

Keratokonus

Eine Informationsschrift für Interessierte und Betroffene[©]

Version 2025



Leo Neuweiler, Nina Müller und Timo Bernhard

Beatrice Früh, Raphael Eschmann,
Gustav Pöltner, Christoph Tappeiner

Vorwort

Neben den üblichen, bekannten Fehlsichtigkeiten ist der Keratokonus in seinen vielfältigen Erscheinungsbildern eine Veränderung der Hornhaut, die das Sehen nachhaltig beeinträchtigen kann. Betroffene Personen können je nach Art, Typ und Stadium der Veränderung, vor allem bei deren schleichendem Verlauf, diese nicht spontan, sondern nur in einem gewissen Zeitverlauf 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 besprechen. Ziel einer optimalen Versorgung ist, nachhaltig den maximal möglichen Sehkomfort für die Betroffenen zu erreichen.

Der Wunsch, das Krankheitsbild, dessen Verlauf sowie die Korrektionsmöglichkeiten zu verstehen, ist bei Betroffenen sehr oft vorhanden. Mit dieser Informationsschrift wird versucht, auch Nichtfachpersonen Verständnis für die Situation der von Keratokonus Betroffenen aufzubauen und erste Antworten auf mögliche Fragen anzubieten.

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 Augenarzt und Optometristen 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 Korrektion und des Sehkomforts.

Ein offener Dialog zwischen Betroffenen und Fachpersonen ist zielführend für den nachhaltigen Erfolg zur optimalen visuellen Betreuung.

- ↪ Die folgenden Ausführungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellen die persönlichen Meinungen der Autoren zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Schrift dar.
- ↪ Das Vervielfältigen, Übersetzen, Veröffentlichen und Verarbeiten in elektronischen Systemen ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Autoren erlaubt.

Bern, im Februar 2025

Korrespondenzadressen:

Leo Neuweiler, M.Sc.Optom.
Nina Müller, Dr. of Optometry
Eschmann - Contactlinsen AG
Kramgasse 54
CH-3000 Bern 8
Tel. ++41 31 311 73 13
Fax ++41 31 312 37 17
E-mail info@eschmann-contactlinsen.ch

Beatrice Früh, Prof. Dr. med.
Universitätsklinik für Augenheilkunde
Inselspital
Freiburgstrasse 4
CH-3010 Bern
Tel. ++41 31 632 85 38
Fax ++41 31 381 70 66
E-mail beatrice.frueh@insel.ch

Christoph Tappeiner Prof. Dr. med., FEBO
Chefarzt der Pallas Klinik, 4600 Olten

Gustav Pöltner, Dipl.-Ing. (FH), Lec.
Contactlinseninstitut Miller, Meranerstrasse 3, A-6020 Innsbruck

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
1. Einleitung	6
1.1. Auge und Sehen	6
2. Die gesunde Hornhaut und ihre Umgebung.....	7
2.1. Die Hornhaut	7
2.2. Der Tränenfilm	7
3. Der Keratokonus.....	8
3.1. Veränderung des Gewebes.....	8
3.1.1. Histologische Veränderungen.....	8
3.1.2. Biochemische Veränderungen.....	8
3.1.3. Objektive Anzeichen	9
4. Keratokonus, Auftreten und Verlauf.....	10
4.1. Wann tritt der KK auf?	10
4.2. Häufigkeit des KK.....	10
4.3. Krankheitsbild des KK	10
4.4. Möglichkeiten des Verlaufes des KK.....	11
4.5. Kann der Keratokonus einseitig auftreten?	11
4.6. Wer kann vom KK betroffen sein?.....	12
4.7. Ist der KK erblich?	12
4.8. Gibt es andere Veränderungen am Auge, die ähnliche visuelle Effekte hervorrufen?	12
4.9. Subjektive Symptome.....	12
4.10. Erscheinungsform und Einteilung.....	13
4.10.1. Einteilung nach Amsler (erweitert nach Muckenhirn).....	13
4.10.2. Erscheinungsformen nach Form und Lage der Vorwölbung	14
4.10.3. Erscheinungsformen nach Befunden mit Bildgebenden Verfahren.....	14
5. Bildgebende Verfahren	15
5.0.1. Videokeratograph	15
5.0.2. Scheimpflugkamera	16
5.0.3. Optische Kohärenztomografie (OCT)	17
5.1. Regulärer Astigmatismus	17
5.2. Irregulärer, unregelmässiger Astigmatismus	17
5.3. Unregelmässige HH – Nach perforierender Keratoplastik (PKP)	18
6. Korrektionsmöglichkeiten.....	19
6.1. Grenzen der Korrektion mit Brillengläsern.....	19
6.2. Möglichkeiten der Korrektion mit Kontaktlinsen.....	19
6.2.1. Weiche Hydrogel sowie Silikon-Hydrogel Kontaktlinsen.....	19
6.2.2. Formstabile corneale Kontaktlinsen.....	19
6.2.3. Sklerallinsen.....	21
6.2.4. <i>Kontaktlinsen im "Huckepack-System"</i>	21
6.2.5. <i>Hybridlinsen</i>	21
7. Ablauf einer Kontaktlinsenanpassung bei Keratokonus	22
7.1. Formstabile und weiche, individuell gefertigte Kontaktlinsen	22

7.2.	Skleral- und Minisklerallinsen	23
8.	Chirurgische Massnahmen	25
8.2.	Lamelläre und perforierende Keratoplastik (Hornhauttransplantation)	25
8.2.1	Spendergewebe	25
8.2.2	Operation	26
8.2.3	Postoperativer Verlauf	26
8.2.4	Kontaktlinsenversorgung nach Keratoplastik	27
8.3.	Intracorneale Ringsegmente (ICR).....	29
8.3.1.	Kontaktlinsenversorgung nach Implantation von ICR	29
8.4.	Crosslinking (UV-Vernetzung der Kollagenfasern der Hornhaut)	30
8.4.1.	Mögliche Symptome / Komplikationen nach Crosslinking.....	31
8.4.2	Kontaktlinsenversorgung nach Crosslinking	32
9.	Kontraindikationen	34
9.1.	Orthokeratologie („Nachtlinsen“)	34
9.2.	Refraktive Chirurgie.....	34
10.	Was bringt den Betroffenen die Zukunft, sind Prognosen möglich?	34
11.	Abschliessende Bemerkungen	34
11.1.	Auf was ist besonders zu achten?.....	34
11.2.	Tipps für erfolgreiches Tragen der Kontaktlinsen	35
11.2.1.	Kosmetika und Kontaktlinsen	35
11.2.2.	Kontaktlinsen und Augenentzündungen	35
11.2.3.	Staub/Pollen und Kontaktlinsen	35
11.2.4.	Trockenheit und Kontaktlinsen	35
11.2.5.	UV-Schutz und Kontaktlinsen	36
11.2.6.	Bildschirm und Kontaktlinsen.....	36
11.2.7.	Keratokonius und Altersweitsichtigkeit	36
11.2.8.	Speziell für die Ferien und auf Reisen.....	36
Autoren	37
12.	Hinweise für weitere Literatur	38
12.1.	Fachbücher	38
12.2	Elektronische Medien, Links für Fachliteratur.....	38
12.3.	Elektronische Medien, Links für Kommunikation mit Betroffenen.....	39
13.	Verwendete Literatur	39

Kurzfassung

Der Keratokonus ist eine fortschreitende degenerative Erkrankung der Hornhaut, die bei vorliegender genetischer Veranlagung und weiteren Risikofaktoren auftreten kann. Vermutlich führen lokale Stoffwechselstörungen zu einer teilweisen Vorwölbung und Ausdünnung der Hornhaut. Die daraus resultierenden Unregelmässigkeiten können die optische Qualität des Auges beeinträchtigen. Meistens tritt der Keratokonus im 2.-3. Lebensjahrzehnt erstmals auf.

Kann mit Brillengläsern keine optimale optische Abbildung erreicht werden, ist die Versorgung mit Kontaktlinsen oft die erste Wahl. Je nach Voraussetzungen werden unterschiedliche Kontaktlinsen-Typen in verschiedenen Materialien und Geometrien angepasst. Die Versorgung mit Kontaktlinsen ermöglicht einen langfristigen Sehkomfort.

Mittels Crosslinking kann das Fortschreiten des Keratokonus verlangsamt und im Idealfall gestoppt werden. Dabei handelt es sich um ein Operationsverfahren, bei dem die Kollagenfasern der Hornhaut besser miteinander vernetzt werden. Weitere chirurgische Massnahmen wie Trans-PRK, LASIK, intracorneale Ringsegmente, lamelläre oder perforierende Keratoplastik können im Einzelfall mit dem Crosslinking kombiniert werden und so die Sehfähigkeit im besten Fall zu optimieren bzw. rehabilitieren.

Wichtig ist in jedem Fall der regelmässige Dialog mit den entsprechenden Fachpersonen, um den langfristigen Erfolg der optischen Korrektur zu gewährleisten.

1. Einleitung

1.1. Auge und Sehen

Bevor das Licht auf die Netzhaut (3) mit der Netzhautgrube / Makula (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.

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 Kontaktlinsen tragen, schwimmen diese im Tränenfilm direkt vor der Hornhaut.

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. Das Kammerwasser (11) ist eine Flüssigkeit, die im vorderen Augenabschnitt den Raum zwischen der Hornhaurückfläche und der Augenlinsenvorderfläche ausfüllt. Die Formhaltung 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 darüber hinaus 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 (Akkommodation), 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 Form-erhaltung 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 Makula (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").

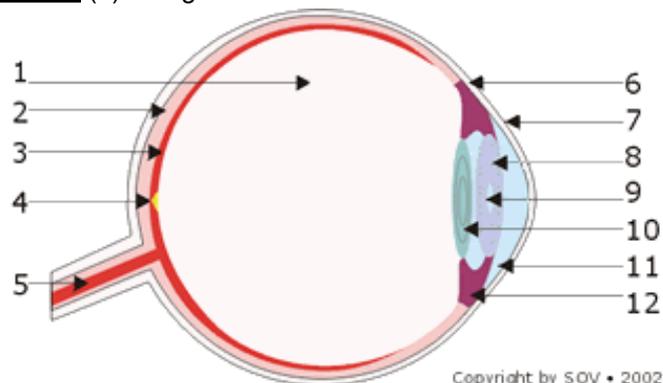


Abbildung 1 Querschnitt des Auges (schematisch)

2. Die gesunde Hornhaut und ihre Umgebung

2.1. Die 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 Schicht, das Stroma, die Descemet Membran und das Endothel.

Das Epithel ist die oberste Schicht der Hornhaut. Es stellt einen mehrschichtigen 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 Kontaktlinsen zu gewährleisten und zu erhalten. Das Epithel liegt direkt der von ihm gebildeten Basalmembran auf.

Die Bowmansche Membran 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 wenigen Zellen (Keratozyten). Es ist sehr formbeständig und weist mit Abstand die grösste Dicke der Schichten auf.

Die Descemet 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 Membran zu Vogt Spaltlinien (Vogt Striae) und ab einem gewissen Stadium zur Faltenbildung.

Das Endothel ist eine einschichtige Zellschicht 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, d.h. im Laufe des Lebens nimmt die Endotheldichte konstant ab.

2.2. Der Tränenfilm

Die Hornhaut ist im Idealfall stets vom Tränenfilm bedeckt. Die Tränenflüssigkeit wird mit jedem Lidschlag neu über die Augenoberfläche verteilt und die überschüssige Menge durch das obere und untere Tränenpünktchen abgesaugt. Die Hornhaut ist ohne Tränenfilm nicht funktionsfähig.

