebung oder in Zeiten des Pollenfluges können die Contactlinsen entweder zwischendurch abgesetzt und gereinigt oder am Auge mit einer speziellen Nachbenetzungslösung "behandelt" werden. Fremdkörpergefühl sowie Fremdkörpern unter den Contactlinsen kann so gut und einfach entgegengewirkt werden.

#### Trockenheit und Contactlinsen

Während der Heizperiode, in klimatisierter Umgebung oder im Hochsommer kann es zu einem verstärktem Abtrocknen der Contactlinsen-Oberflächen kommen. Nachbenetzungslösungen können den Tragekomfort wesentlich verbessern, unterschiedliche Lösungen bringen für die unterschiedlichen Problemstellungen die beste Wirkung und somit den optimalen Erfolg.

#### UV-Schutz und Contactlinsen

Die meisten, neuartigen Contactlinsen-Materialien haben einen UV-Blocker integriert. Damit die Augen jedoch optimal geschützt sind, ist eine entsprechende Brille mit gutem UV-Schutz wichtig. Phototrope Gläser, die sich einfärben, können bei Bedarf mit verbleibenden Restkorrekturen, wie Astigmatismus oder Nahzusatz, für ein komfortables Sehen in die Nähe, versehen werden.

#### Bildschirm und Contactlinsen

Bei der Bildschirmarbeit ist oftmals eine automatische Reduktion der Lidschlagfrequenz festzustellen. Es ist daher wichtig, bei längerem Arbeiten am Bildschirm in regelmässigen Abständen ganz bewusst Lidschläge auszuführen und nach Bedarf eine Nachbenetzungslösung zu verwenden.

#### Speziell für die Ferien und auf Reisen

Halten sie immer eine Reservebrille bereit, sofern diese eine erhöhte Sehleistung gegenüber dem Sehen ohne Brille ermöglicht. Diese Brille gehört nicht in den Koffer, sondern in das kurzfristig verfügbare Handgepäck, ebenso wie eine Nachbenetzungslösung für den Fall, dass durch überlanges Tragen oder Trockenheit der Tragekomfort der Contactlinsen eingeschränkt wird.

Achten Sie darauf, dass genügend Contactlinsen-Pflegemittel im Gepäck sind. Wenn nötig, fragen Sie am Ferienort beim Spezialisten oder Apotheker nach einem alternativen Produkt, nach der Heimkehr sollten Sie jedoch wieder auf das bisherige Produkt zurück wechseln.

Im Gegensatz zu weich hydrogelen Contactlinsen können gasdurchlässige, stabile Contactlinsen im Notfall mit Haarshampoo gereinigt und über Nacht trocken aufbewahrt werden.

Contactlinsen sollten, vor allem bei zweifelhafter Wasserqualität nicht mit Wasser abgespült werden, da im Leitungswasser, sowie stehendem Wasser mikrobielle Verunreinigungen vorhanden sein können, die schwere Hornhautinfektionen hervorrufen können.

Contactlinsen nicht mit Sonnenschutzmittel in Kontakt bringen, diese können dadurch an den Oberflächen unbenetzbar und somit schlecht verträglich werden.

Wenn vor einem längeren Auslandsaufenthalt eine Kontrolle der Contactlinsen gewünscht wird, sollte diese wenigstens 2-3 Wochen vor dem Abreisedatum angesetzt werden. Es bleibt dann genügend Zeit, die bestehenden Contactlinsen nach Bedarf aufzuarbeiten oder gegebenenfalls eine Nachversorgung vorzunehmen.

### 5.3 Was bringt den Betroffenen die Zukunft, welches sind die Prognosen

Generell ist davon auszugehen, dass der Keratokonus per se nicht zur Erblindung führt. In einigen, sehr seltenen Fällen kann eine sehr spontane und stark ausgeprägte Progredienz des keratokonisch betroffenen Bereiches zu Schädigungen des Hornhautgewebes (Hydrops) führen. Die dadurch entstehenden Trübungen können Sehschärfe und -komfort vorübergehend stark beeinträchtigen, tragen jedoch zur Stabilisierung des Gewebes bei. Zur Wiederherstellung der vollen Sehschärfe kann eine chirurgische Massnahme in Form einer Keratoplastik erforderlich sein.

Je nach Ausbildung des Keratokonus ist für eine optimale Sehschärfe und maximalen Sehkombfort das Tragen von Contactlinsen notwendig.

Die Progredienz des Keratokonus kann aus Gründen der Gewebestruktur und/oder der Topographie der Hornhaut, limitierenden technischen Möglichkeiten zur Fertigung einer wünschenswerten Geometrie für die Contactlinsen, oder aber einer Unverträglichkeit der Contactlinsen eine chirurgische Massnahme notwendig machen.