Der komplexe Aufbau des Tränenfilms wird meist vereinfacht in drei Schichten dargestellt. Auf der Hornhaut liegt die Muzinschicht, diese macht die wasserabstossende Hornhaut benetzbar für den wässrigen Anteil des Tränenfilms. Die oberste, ölige Lipidschicht vermindert die Verdunstung der Tränenflüssigkeit. Die Muzine (Schleimstoffe) werden in den Becherzellen der Bindehaut gebildet. Der

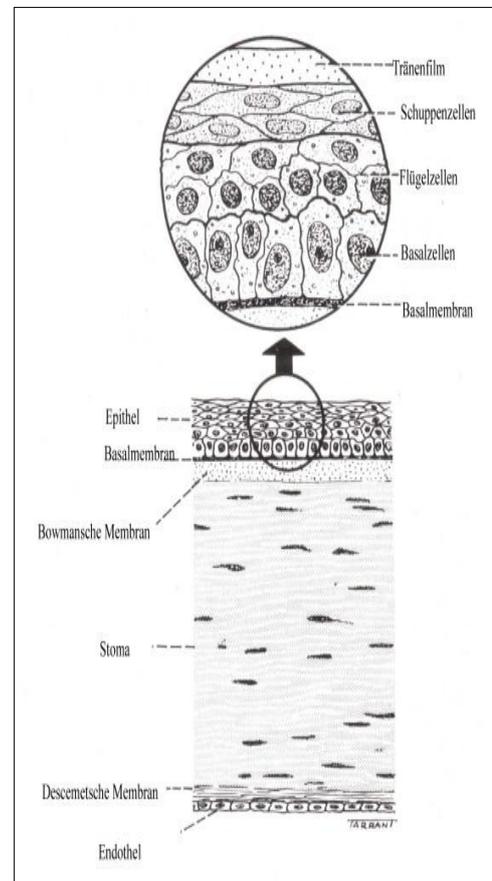
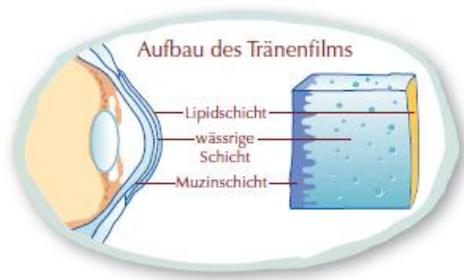
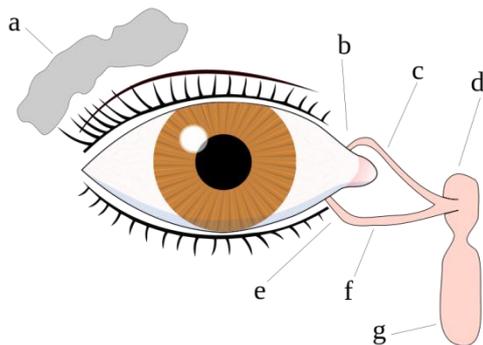


Abbildung 2 Histologischer Schnitt durch eine Hornhaut, der die Lage der besprochenen Strukturen verdeutlicht. (Bild zvg)

wässrige Anteil entsteht in der Tränendrüse. Die ölige Lipidschicht wird in den Meibom-Drüsen im Ober- und Unterlid produziert und an der Lidkante abgegeben.



(Bild: Théa Pharma)



- a) Tränendrüse
- b) Oberes Tränenpünktchen
- c) Oberes Tränenröhrchen
- d) Tränensack
- e) Unteres Tränenpünktchen
- f) Unteres Tränenröhrchen
- g) Tränennasengang

(Bild: Wikimedia Commons / Commons user FML, Commons user Erin_Silversmith)

3. Der Keratokonus

3.1. Veränderung des Gewebes

3.1.1. 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 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 Keratozyten (Zellen des Stromas).

3.1.2. 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, einen erhöhten Anteil an gewebeabbauenden Enzymen und einen verringerten Anteil an Enzymen, die den 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 freie 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 vom Keratokonus betroffene Hornhaut befindet sich also in einem Zustand ständiger Verletzungen und den darauffolgenden 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 - 3 fache reduziert.

3.1.3 Objektive Anzeichen

Die objektiven Anzeichen eines Keratokonus können von einer entsprechenden Fachperson mit speziellen Untersuchungsgeräten festgestellt werden. Am Spaltlampenmikroskop finden sich eine überdurchschnittliche Vorwölbung der Hornhaut sowie Veränderungen der Hornhautstruktur wie z. B. Verdünnung und Narbenbildung der Hornhaut im Bereich der Vorwölbung der Hornhaut, eisenhaltige Einlagerungen in der Peripherie der Vorwölbung in der vordersten Schicht der Hornhaut (Fleischer Ring) und Spaltlinien im hinteren Bereich der Hornhaut (Vogt Linien). 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.

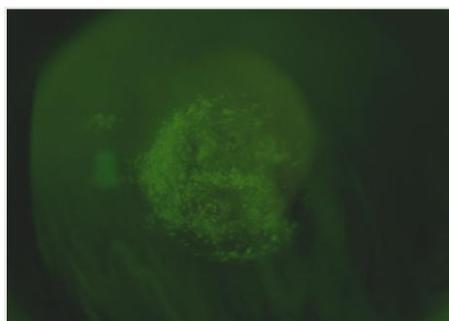
ist.



*Verdünnung und Vorwölbung der Hornhaut im betroffenen Bereich bei fortgeschrittenem Keratokonus, hier sichtbar im Lichtspalt am Spaltlampenmikroskop
Bild: (M. Rehnert)*



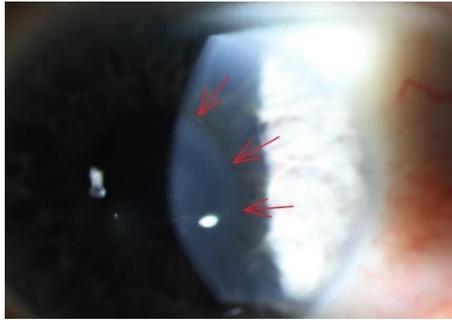
*Vogt Spaltlinien der Descemet Membran und feine Narbenbildung im Bereich der Vorwölbung
(Bild: B. Früh)*



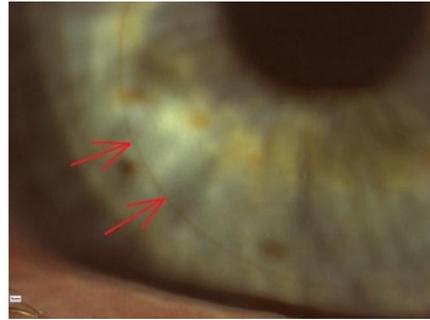
Wirbelförmige Stippen bei Keratokonus, mit Fluoreszein angefärbt (Bild: R. Eschmann)



*Status nach akutem Hydrops - nach Ruptur der Descemet Membran
(Bild R. Eschmann)*



Fleischer Ring (Bild: B. Früh)



Fleischer Ring (Bild: M. Rehnert)

4. Keratokonus, Auftreten und Verlauf

4.1. Wann tritt der KK auf?

Üblicherweise wird ein Keratokonus im Jugendalter manifest und diagnostiziert. Eine Progression wird bis in die 4. Lebensdekade beobachtet, bis es dann aufgrund des natürlichen Alterungsprozesses der Hornhaut, der zu einer natürlichen Quervernetzung der Kollagenfasern in der Hornhaut führt, zu einer Stabilisierung kommen kann.

Eine genetische Veranlagung zum Keratokonus führt nicht immer zur vollständigen Manifestation der Erkrankung. Da diese nicht voll ausgebildeten Formen die optische Abbildung nicht oder kaum beeinträchtigen, werden sie meist nur zufällig im Rahmen einer Untersuchung, eventuell auch erst in fortgeschrittenem Alter, festgestellt.

4.2. 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 gingen in der Vergangenheit von ca. 50 Betroffenen je 100.000 Einwohner aus. Diese Daten basierten jedoch auf einer einzigen Studie in einem Ort mit weniger als 20.000 Einwohnern in Nordamerika in den 1950-er Jahren. Neuere Studien haben gezeigt, dass Keratokonus deutlich häufiger vorkommt als ursprünglich angenommen. Die in der Literatur angegebenen Zahlen schwanken weltweit zwischen Prävalenzen von 0.2 bis 5000 pro 100.000 Personen. Weiterhin zeigt sich, dass bei verschiedenen Ethnien stark unterschiedliche Prävalenzen vorliegen. Zum Beispiel ist die Prävalenz in Asien und dem Nahen Osten deutlich höher (>1500 bis 5000 pro 100.000) als beispielsweise in Nordeuropa (<1000 pro 100.000). Dies sind deutlich höhere Werte als ursprünglich angenommen, was sich jedoch wiederum mit der Häufigkeit von Keratokonus-Versorgungen im Kontaktlinsenalltag deckt.

4.3. Krankheitsbild des KK

Unter Keratokonus verstand man lange Zeit 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. Insbesondere im Bereich der Vorwölbung kommt es zusätzlich zu einer Verdünnung der Hornhaut und in fortgeschrittenen Stadien der Erkrankung zur Narbenbildung. Neuere Studien haben jedoch ergeben, dass höchstwahrscheinlich doch eine gewisse entzündliche Komponente bei Keratokonus vorhanden sein dürfte. Gewisse biochemische Prozesse sind mikroskopisch nachweisbar, die einen Entzündungsreiz auf sehr niedrigem Niveau vermuten lassen, sodass in der Literatur von einem «quasi-entzündlichen Prozess» bei Keratokonus gesprochen wird.

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

Eine Stabilisierung des Hornhautgewebes durch Kollagenvernetzung kann in frühen Stadien einen Keratokonus in den meisten Fällen stabilisieren oder zumindest ein Voranschreiten deutlich verlangsamen. Zwischenzeitlich liegen Ergebnisse aus Nachbeobachtungszeiten von mehr als 20 Jahren vor, die die Sicherheit und Effektivität dieser Methode untermauern

Eine weitere Möglichkeit zur Rehabilitation des Visus, insbesondere bei Unverträglichkeit von Kontaktlinsen, ist eine Operation mit dem Einbringen von intracornealen Ringsegmenten. Auch spezielle Kombinationen verschiedener Operationsmethoden, wie z.B. ELZA-PACE können zu einer Glättung der Hornhautoberfläche und weniger Abhängigkeit von Kontaktlinsen eingesetzt werden. Eine Heilung des Keratokonus ist bis dato nicht möglich.

4.4. Möglichkeiten des Verlaufes des KK

Keratokonius 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 ist der Keratokonus nicht an beiden Augen gleich stark ausgeprägt und teilweise der Verlauf auch nicht an beiden Augen gleich schwer. Die Diagnose wird meist in der zweiten Lebensdekade gestellt. Der Krankheitsverlauf ist individuell sehr unterschiedlich. Bis zum Alter von ca. 35 Jahren muss mit einem Fortschreiten der Erkrankung und damit mit einer Zunahme der Hornhautveränderungen und der subjektiven Beschwerden gerechnet werden. Danach stellt sich häufig ein stabiler Zustand ein. Die progressive Veränderung kann schubweise erfolgen, z.B. kann im Kindesalter oder im Rahmen einer Schwangerschaft ein rascheres Fortschreiten zu beobachten sein.

Während der Zeit, in der die Krankheit fortschreitet, versteilen sich die Krümmungsradien der betroffenen Hornhautbereiche. Aufgrund der nachlassenden Stabilität der Hornhaut kann es in seltenen Fällen zu Einrissen in den hinteren Bereichen der Hornhaut (Descemet Membran) und damit zum Eindringen von Kammerwasserflüssigkeit in die Hornhaut kommen. Man spricht dann von einem „akuten Keratokonus“ (Hydrops). Der „akute Keratokonus“ heilt unter Narbenbildung und Abflachung der Hornhaut. Die Folge ist häufig eine ausgeprägte Sehverschlechterung, die sich in den folgenden Monaten teilweise erholen kann.

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, und ist eine Sehrehabilitation selbst mit Miniskleral- oder Skleral-Kontaktlinsen nicht mehr ausreichend möglich, so ist in einem solchen Fall eine Hornhauttransplantation die einzige Möglichkeit zur Rehabilitation. Aufgrund der verbesserten diagnostischen Geräte ist heutzutage jedoch häufig eine frühzeitige Erkennung des Keratokonus möglich, sodass in progredienten Fällen mittels cornealem Crosslinking versucht werden kann, die starke Progredienz einzudämmen. Die Hornhauttransplantation bei Keratokonus ist heute nicht mehr so häufig erforderlich wie noch z.B. vor 20 Jahren.