### 5.4 Autoren

Christoph Ecke, staatl. gepr. Augenoptikermeister

Raphael Eschmann, M.Sc.Optom., Visiting Associate Professor PCO

Beatrice Frueh, Prof. Dr. med.

Birgit Kreuter, Dipl. Ing. (FH) Augenoptik

Andrea Müller-Treiber, Prof., Dipl. Ing. (FH) Augenoptik, M.Sc.Optom.

Leo Neuweiler, M.Sc.Optom.

Karin Spohn, Dipl. Ing. (FH) Augenoptik

Frank Widmer, Dipl. Ing. (FH) Augenoptik



## 6. Hinweise für weitere Literatur

### 6.1 Fachbücher

- 6.1.1 Klinisches Wörterbuch; Pschyrembel, de Gruyter Verlag, ISBN 3-11-014183-3
- 6.1.2 Cornea; Nathan Efron, Butterworth Heinemann, ISBN 0 7506 4798 1
- 6.1.3 Primary Care of the Anterior Segment; Louis J. Catania, Appleton & Lange, ISBN 0 8385 7911 6
- 6.1.4 Cornea Color Atlas; Krachmer Palay; Mosby, ISBN ?
- 6.1.5 Diagnosis, Contact Lens Prescribing, and Care of the Keratoconus Patient; Karla Zadnik & Joseph T. Barr, Butterworth Heinemann, ISBN 0 7506 9676 1
- 6.1.6 Refraktive Chirurgie der Hornhaut; Theo Seiler, Enke Verlag, ISBN 3-13-118071-4
- 6.1.7 Dictionary of visual Science; David Cline, Chilton Trade Book Publishing, Fourth Edition, ISBN 0-8019-7862-9
- 6.1.8 Primary Care of the Anterior Segment; Louis J. Catania, Appleton & Lange, ISBN 0-8385-7911-6
- 6.1.9 Anterior Segment Complications of Contact Lens Wear; Joel A. Silbert, Butterworth Heinemann, ISBN 0-7506-7116-5
- 6.1.10 Contact Lenses; Anthony J. Phillips & Janet Stone, Butterworths, ISBN 0-407-93275-5
- 6.1.11 The Eye in Contact lens Wear; John Larke, Butterworths, ISBN 0-407-00220
- 6.1.12 Clinical Eye Atlas; Daniel H. Gold & Richard Alan Lewis, AMApress, ISBN 1-57947-192-7
- 6.1.13 Contact Lenses: Treatment Options for Ocular disease; Michael G. Harris, Mosby, ISBN 0-8151-4645-0
- 6.1.14 Complications of Contact Lens Wear; Alan Tomlinson, Mosby, ISBN 0-8016-6309-1
- 6.1.15 Kontaktlinsen-Anpassung; M. Ruben, Gustav Fischer Verlag, ISBN 3-437-10525-6
- 6.1.16 Clinical Manual of Contact Lenses; Edward S. Bennett & Vinita Allee Henry, J.B. Lippincott Company, ISBN 0-397-51139-6
- 6.1.17 Contact Lenses in Ophthalmology; Michael S. Wilson & Elisabeth A.W. Millis, Butterworths, ISBN 0-407-01440-3
- 6.1.18 Klassifikation von Spaltlampenbefunden; Wolfgang Sickenberger, Fachinformation CIBA Vision, ISBN ?
- 6.1.19 Contact Lenses; Ken Daniels, Slack, ISBN 1-55643-345-4
- 6.1.20 Kontaktlinsen Hygiene; Andreas Berke & Sandor Blümle, Verlag Bode, ISBN 3-9800378-5-1
- 6.1.21 Anatomie des Auges; Werner Maidowsky, Verlag Neues Optikerjournal Bode, ISBN 3-9800378-0-0
- 6.1.22 Cornea Color Atlas; J.H. Krachmer, D.A. Palay, Mosby Verlag, ISBN 0-8151-5147-0
- 6.1.23 Kontaktlinsen Know-how; Andrea Müller- Treiber, Verlag Deutsche Optikerzeitung (2009); ISBN 978-3-922269-92-2

### 6.2 Elektronische Medien, Links für Fachliteratur

- 6.2.1 [Digital Journal of Ophthalmology - http://www.djo.harvard.edu/](http://www.djo.harvard.edu/)
- 6.2.2 [National Eye Institute at the National Institutes of Health - http://www.nei.nih.gov/](http://www.nei.nih.gov/)
- 6.2.3 [Med Help - http://www.medhelp.org/](http://www.medhelp.org/)
- 6.2.4 [The Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus \(CLEK\) Study - http://www.optometry.ohio-state.edu/CLEK/](http://www.optometry.ohio-state.edu/CLEK/)