4.5. Kann der Keratokonus einseitig auftreten?

Es ist möglich, dass sich der Keratokonus bei einer betroffenen Person zeitlebens nur auf einem Auge bemerkbar macht. Auf dem anderen Auge kann gutes Sehen ohne Einschränkungen, allenfalls mit Brillen-Korrektur, gegeben sein. In den meisten Fällen finden sich aber mit hornhauttopographischen/-tomographischen Verfahren auch am Partnerauge keratokonus-typische Veränderungen.

4.6. Wer kann vom KK betroffen sein?

Verschiedene Risikofaktoren für das Auftreten eines Keratokonus werden diskutiert. Es gibt klare Hinweise für eine genetische Veranlagung (Prädisposition). In diesem Sinne sind auch familiäre oder regionale Häufungen bekannt. Zusätzlich zeigt sich eine Häufung bei Menschen mit Trisomie 21 (Down Syndrom). 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 kongenitale Leber Amaurose, Retinitis pigmentosa und Frühgeborenen-Retinopathie, ist bekannt.

Bei Atopikern (Patienten mit allergischen Erkrankungen) ist ebenfalls ein gehäuftes Auftreten von Keratokonus beschrieben worden. Es ist unklar, ob es eine direkte Assoziation dieser Erkrankung mit dem Keratokonus gibt, oder ob allenfalls ein gehäuftes Augenreiben in dieser Patientengruppe durch die mechanische Belastung das Auftreten eines Keratokonus mitbegünstigt.

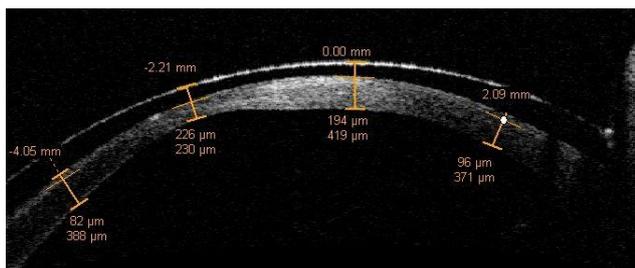
4.7. Ist der KK erblich?

Eine genetische Veranlagung für eine Keratokonus-Erkrankung ist sehr wahrscheinlich, und verschiedene mögliche betroffene Gene wurden in der Vergangenheit diskutiert. Die familiären Häufungen und auch das gehäufte Auftreten bei eineiigen Zwillingen, legt eine genetische Komponente eindeutig nahe. Die bisherigen Studien lassen aber eine multifaktorielle und auch hohe genetische Heterogenität vermuten.

Eine mechanische Komponente, die den Ausbruch des Keratokonus bei genetischer Prädisposition begünstigt, wird als sehr wahrscheinlich angesehen. So finden sich bei Keratokonuspatientinnen und -patienten im Vergleich zur Normalbevölkerung signifikant mehr Menschen, die ihre Augen stark reiben.

4.8. Gibt es andere Veränderungen am Auge, die ähnliche visuelle Effekte hervorrufen?

Hornhautirregularität und Narben nach Verletzung oder Entzündung können ähnliche Auswirkungen haben. Kontaktlinsen können auch in diesen Fällen mit guten Erfolgsaussichten versucht werden.



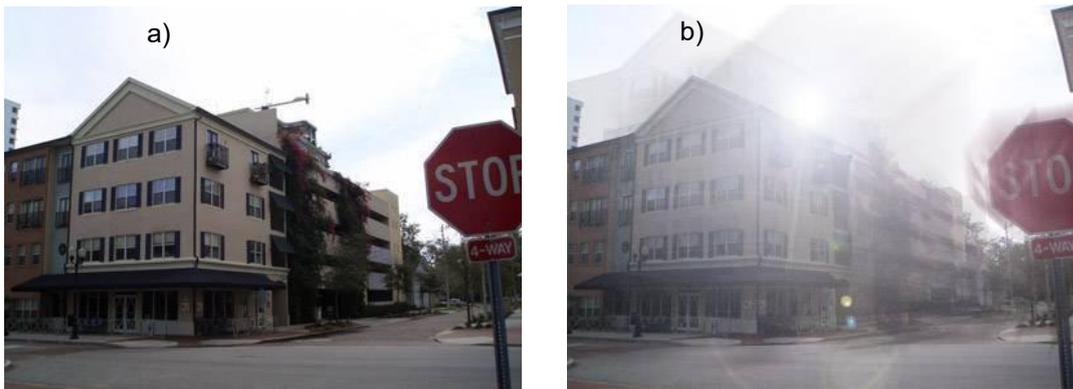
Profilbild einer Keratokonushornhaut mit darüber liegender Kontaktlinse, aufgenommen mit einem Hornhaut OCT (Optischer Kohärenz Tomograph). Links neben der geometrischen Mitte liegt die dünnste Stelle mit 230 µm. Die normale Dicke ist 550 µm. (Bild: G. Pöltner)

4.9. 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 (Hornhautverkrümmung) 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 Sehleistung nicht mehr vollständig erreicht oder wiederhergestellt werden.

Da der Keratokonus auf beiden Augen oft unterschiedlich in der Ausprägung oder auch zeitlich versetzt auftritt, sind diese Verschlechterungen der Sehschärfe typischerweise auf einem Auge stärker ausgeprägt. Häufig findet sich zusätzlich eine starke Lichtempfindlichkeit.

Die Bandbreite der subjektiven Empfindung variiert unabhängig vom objektiven Befund individuell sowie situativ sehr stark, ebenso die beobachtete mögliche Bandbreite des zeitlichen Verlaufs.



Legende zu Bildern:

a) Kein Keratokonus, das Haus wird, allenfalls mit Brille oder Kontaktlinsen, deutlich und klar wahrgenommen

b) Je nach Ausprägung des Keratokonus werden die Konturen des Hauses doppelt oder mehrfach und verschwommen wahrgenommen. Lichtquellen, wie die Sonne, können überstrahlen. Die Blendempfindlichkeit kann erhöht sein. (Bilder: KCVision.org, Ian McCain and Elio Spinello)

4.10. Erscheinungsform und Einteilung

Phänomenologisch lassen sich mit aufgesetzten Kontaktlinsen 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.

4.10.1. 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 Kontaktlinsen. Je grösser die Exzentrizität ist, umso stärker ist die periphere Abflachung.

Modernere Einteilungen, wie z.B. die ebenfalls auf der Klassifikation nach Amsler basierende «Alio-Shabayek» Einteilung berücksichtigen zusätzlich noch Parameter wie die Abbildungsfehler höherer Ordnung (Wellenfrontmessung) der Hornhaut.

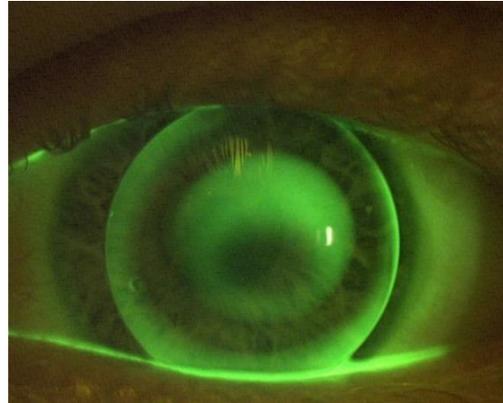
4.10.2. Erscheinungsformen nach Form und Lage der Vorwölbung

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

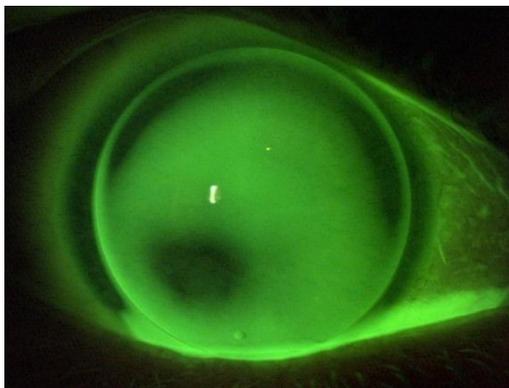
Eine vereinfachende Einteilung in globaler, ovaler, kreisförmiger sowie kuppelförmiger Keratokonus kann vorgenommen werden, wobei ein fließender Übergang der Formen untereinander feststellbar und eine scharfe Abgrenzung der Erscheinungsformen nicht möglich ist.



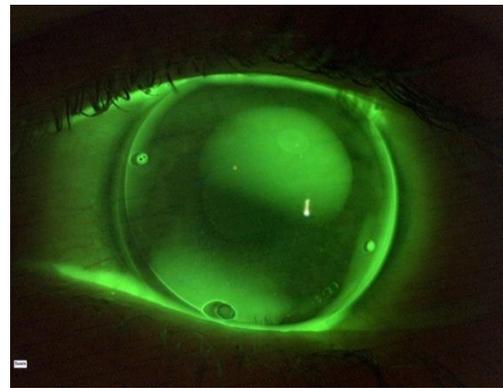
Hoch-ovaler Keratokonus versorgt mit formstabiler Kontaktlinse (Fluoreszenzbild: G. Pöltner)



Kreisförmiger Keratokonus mit formstabiler Kontaktlinse. (Fluoreszenzbild: G. Pöltner)



Kuppelförmiger Keratokonus nach außen und unten dezentriert. (Fluoreszenzbild: G. Pöltner)



Nach unten dezentrierter astigmatischer Hauptschnitt (Fluoreszenzbild: G. Pöltner)

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

4.10.3. Erscheinungsformen nach Befunden mit Bildgebenden Verfahren

Bildgebende Verfahren (siehe 5.ff) wie Videokeratoskope (Keratographen) und Scheimpflugkameras bieten im Gegensatz zur punktuellen Vermessung der Hornhaut mit Ophthalmometern (Keratometern), bei denen die Hornhautform aus der Messung einzelner weniger Punkte definiert wird, die Möglichkeit, durch eine Vielzahl von Messpunkten (bis zu 100'000) die Form der Hornhautvorderfläche 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 Verdünnung, geben. Scheimpflug basierte Systeme erfassen auch die Form der Hornhautrückfläche und die Hornhautdicke über den gesamten Messbereich.

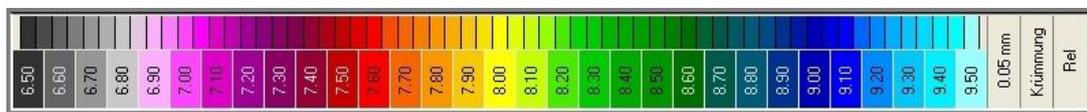
Eine grobe Einteilung und "Normierung" der Ektasie erfolgt durch die Informationen über die Lage des apikalen Bereiches in Bezug auf die gesamte Hornhautoberfläche. Bei Abweichungen von diesen "Normen", werden zusätzliche Daten für die Definition der jeweiligen Erscheinungsform verwendet.

In den nachfolgenden Darstellungen reicht die Farbskala von Blau für sehr flache Hornhautbereiche über Grün, Gelb bis Rot und Lila für stark gewölbte Hornhautbereiche. Die normale Krümmung der Hornhaut liegt „im farblich grünen Bereich“.

Die grossflächige Erfassung der Hornhauttopografie stellt einen enormen Fortschritt sowohl für die Verlaufskontrolle bei Veränderungen als auch für die Anpassung von Kontaktlinsen dar. Der Verlauf kann mit Geräten, die zusätzlich zur Topografie der Hornhautvorderfläche auch die Dicke der Hornhaut sowie die Form der Hornhaurückfläche erfassen, genauer verfolgt werden.

5. Bildgebende Verfahren

Die heute gängigen Geräte für bildgebende Verfahren sind der Videokeratograph und die Scheimpflugkamera, sowie der Optische Kohärenztomograph (OCT). Mit diesen Geräten lässt sich die Topographie (= Ortsbeschreibung) der Hornhaut erfassen und darstellen. Zur zweidimensionalen Darstellung der Hornhaut-Wölbung auf Papier oder am Bildschirm werden unterschiedliche Farben verwendet. Die Charakteristik der Wölbung der Hornhaut am jeweiligen Ort ist einem Farbton zugeordnet. Die Krümmungsänderungen werden in kontinuierlichen Farbton-Abfolgen angezeigt.



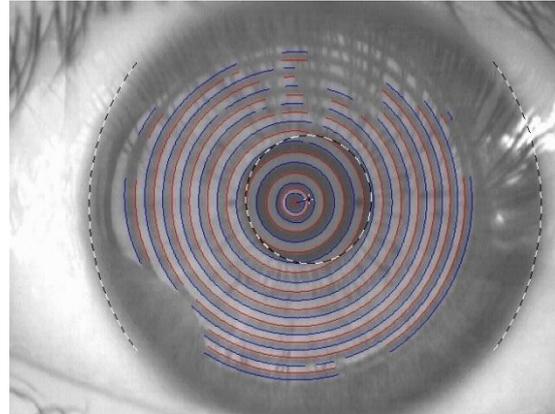
Zu jeder Topografie zeigt eine Skala, welcher Farbton dem jeweiligen Massen zugeordnet ist. Die Farbton-Abfolge dieser Skala zeigt Änderungsschritte des Hornhaut-Krümmungsradius in Schritten von 0.05 mm.
(Bild: R. Eschmann / L. Neuweiler)

5.0.1. Videokeratograph

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 Auswertquotient, desto sicherer und genauer ist die Messung. Das maximale Messfenster hat einen Durchmesser von ca. 8.0 mm.



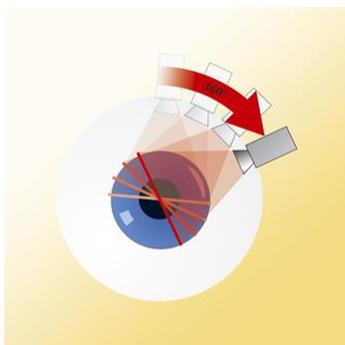
Das Keratoskop nach Placido ist eine flache Scheibe mit abwechselnd schwarzen und weissen Ringen. Das Abbild dieser Scheibe auf der Hornhaut wird durch ein kleines Loch im Zentrum beobachtet und beurteilt.
(Bild: R. Eschmann / L. Neuweiler)



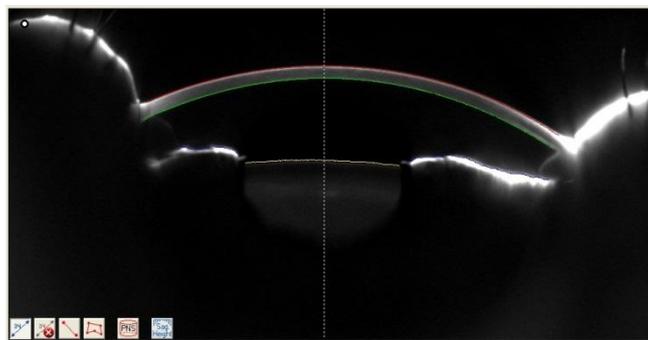
Gleichmässiges Abbild der Placido-Scheibe eines Keratometers auf regulärer Hornhaut. Die für die Topographie vom Rechner erfassten und ausgewerteten Linien sind farbig markiert.
(Bild: R. Eschmann / L. Neuweiler)

5.0.2. Scheimpflugkamera

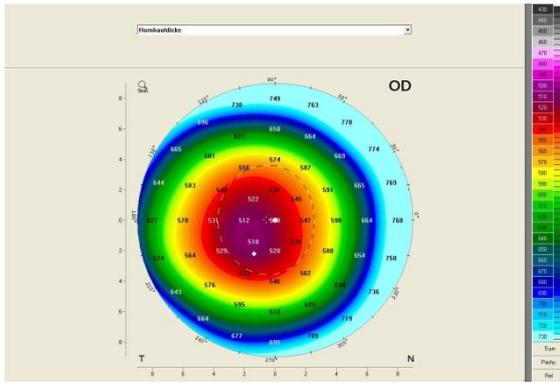
Die Scheimpflugkamera erfasst bis zu 50 Schnittbilder des vorderen Augenabschnittes in der Ebene der optischen Achse des Auges. Die Einhaltung des Scheimpflug-Prinzips erlaubt eine scharfe Abbildung der Schnittbilder von der Hornhautoberfläche bis und mit der Augenlinse. Für die Aufnahmen drehen sich das Spaltlicht und die Kamera synchron um die optische Achse des Auges. Eine zweite Kamera erfasst und korrigiert allfällige Bewegungen des Auges. Die Software errechnet mit „Ray Tracing“-Technologie die Grenzflächen der Hornhaut und der Vorderkammer aller Segmente (Schnittbilder) und erstellt somit ein 3D-Modell. Der auswertbare Bereich hat einen Durchmesser von bis zu 12.0 mm. Im Gegensatz zum vorgängig erwähnten Placido-Prinzip erhält man vom Zentrum der Hornhaut die grösste Datenmenge und somit die grösste Messsicherheit. Zusätzlich kann mit dem Scheimpflug-Verfahren der Flächenverlauf der Hornhaurückfläche, die Hornhaut-Dicke über die gesamte Fläche sowie eine Beurteilung der Licht-Transparenz der Hornhaut dargestellt werden. Die ebenfalls zur Verfügung gestellten Messwerte der Augenvorderkammer und der Augenlinse sind für den Kontaktlinsen-Anpasser von geringer Bedeutung.



Schema: Erfassen der Schnittbilder mit der Scheimpflugkamera.
(Bild: Oculus)



Vertikales Schnittbild, das Oberlid ist links, das Unterlid rechts erkennbar. Die Hornhautvorderfläche ist rot, die -rückfläche grün markiert.
(Bild: R. Eschmann / L. Neuweiler)



Die Hornhaut-Dicke kann über die ganze Fläche bestimmt und mit verschiedenen Farben dargestellt werden. Die hier gezeigte Dickenzunahme von 510 Mikrometern im Zentrum zu über 700 Mikrometern in der peripheren Hornhaut stellt einen normalen Verlauf dar.
(Bild: L. Neuweiler)

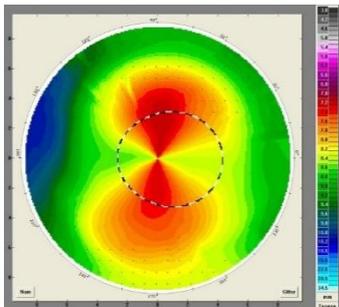
5.0.3. Optische Kohärenztomografie (OCT)

Die optische Kohärenztomografie des vorderen Augenabschnittes liefert hochauflösende Schnittbilder, die sich beliebig vermessen lassen. In der Regel erfolgt automatisch eine vollständige Biometrie der vorderen Abschnitte, man erhält die Hornhautdicke, die Vorderkammertiefe, den Kammerwinkel und die Linsendicke.

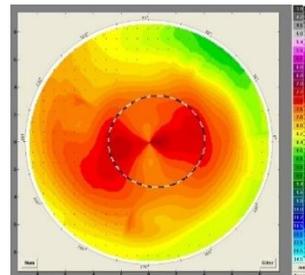
Für Studienzwecke und bei der Anpassung von Sklerallinsen, kann die beliebige Vermessung von Strecken und Winkeln hilfreich sein.

Die Zukunft der genauen Vermessung der Hornhaut und der Simulation von Kontaktlinsen aller Art könnte eventuell bei den Hornhaut OCT's liegen. Nach heutigem Stand der Technik sind die Messbereiche jedoch noch zu klein und die Berechnungssoftware für die Kontaktlinsen-Anpassung ist nicht ausreichend vorhanden.

5.1. Regulärer Astigmatismus

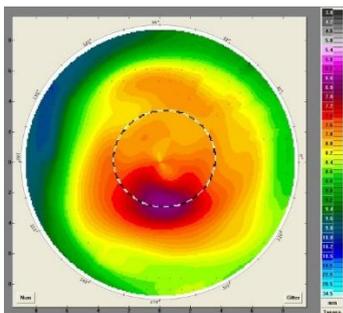


Astigmatismus rectus
Hier befindet sich der flachere Hauptschnitt in ca. 0° und genau senkrecht dazu der steilere Radius
(Bild: R. Eschmann)

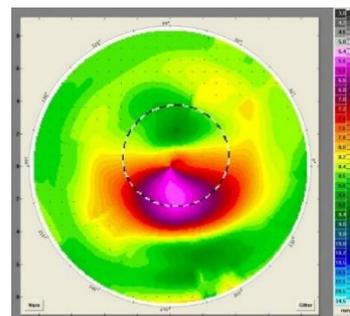


Astigmatismus inversus
Ungefähr in der Horizontalen ist die Hornhaut stärker gekrümmt als in der Vertikalen
(Bild: R. Eschmann)

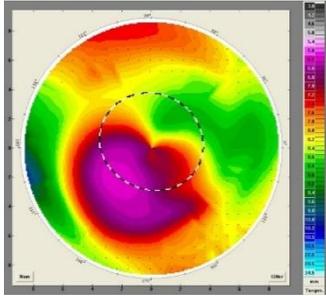
5.2. Irregulärer, unregelmässiger Astigmatismus – Keratokonus



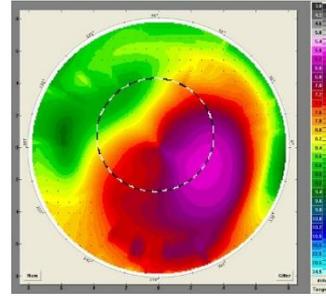
Progredienz Keratokonus am linken Auge
Aufnahme vom 23.07.2003
(Bild: R. Eschmann)



Aufnahme vom 11.05.2005
(Bild: R. Eschmann)



Keratokonus am rechten Auge temporal-inferior
(Bild: R. Eschmann)

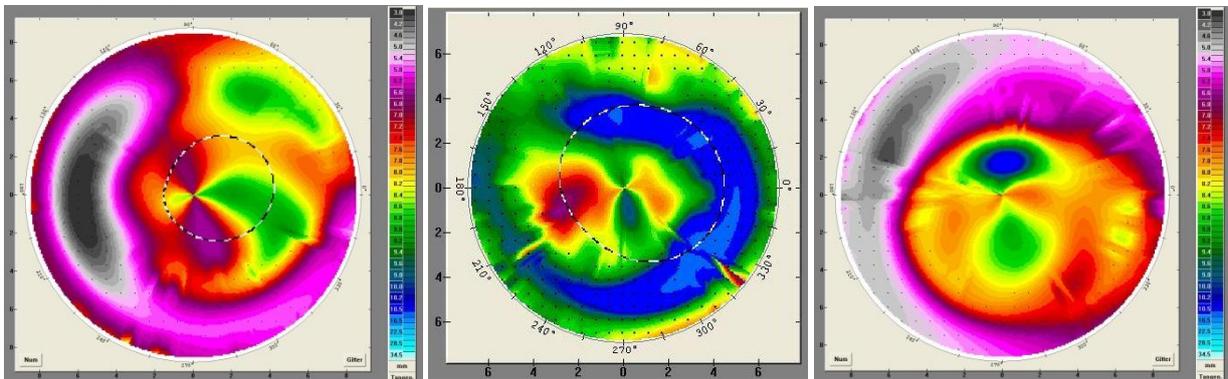


Keratokonus am linken Auge temporal-inferior
(Bild: R. Eschmann)

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

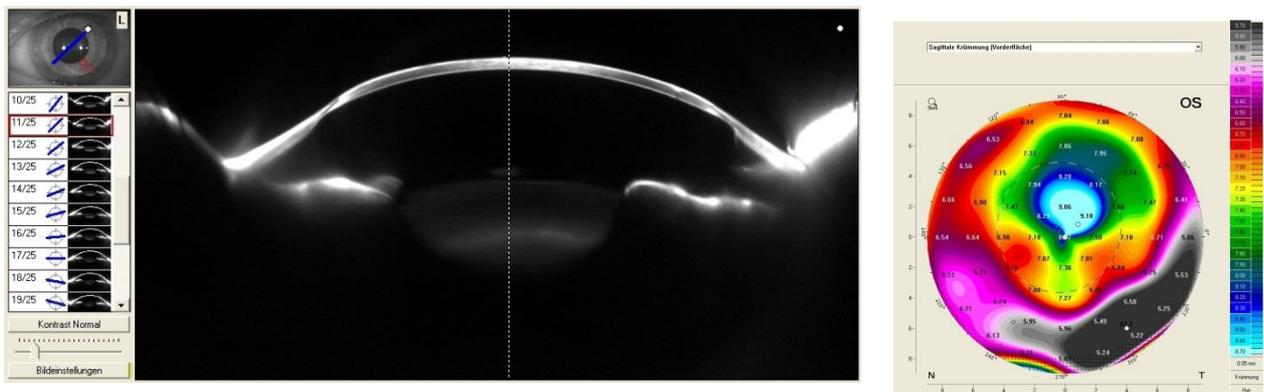
Bei Progredienz des Keratokonus versteilen sich die zentralen Hornhautradien und die Exzentrizität nimmt zu. Keratokoni können mittig oder dezentriert sein. Der verdünnte Hornhautbereich befindet sich am Apex.