### 6.3 Elektronische Medien, Links für Kommunikation mit Betroffenen

- 6.3.1 <http://www.keratokonius.ch/>
- 6.3.2 <http://www.keralens.de/>
- 6.3.3 <http://www.optometrie.de/service/keratoko.htm>
- 6.3.4 <http://www.optometrie.de/media/keratokonius.htm>
- 6.3.5 <http://www.nkcf.org/>
- 6.3.6 <http://www.kcenter.org/>
- 6.3.7 <http://www.keratoconus-group.org.uk/>
- 6.3.8 <http://www.lowvision.org/keratoconus.htm>
- 6.3.9 <http://home.revealed.net/ddwyer/kc.html>
- 6.3.10 <http://www.discoveryfund.com/keratoconus.html>
- 6.3.11 <http://www.csmc.edu/nkcf/>

## 7. Verwendete Literatur

- 7.1. Berke A.: Färber R.: Refraktionsbestimmung, Teil 1 Optische und physiologische Grundlagen; Verlag WVAO (2001), ISBN 3-935647-09-3
- 7.2. Ecke C.: Kontaktlinsen-Anpassung nach Behandlung des Keratokonus durch Kollagenvernetzung; Die Kontaktlinse, (12/2009)
- 7.3. Eschmann R. et al: Fitting of Hemispheric and/or Quadrant Specific Contact Lenses in KK and/or Highly Irregular Corneas; Research Paper (1996), on file author
- 7.4. Eschmann R., Roth-Muff D.: Der Keratokonus im subklinischen Stadium; NOJ, (2/1994)
- 7.5. Eschmann R., Roth-Muff D.: Videokeratoskopie in Fällen von Keratokonus; Die Kontaktlinse, (3/1993)
- 7.6. Eschmann R., Flammer J.: Die retinale Sehschärfe bei Keratokonuspatienten; Kli. Mbl. Augenheilkunde, (1986)
- 7.7. Goersch H.: Wörterbuch der Optometrie; Enke Verlage (1996), ISBN 3-432-27301-0
- 7.8. Hoyer A., Raiskup-Wolf F. Spörl E., Pillunat L.E.: Kollagenvernetzung mit Riboflavin und UV-Licht bei Keratokonus – Dresdner Ergebnisse; Ophthalmologe 2008; Springer Medizin Verlag (2008)
- 7.9. Kenny MC, Brown DJ, Rajeev B.: The elusive causes of keratoconus, a working hypothesis; CLAO Journal (2000) 26: 10-13
- 7.10. Klaproth O., Kohnen T.: Aktueller Stand der chirurgischen Keratokonustherapie; DOZ (09/2009)
- 7.11. Muckenhirn D.: Die Anpassung von asphärischen Kontaktlinsen bei Keratokonus unter Berücksichtigung der geometrisch-optischen Verhältnisse der Hornhaut; NOJ (5/1984)
- 7.12. Müller-Treiber A.: Kontaktlinsen Know-how; Kapitel 15: Kontaktlinsenanpassung bei ektatischen Veränderungen der Cornea, Verlag Deutsche Optikerzeitung (2009); ISBN 978-3-922269-92-2
- 7.13. Pöltner G.: Kontaktlinsen-Anpassung bei Keratokonus; NOJ, (5/1999 bis 7-8/2000)
- 7.14. Pöltner G.: Kontaktlinsen-Anpassung bei Keratokonus; Sonderdruck die Kontaktlinse (2002)
- 7.15. Pugell J.: Biomedizinische Grundlagen zum Keratokonus; DOZ (2002)
- 7.16. Sickenberger W.: Klassifikation von Spaltlampenbefunden; CibaVision Vertriebs GmbH, (2001)
- 7.17. Spohn K.: Kontaktlinsen Know-how; Kapitel 16: Kontaktlinsenanpassung nach chirurgischen Eingriffen der Cornea; Verlag Deutsche Optikerzeitung (2009); ISBN 978-3-922269-92-2
- 7.18. VDCO: Kontaktlinsen bei Keratokonus; Informationsschrift
- 7.19. Wahrendorf I.: Leben mit Keratokonus. Die Kontaktlinse 2005;(11):10-19.
- 7.20. Zadnik K., Barr J.T.: Diagnosis, Contact Lens Prescribing, and Care of the Keratoconus Patient; Butterworth-Heinemann (1999), ISBN 0-7506-9676-1

Teile dieser Broschüre wurden dem Buch "Kontaktlinsen Know-how" Hrsg. Andrea Müller-Treiber, Verlag Deutsche Optikerzeitung (2009), ISBN 978-3-922269-92-2 entnommen

**Diese Arbeit wurde von folgenden Firmen unterstützt**

---



**Hersteller von Contactlinsen**  
**[www.hecht-contactlinsen.de](http://www.hecht-contactlinsen.de)**



**Hersteller von Contactlinsen**  
**[www.technolens.com](http://www.technolens.com)**



**Contactlinsen - Pflegesysteme**  
**[www.contopharma.ch](http://www.contopharma.ch)**



**Hersteller von**  
**Contactlinsen - Materialien**