5.3. Unregelmässige HH – Nach perforierender Keratoplastik (PKP)



Video-Keratographien unterschiedlicher Hornhäute nach perforierender Keratoplastik, die unterschiedliche asymmetrische Hornhautformen wiedergeben. (Bilder: R. Eschmann)

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



Links: Scheimpflug-Bild 11 in der Achslage 45°, aus der Serie von 25 Bildern, zeigt eine deutliche Formänderung der Hornhaut im Bereich des Übergangs vom Transplant zur Wirtshornhaut. Rechts: Die 25 Scheimpflugbilder dieser Hornhaut vom Rechner als sagittale Krümmungsradien in verschiedenen Farben dargestellt. (Bilder: L. Neuweiler)

6. Korrektionsmöglichkeiten

6.1. Grenzen der Korrektion mit Brillengläsern

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 Kontaktlinse der Versuch unternommen, eine regelmässige Vorderfläche für die optische Abbildung zu erreichen.

6.2. Möglichkeiten der Korrektion mit Kontaktlinsen

Die Kontaktlinsen sollen einerseits die Unregelmässigkeit der Hornhautvorderfläche und andererseits die Fehlsichtigkeit kompensieren. Durch die Ansammlung von Tränenflüssigkeit zwischen Hornhaut und Kontaktlinse wird die Irregularität der Hornhautoberfläche optisch ausgeglichen. Nach heutigem Wissensstand stellen Kontaktlinsen 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 kontaktoptischen Versorgung steht eine Vielzahl von verschiedenen Kontaktlinsen-Materialien in den unterschiedlichsten Ausführungen und Geometrien zur Verfügung.

6.2.1. Weiche Hydrogel sowie Silikon-Hydrogel Kontaktlinsen

Diese zeichnen sich durch eine hohe Spontanverträglichkeit aus (geringes anfängliches Fremdkörpergefühl). Sie schmiegen sich wie eine zweite Haut an die Hornhaut an. Dadurch können sie aber 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 in Bezug auf die Hornhaut eine wesentliche Rolle.



Weiche hydrogele Keratokonus-Linse (Bild: R. Eschmann / L. Neuweiler)

6.2.2. Formstabile corneale Kontaktlinsen

Formstabile corneale Kontaktlinsen, auch Corneallinsen genannt, sind bei Keratokonus mit irregulärer Hornhautvorderfläche die erste Wahl zur Korrektion. Die irreguläre Hornhautvorderfläche wird damit optisch ausgeglichen. Das so erzeugte, qualitativ gute Netzhautbild ist eine wesentliche Voraussetzung für eine gute Sehschärfe.

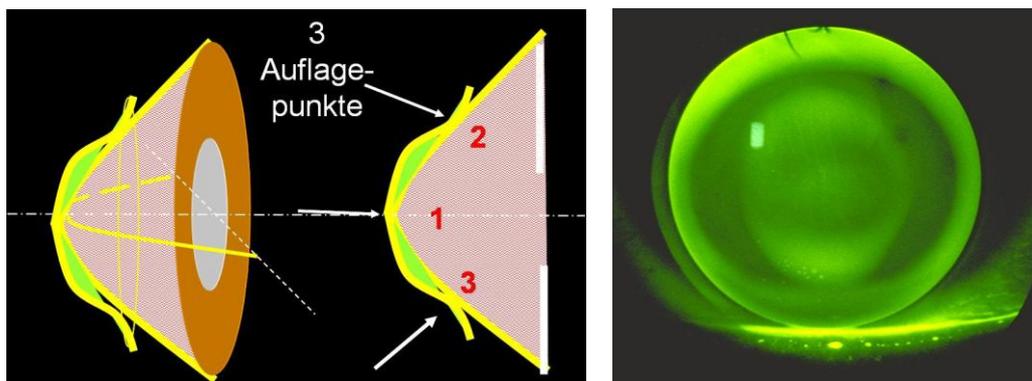
Corneallinsen (Cornea = Hornhaut) lassen wegen der hohen Gasdurchlässigkeit der verwendeten Materialien die Hornhaut atmen. Der Tränenfilm, der ernärende und schützende Stoffe mitführt, wird zwischen Linse und Hornhaut ungehindert ausgetauscht.

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

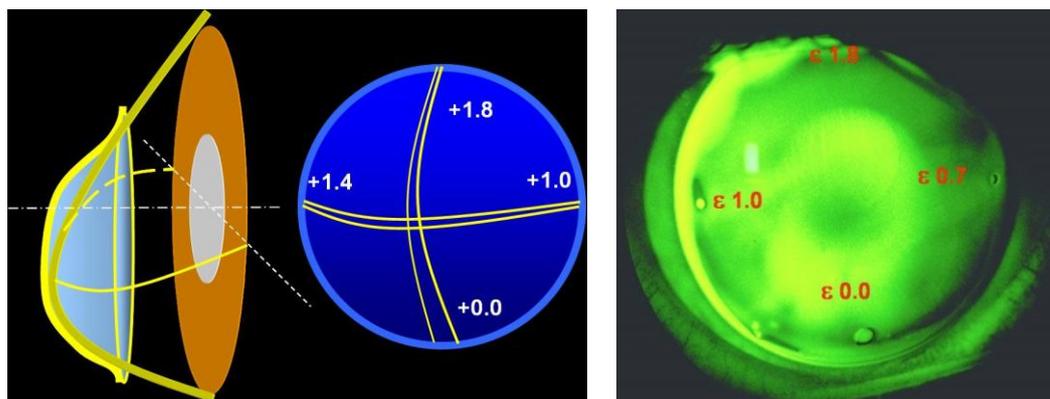
Die Formveränderungen beinhalten vor allem eine Verschiebung des höchsten Punkts der Hornhaut (Apex) meist nach unten temporal, wodurch sich eine starke Abflachung der Hornhaut nach oben und gleichzeitig eine starke Versteilung nach unten ergeben

Da corneale Kontaktlinsen 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 Kontaktlinsen zu erreichen.

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



Beispiel einer rotations-symmetrischen Kontaktlinse mit Dreipunktauflage bei Keratokonus (Bilder: G. Pöltner)



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

Ob rotationssymmetrisch, torisch oder quadranten-spezifisch, mit allen diesen Rückflächengeometrien wird versucht, eine Dreipunktanpassung zu erreichen. Dabei wird angestrebt, eine ringförmige Auflage in der mittleren Peripherie zu erreichen. Die zentrale – apikale Zone des Keratokonus soll dabei nur minimale Berührung bekommen. Denn diese Zone ist aufgrund der Verdünnung viel empfindlicher als die rundum liegenden Hornhautbereiche. Diese Dreipunktauflage wird mit dem Fluoreszeinbild kontrolliert. (Bilder-oben) Die dunklen Bereiche sind die Auflagen und die hellgrünen Bereiche zeigen die mit dem Kontrastmittel angefärbte Tränenflüssigkeit.

Bei stark ausgeprägten Keratokoni oder Personen mit überdurchschnittlich hohem Fremdkörperempfinden werden auch corneale Kontaktlinsen mit sehr grossem Durchmesser angewendet. Diese

Kontaktlinsen werden als perilimbale-Linsen bezeichnet. Ihr Durchmesser entspricht knapp dem Hornhautdurchmesser. Sie sind in ihrer Formgebung genauso vielfältig, wie kleinere corneale Kontaktlinsen.

6.2.3. Sklerallinsen

Immer öfter kommen Kontaktlinsen zum Einsatz, die über die Grösse der Hornhaut hinausgehen, so genannte Sklerallinsen. Sie kommen dann zum Einsatz, wenn mit kleineren Kontaktlinsen kein zufriedenstellendes Sitzverhalten zu erreichen ist, oder Tragekomfort nicht zufriedenstellend ist. (Mini-) Sklerallinsen kommen auch zum Einsatz, wenn im Beruf oder in der Freizeit die Staubentwicklung hoch ist. Durch die dichte Auflage auf der Sklera kann kein Staub unter die Kontaktlinse gelangen. Damit die Sklerallinse optisch funktioniert, muss der Zwischenraum zwischen Linse und Hornhaut mit Flüssigkeit, konkret, nichtkonservierter Kochsalzlösung gefüllt sein. Dies bedingt eine spezielle Technik und etwas Fingerfertigkeit beim Aufsetzen. (Weitere Info siehe [7.2.](#))

6.2.4. Kontaktlinsen im "Huckepack-System"

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

Weiche Eintageslinsen kommen für Huckepack-Systeme oft zum Einsatz, weil diese in ihrer Einzelpackung unkompliziert zur Verfügung gehalten werden können. Im Bedarfsfall, also wenn der Träger oder die Trägerin z. B. mit viel Staub konfrontiert wird, werden erst diese aufgesetzt, auf die weichen Kontaktlinsen dann die ansonsten alleinstehend getragenen, formstabilen Corneallinsen. Dieses Doppelsystem lässt weniger Sauerstoff an die Hornhaut gelangen. Es kann vorteilhaft sein, die Tragezeit der zusätzlichen weichen Kontaktlinse zu beschränken, zum Beispiel, die weiche Kontaktlinse nach dem Einsatz in staubiger Umgebung wieder abzusetzen.

6.2.5. Hybridlinsen

Dies sind Kontaktlinsen mit „stabilem Kern“ und „weicher Peripherie“, um einerseits den Vorteil der optimalen, optischen Abbildungseigenschaften der formstabilen Kontaktlinse mit der hohen Spontanverträglichkeit der weichen Kontaktlinsen zu verbinden. Eine ausreichende Unterspülung, sodass sich die Linse nicht auf der Hornhaut festsetzt, lässt sich leider häufig nicht erreichen. Probleme in der Anpassung, der Reproduzierbarkeit bei der Herstellung, der mechanischen Stabilität und der Pflege scheinen die Anwendung auf breiter Ebene zu limitieren, sodass zum aktuellen Zeitpunkt (2024) keine geeigneten Hersteller für Hybridlinsen mehr auf dem Markt vorhanden sind.



Hybridlinse am Auge (Bild: zvg)

Es ist zu beachten, dass jede Kontaktlinse auf der durch Keratokonus veränderten Hornhaut eine mechanische (insbesondere bei Corneallinsen) und metabolische Belastung darstellt. Daher ist neben der Auswahl der Kontaktlinsenform und der Art der Anpassung auch die Wahl des Materials von grosser Bedeutung. Für die Versorgung des Keratokonus sollten nur hochwertige Materialien mit hoher Gasdurchlässigkeit und guter Benetzbarkeit verwendet werden, um eine weitere Beeinträchtigung der Hornhautfunktionen durch zusätzlichen Sauerstoffmangel und mechanische Belastung zu vermeiden.

In der Regel erfolgt bei Keratokonus eine Kontaktlinsenanpassung erst dann, wenn die Sehschärfe mit Brillengläsern nicht mehr zufriedenstellend korrigiert werden kann.

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

Aufgrund dieser hohen Anforderungen sollte die Kontaktlinsenanpassung bei Keratokonus nur von entsprechend ausgebildeten und erfahrenen Kontaktlinsenspezialisten durchgeführt werden.

Neben der Anpassung ist grösste Sorgfalt auf die Nachkontrollen zu legen, bei denen die Verträglichkeit der Kontaktlinsen 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 Kontaktlinsen in Bezug auf die Hornhaut beurteilt und festgehalten.
- Die Morphologie, d.h. die sichtbare Struktur der Hornhaut, wird nach dem Abnehmen der Kontaktlinsen beurteilt und gegebenenfalls zeichnerisch oder fotografisch festgehalten.
- Die Hornhautform wird vorzugsweise mit dem bildgebenden Verfahren 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 Kontaktlinsen-Anpassung sinnvoll, wird diese entsprechend modifiziert.

7. Ablauf einer Kontaktlinsenanpassung bei Keratokonus

7.1. Formstabile und weiche, individuell gefertigte Kontaktlinsen

Die Kontaktlinsen, die eine betroffene Person braucht, sind immer individuelle Einzelanfertigungen.

Diese werden meist in mehreren Schritten definiert. Im Folgenden die Aufstellung eines möglichen Ablaufs eines Anpass-Vorgangs:

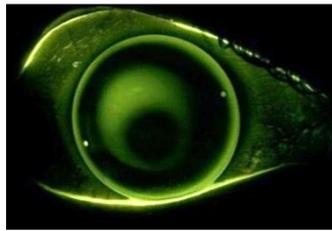
- Festhalten der Sehschärfen unkorrigiert, mit bestehender Brille und mit neu ermittelten und somit aktuellen Brillenglaswerten.
- Ausmessen der verschiedenen Parameter der Hornhaut, wie Durchmesser horizontal und vertikal, zentrale Radien, Kurvenverlauf der gesamten Topographie der Hornhautvorder- sowie Rückfläche und der Dicke der Hornhaut.
- Erste Anpass-Kontaktlinsen werden berechnet, wenn vorhanden aufgesetzt, ansonsten bei einem besonders qualifizierten und spezialisierten Hersteller bestellt.
- Aufsetzen der Anpass-Kontaktlinsen und erste Beurteilung des Sitzverhaltens der Kontaktlinsen am Auge mit Hilfe von Fluoreszein, dieser grün fluoreszierende Farbstoff macht die Tränenfilmverteilung unter der Kontaktlinse und somit den Linsensitz sichtbar. Je dünner der Tränenfilm unter der Linse, desto geringer ist die Leuchtkraft, je tiefer der Tränenfilm unter der Linse, desto kräftiger zeigt sich die grüne Fluoreszenz. Bestimmen der Korrektur und der damit erreichbaren Sehschärfen. Der Vorgang kann sich mit weiteren Anpass-Kontaktlinsen wiederholen, bis die zu erwartenden Resultate bezüglich Verträglichkeit und Sehschärfe zufriedenstellend sind. Stimmt das Bild der Kontaktlinse auf dem Auge mit der simulierten Version des bildgebenden Verfahrens überein, kann auf diesem Weg auf eine passendere Geometrie hingearbeitet werden und die weitere Anpassung am Träger somit verkürzt werden.
- Die Angaben für die Fertigung der Rezeptlinsen werden dem Hersteller übermittelt, die endgültigen Kontaktlinsen werden mit höchster Präzision gefertigt.
- Die individuell hergestellten Kontaktlinsen werden abgegeben, die Kontaktlinsen-Trägerinnen und -Träger bezüglich Handhabung und Pflege sowie Tragezeiten in der Eingewöhnungsphase sorgfältig instruiert.

- Anlässlich der folgenden Nachkontrollen werden Verträglichkeit und Sitz der Kontaktlinsen auf dem Auge sowie die erreichte Sehleistung überprüft. Sollten geringe Verbesserungen notwendig sein, können die Kontaktlinsen möglicherweise durch den Hersteller oder den Kontaktlinsen-Spezialisten selbst nachbearbeitet werden. Sind erhebliche Änderungen notwendig, werden zur Optimierung der kontakt-optischen Versorgung neue Kontaktlinsen bestellt. Eventuell ist eine Kombination Kontaktlinse / Brille notwendig, insbesondere bei vorliegender Alterssichtigkeit.
- In der Regel erfolgen Kontrollen von Sitz und Funktion sowie Zustand der Kontaktlinsen alle 6 - 12 Monate. Bei wahrgenommener Änderung der Situation sollten die Betroffenen jedoch ohne Verzug den Spezialisten aufsuchen.

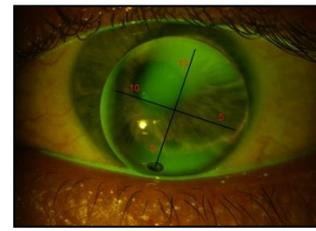
Die Dauer einer Erstversorgung, inklusive der Eingewöhnungsphase, kann je nach Problemstellung mehrere Wochen in Anspruch nehmen.



Torische Keratokonuslinse bei Betrachtung mit Fluoreszein (Bild: zvg)



Grenzlimbale, torische Keratokonuslinse (Bild: zvg)



Quadranten-spezifische Keratokonuslinse mit eingetragenen Abflachungsgraden. (Bild: L. Neuweiler)

Die Durchmesser von Kontaktlinsen betragen in der Regel:

- Formstabile gasdurchlässige Corneallinsen: 8.80 bis 10.20 mm
- Weiche Hydrogel Kontaktlinsen: 13.00 bis 15.00 mm

Dies bezieht sich jedoch auf einen horizontalen Durchmesser einer „Normalhornhaut“ von ca. 11.30 - 11.80 mm. Je nach Hornhautdurchmesser, Lidspaltenposition, Fehlsichtigkeit und Kontaktlinsen-Geometrie kann die Wahl der Grösse der Kontaktlinsen variieren. Grenzlimbale Kontaktlinsen bedecken fast die gesamte Hornhaut, reichen praktisch bis zum Übergang von Hornhaut zur Bindehaut.

7.2. Skleral- und Minisklerallinsen

Sklerallinsen stellen mit einem Durchmesser von 14.0 mm bis 23.0 mm die Gruppe der grössten Kontaktlinsen dar. Auch da ist die Wahl des Durchmessers abhängig von den oben erwähnten Faktoren. Im Unterschied zu den üblichen formstabilen Kontaktlinsen, liegen die Sklerallinsen nicht auf der Hornhaut, sondern überbrücken diese und kommen erst ausserhalb der Hornhaut auf der Sklera (der weissen Lederhaut) zu liegen. Die Art der Auflage hat diesem Kontaktlinsentyp seinen Namen gegeben.

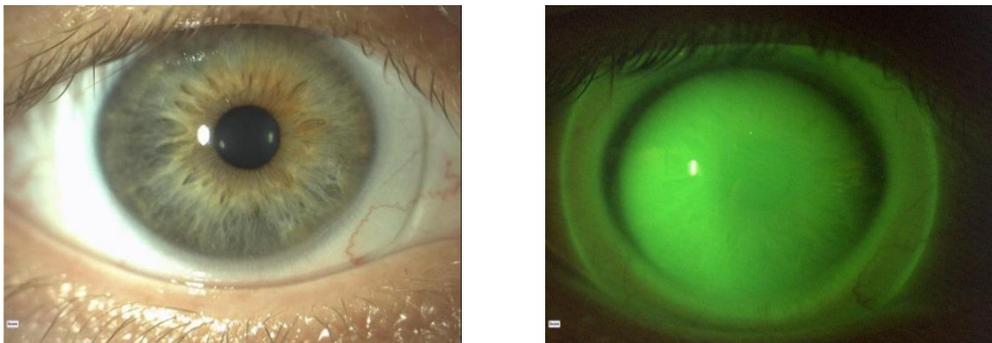
Die Vorteile sind die ausgezeichnete optische Abbildungsqualität und ein hoher Tragekomfort. Ausserdem können während des Tragens keine Fremdkörper unter die Sklerallinse gelangen und sie kann nicht aus dem Auge fallen. Dies kann bei bestimmten Berufen oder Tätigkeiten oder bei erhöhtem Verlustrisiko aufgrund der Hornhautform eine wesentliche Erleichterung darstellen. Die Nachteile liegen in der aufwändigen Handhabung, der Möglichkeit zur Übersäuerung der Flüssigkeit zwischen Sklerallinse und Hornhaut und der relativ geringeren Sauerstoffdurchlässigkeit. Letztere kann sich bei vorgeschädigten Hornhäuten, z. B. nach Keratoplastik, durch Ödembildung und somit Trübung der Hornhaut bemerkbar machen. Die Langzeitverträglichkeit kann mit den heute zur Verfügung stehenden Technologien noch nicht gleich gut bewertet werden wie mit den Corneallinsen.

Beim Aufsetzen einer Sklerallinse wird diese mit Kochsalzlösung ohne Konservierungsmittel gefüllt: Das Gesicht wird horizontal ausgerichtet, um die Linse im gefüllten Zustand von unten auf das Auge zu bringen. Bildet sich zwischen Linse und Hornhaut bei unsachgemäsem Aufsetzen eine Luftblase, werden der Komfort und die Sehschärfe beeinträchtigt. Die Linse muss wieder abgesetzt und die Prozedur von Neuem begonnen werden.

Das Absetzen dieser Kontaktlinse erfolgt mit einem Vollgummisauger. Dabei ist es wichtig, dass die Sklerallinse nur randnah angesaugt wird. Wird der Sauger zentral aufgesetzt, kann die Linse nicht vom dem Auge gelöst werden. Idealerweise blickt man sich mit gesenktem Blick und somit fast aufrechtem Kopf in einem liegenden Spiegel direkt ins Auge, zieht das Oberlid hoch, setzt den Sauger randnah oben auf die Sklerallinse und zieht nach oben und vorne.

Das Gleiche kann natürlich auch beim Ansaugen am unteren Rand zum Erfolg führen. Jedoch bleibt dabei das Oberlid auf der Linse und erzeugt einen unangenehmen Gegendruck, der das Entnehmen der Linse erschwert.

Die Anwendung der Sklerallinsen hat an Popularität gewonnen, weil schwierige Hornhautgeometrien einfach überbrückt werden können sowie die erreichbare Sehschärfe und vor allem der Tragekomfort sehr hoch sind. Wobei die klassischen Sklerallinsen mit Durchmesser über 20 mm, nur noch selten angepasst werden. Der Trend geht in Richtung der hochsauerstoffdurchlässigen Minisklerallinsen. Der Durchmesser dieser Linsen ist zwischen 14 mm und 18 mm. Sie werden aus sehr hoch sauerstoffdurchlässigen Materialien erzeugt. Wie bei den Speziallinsen für Keratokonus und Keratoplastik, sind ausser den rotationssymmetrischen Varianten auch in periphertorischen, fronttorischen und multifokalen Varianten erhältlich.



Minisklerallinse mit 16 mm Durchmesser im normalen Licht links und im fluoreszierenden Licht rechts. Gut zu sehen ist die fast gesamte Überbrückung der Hornhaut (Bilder: G. Pöltner)

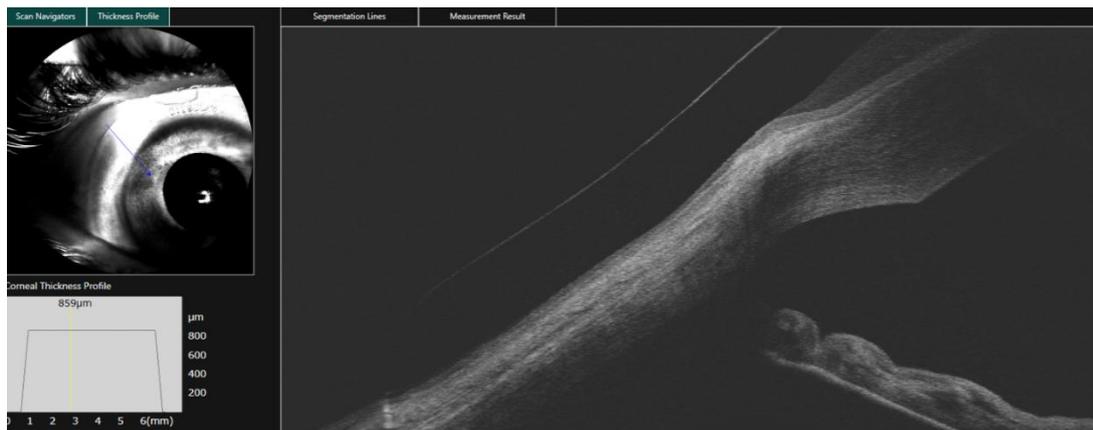
Bei der Anpassung muss neben der Hornhauttopographie auch der Limbus (Übergang Hornhaut – Sklera) und das Skeralprofil berücksichtigt werden. Heute stehen Topographiemesssysteme zur Verfügung, die Hornhaut und Lederhaut in ausreichender Größe vermessen können. Um auf grössere Unregelmässigkeit der Augenform eingehen zu können, steckt die Fertigungstechnologie bei vielen Herstellern jedoch noch in der Entwicklung. Manche Hersteller erlauben aber die Anbringung von sogenannten «Notches» im Bereich der skleralen Auflagezone, was Oberflächenunebenheiten der Bindehaut teilweise entlasten kann.

Mit der EyePrintPro Technologie aus den USA, gefertigt im EU Raum, steht uns jedoch eine alternative Technologie zur Verfügung, mit der die Linse sehr genau auf alle Unregelmässigkeiten der Augenoberfläche abgestimmt werden kann. Die gleichmäßige Auflage auf allen Bereichen der Sklera ist insbesondere bei Narben, nach Operationen (Blebs) und bei ausgeprägten Pingueculi von Bedeutung. Bei der EyePrintPro Technologie wird ein sanfter Abdruck von der Augenoberfläche im Bereich der Auflage der Sklerallinse ähnlich einem Abdruck der Zähne für eine Zahnspange genommen.

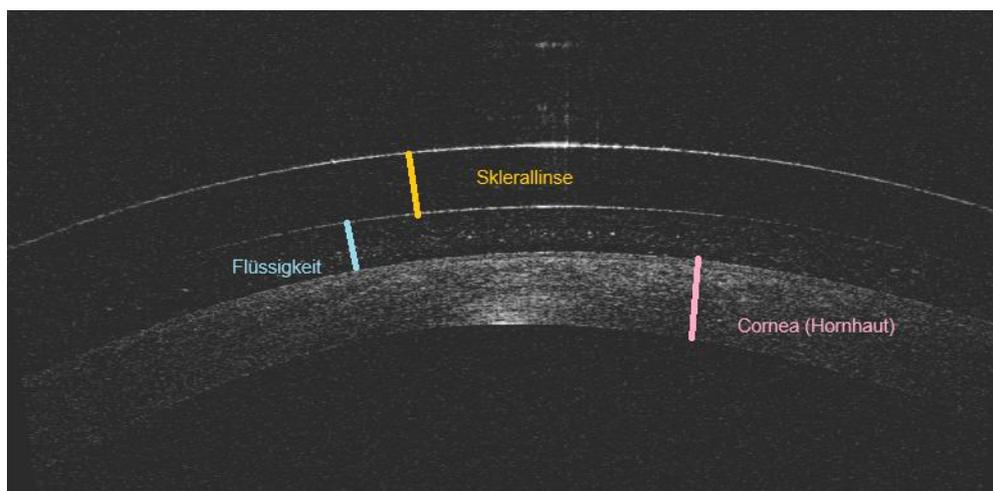
Das Vorderabschnitts-OCT erlaubt eine sehr gezielte Beurteilung der Passform und eine exakte Messung der gewünschten Abstände. Ergänzt wird dies mit Fluoreszein, das auch eine Betrachtung der dynamischen Verhältnisse ermöglicht. Die mit blauem Licht angeregte Fluoreszenz macht die Flüssigkeit unter der Linse sicht- und abschätzbar.

Die Tränenflüssigkeit hat einen Sauerstoffdurchlässigkeitswert von $80 \cdot 10^{-9}$ barrers. Die für diese Linsen verwendeten Kontaktlinsen-Materialien haben DK/L-Werte von 100 bis $163 \cdot 10^{-9}$ barrers. Der Abstand von Hornhautvorderfläche zur Kontaktlinsen-Rückfläche beträgt im Idealfall ca. 150 μm . Ist die Überbrückung grösser, wird die Sauerstoffzufuhr stärker eingeschränkt als angestrebt. Andererseits

gilt: Je kleiner das Flüssigkeitsvolumen zwischen Sklerallinse und Hornhautvorderfläche, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass die Flüssigkeit übersäuert, was ebenfalls unerwünscht ist.



Auflage der Sklerallinse auf der Sklera (L. Neuweiler)



Sklerallinse über Keratokonus, die Verdünnung der Cornea ist gut erkennbar

8. Chirurgische Massnahmen

8.2. Lamelläre und perforierende Keratoplastik (Hornhauttransplantation)

Man unterscheidet zwischen lamellärer und perforierender Keratoplastik. Bei der lamellären Keratoplastik (DALK – Deep Anterior Lamellar Keratoplasty) 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 eröffnet.

Die DALK ist technisch sehr anspruchsvoll und ist nicht in allen Fällen möglich oder sinnvoll, hat aber für den Patienten mehrere Vorteile, v.a. die Erhaltung der eigenen Endothelzellschicht, die bei Keratokonus meist normal ist. Häufig resultiert ein geringerer und regelmässigerer Astigmatismus. Die Sehverbesserung kann schneller eintreten. Es besteht die Möglichkeit, bei Bedarf während der Operation auf die perforierende Keratoplastik umzustellen.

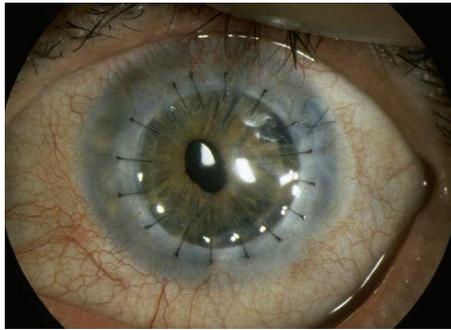
8.2.1 Spendergewebe

Sowohl bei der DALK, 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,

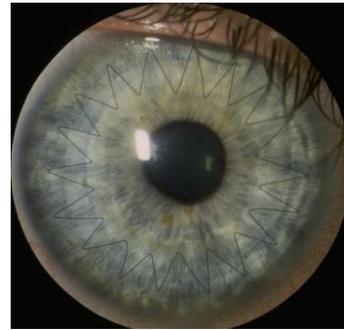
je nach Konservierungsmethode, bis zu vier Wochen in einer Augenbank aufbewahrt, so dass -im Gegensatz zu den Grossorgantransplantationen- die Operation in der Regel im Voraus geplant werden kann.

8.2.2 Operation

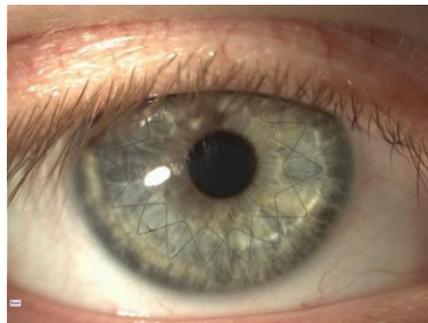
Sowohl die LKP als auch die PKP können in Lokalanästhesie (Spritzen ums Auge) oder in Vollnarkose durchgeführt, wobei die Vollnarkose für das Auge sicherer ist und daher bevorzugt wird. Die Operationsdauer beträgt für die DALK ca. 60 Minuten, für die PKP 30 Minuten, die Hospitalisationsdauer meist zirka drei Tage. Die Arbeitsunfähigkeit ist sehr unterschiedlich, für eine Bürotätigkeit muss man je nach Operationsverfahren und Heilungsverlauf mit einer ca. drei Wochen dauernden 100%igen Arbeitsunfähigkeit rechnen.



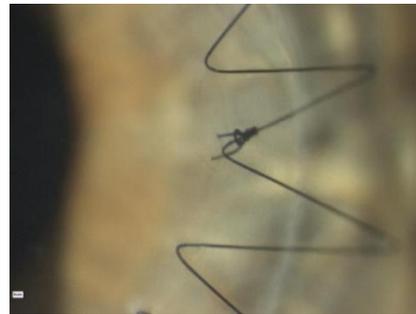
Keratoplastik mit Einzelnähten. (Bild: G. Pöltner)



Keratoplastik mit durchgehender Naht. (Bild: G. Pöltner)



Keratoplastik mit Doppelnah. (Bild: G. Pöltner)



Keratoplastik Nahtknopf. (Bild: G. Pöltner)

8.2.3 Postoperativer Verlauf

In der Regel müssen bis zur Nahtentfernung (bei DALK ca. 8 Monate, bei PKP ca. 11 -18 Monate) am operierten Auge Kortisontropfen appliziert werden. Diese Therapie wird individuell angepasst und dient der Vorbeugung von Abstossung des Spendergewebes. Anfänglich sind zusätzlich und vorbeugend antibiotische Tropfen erforderlich. Tabletten oder andere Augentropfen werden nur in speziellen Fällen verschrieben. Die Wunde der operierten Hornhaut ist sehr schwach und kann bei Gewalteinwirkung auf das Auge (z.B. Faustschlag, Ball gegen Auge) aufplatzen. In dieser Beziehung ist auch nach der Fadenentfernung zu Vorsicht walten zu lassen, da der Übergang zwischen Transplantat und eigener Hornhaut lebenslang eine gewisse Schwachstelle bleibt, die bei hoher mechanischer Belastung aufplatzen kann.

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 geringer ausgeprägtes Schmerzempfinden, z. B. bei Verletzungen oder entzündlichen Prozessen.

Abstossungen sind bei Hornhauttransplantaten, insbesondere nach Keratokonus, sehr selten. Sie treten meist im ersten Jahr nach der Operation auf, meistens wenn die kortisonhaltigen Augentropfen nicht zuverlässig appliziert werden.

Mögliche Komplikationen einer Hornhauttransplantation sind Glaukom (=Augendruck-erhöhung), Katarakt (=grauer Star) oder Infektionen.

Die "Lebensdauer" einer transplantierten Hornhaut ist für lamelläre Verfahren theoretisch unbegrenzt, für eine PKP beträgt sie durchschnittlich 10 - 25 Jahre. Eine erneute Transplantation (Re-PKP) ist möglich.

In den ersten Monaten nach dem Eingriff schwankt die Sehschärfe sehr stark. In ausgewählten Fällen können eine Brille oder Kontaktlinse 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.

8.2.4 Kontaktlinsenversorgung nach Keratoplastik

Nur ca. 2 - 4 % der Patienten mit Keratoplastik kommen ohne optische Korrektur aus. In 6 % der Fälle kann die notwendige optische Korrektur mit einer Brille ermöglicht werden. Oft treten hohe Astigmatismen und / oder unregelmässige Hornhautformen auf. Daher benötigen etwa 86 % nach einer Keratoplastik eine Kontaktlinse, um eine ausreichende Sehqualität für die alltäglichen Aufgaben zu erreichen.

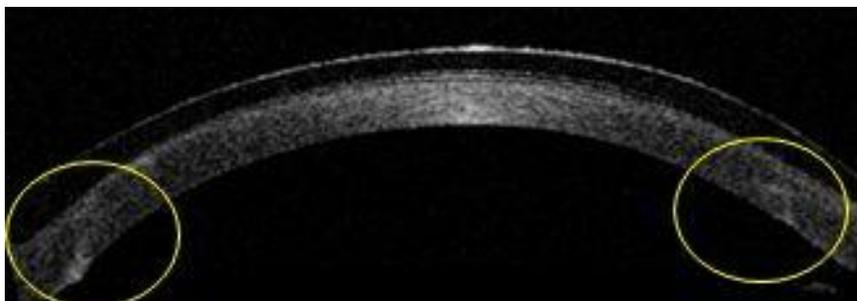
Für die Kontaktlinsenanpassung wird die Hornhautform mit bildgebenden Verfahren grossflächig, genauestens erfasst. Allerdings kann bei einer stufigen Irregularitäten im Übergangsbereich von Wirtshornhaut zur Spenderhornhaut, also im Nahtbereich, nicht immer vollständig ausgewertet werden. Die resultierenden Formen der Hornhaut können nach Keratoplastik sehr unterschiedlich sein.

Bei der Anpassung mit formstabilen Kontaktlinsen ist es erforderlich, eine Kontaktlinse mit bekannten Parametern aufzusetzen, um dann das Zentrum, die Peripherie sowie die Übergangzone zu beurteilen. Stimmt dieses Bild mit der simulierten Version beim bildgebenden Verfahren 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 7. beschriebenen Vorgehen.

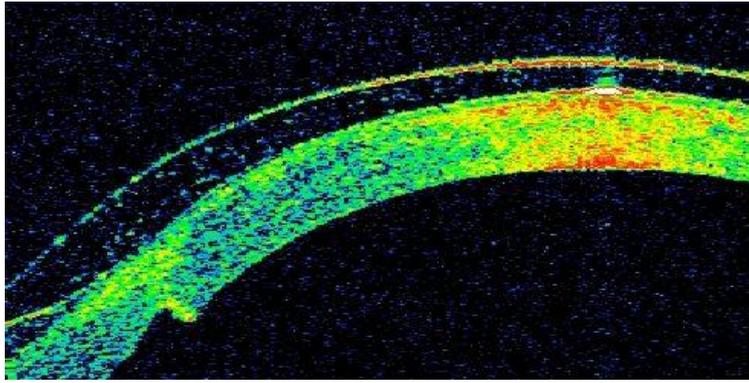
Auf gute Beweglichkeit der Kontaktlinse und somit Unterspülung mit Tränenfilm ist besonders zu achten. Kontaktlinsen zur Versorgung einer Keratoplastik sind fast immer Spezialanfertigungen und Unikate, um den besonderen Gegebenheiten gerecht zu werden.

Wegen der oftmals grossen Unregelmässigkeit und des hohen Sauerstoffbedarfs der Hornhaut, im Speziellen des Transplantats, sind weiche Kontaktlinsen meist nicht angezeigt.

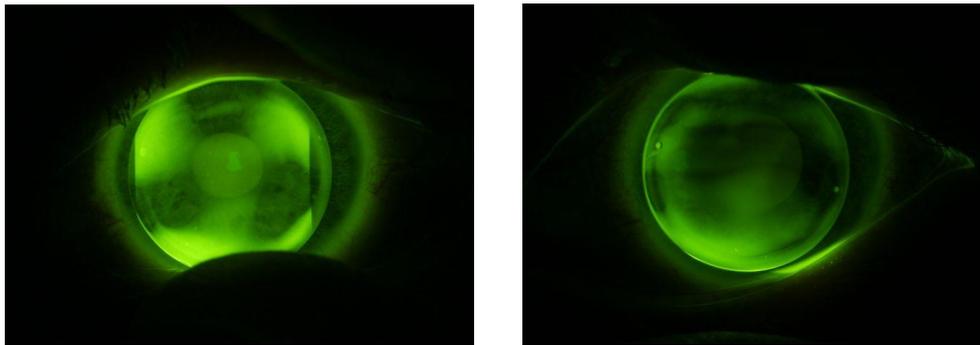
In seltenen Fällen ist eine operative Korrektur der Krümmung nötig, um eine Kontaktlinse anpassen zu können oder wenn eine absolute Kontaktlinsen-Unverträglichkeit besteht.



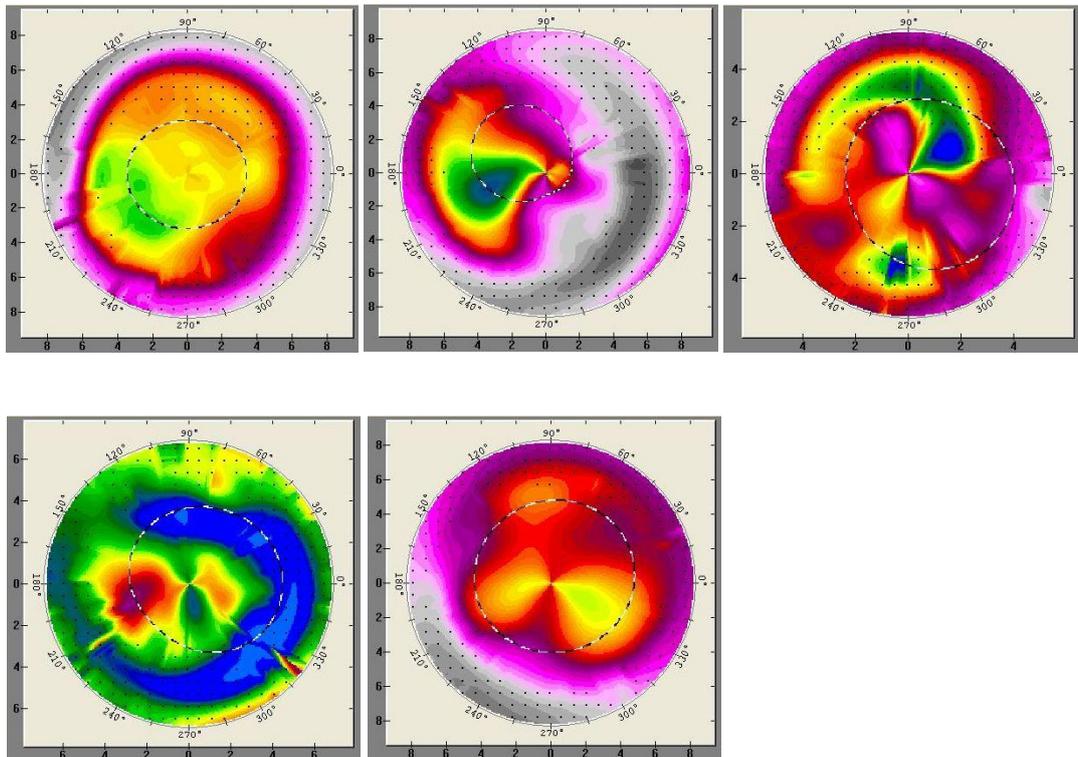
OCT - Aufnahme einer Keratoplastik mit Kontaktlinse. In den eingezeichneten Ringen ist die Operationsnarbe zwischen dem Hornhauttransplantat und der Wirtshornhaut sichtbar. (Bild: G. Pöltner)



OCT - Aufnahme einer Keratoplastik mit Kontaktlinse. Bei der Anschlussstelle von Hornhauttransplantat und Wirtshornhaut ist durch die ungleichen Dicken eine Stufe sichtbar. (Bild: G. Pöltner)



Formstabile, torische Kontaktlinsen auf PKP bei Betrachtung mit Fluoreszein. (Bilder: R. Eschmann / L. Neuweiler)



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. (Bilder R. Eschmann / L. Neuweiler)

8.3. Intracorneale Ringsegmente (ICR)

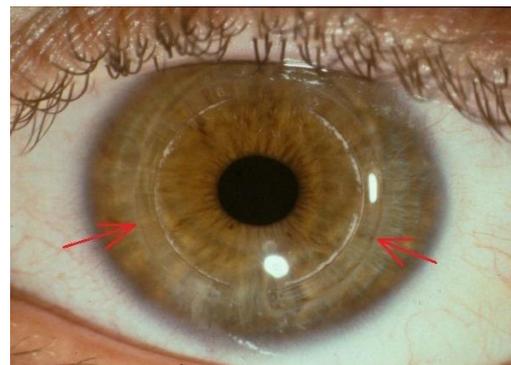
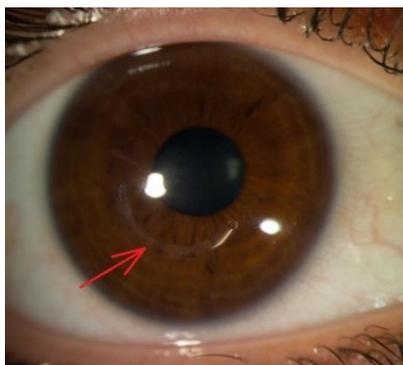
Mit der Implantation von intracornealen Ringsegmenten (s. Abschnitt 1.3.4) wird versucht, die Hornhaut abzuflachen und somit die Kurzsichtigkeit und die irreguläre Verkrümmung zu mindern. Obwohl in den meisten Fällen die Sehschärfe sowohl unkorrigiert, als auch mit Brillenkorrektur besser wird, ist nach dieser Operation in vielen Fällen eine Kontaktlinsen-Anpassung gleichwohl erforderlich. Diese wird durch nicht vereinfacht. Die Operation kann sinnvoll sein, wenn keine Kontaktlinsen mehr angepasst werden sollen und ansonsten 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 7 Jahre publiziert) sind gut: verbesserte Kontaktlinsenverträglichkeit, 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 Verträglichkeit der Kontaktlinsen kann mit dieser Operation der Zeitpunkt einer allfälligen Transplantation verschoben werden. Die ICR-Implantation wird in der Schweiz von den Krankenkassen im Fall einer Kontaktlinsenunverträglichkeit und ungenügender Brillensehschärfe übernommen.

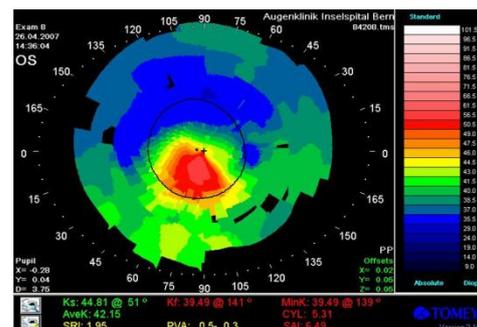
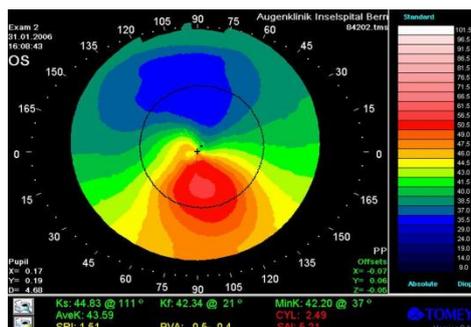
8.3.1. Kontaktlinsenversorgung nach Implantation von ICR

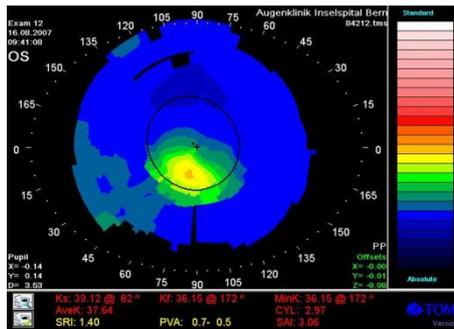
Nach dem Eingriff wird die Hornhaut in der Regel flacher und damit der Keratokonus weniger steil. Es bleibt aber auch anschliessend die Situation einer Anpassung bei Keratokonus, wie unter 4.1 und 4.2 beschrieben, bestehen. Wurde vor dem Eingriff eine Kontaktlinse getragen, muss die Anpassung sehr wahrscheinlich geändert und den neuen Gegebenheiten angepasst werden. In manchen Fällen kann eine ICR Implantation die Kontaktlinsenanpassung verkomplizieren!

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



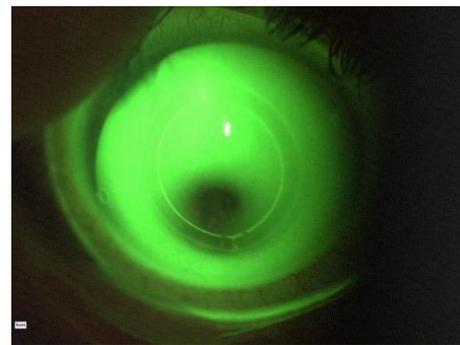
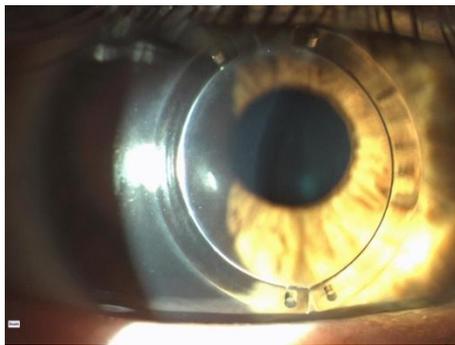
Keratoni nach Implantation von Ringsegmenten in die Hornhaut (Bilder: zvg)





Topographie einer Post-LASIK-Ektasie, vor Implantation von ICR (oben links), nach 3 Monaten (oben rechts) und nach 7 Monaten (unten links). Die Hornhaut ist wesentlich flacher und der Astigmatismus ist kleiner geworden. (Bilder B. Früh)

Bleibt zentral eine Irregularität übrig, die mit einer Brille nicht korrigiert werden kann, kann man auch über ICR-Segmente eine Kontaktlinse oder Sklerallinse anpassen. Durch die Ringsegmente bekommt der Kegel des Keratokonus in der mittleren Peripherie eine Art Ausstülpung, die die Anpassung einer Corneallinse anspruchsvoller machen kann. Die Auflage in diesem Bereich könnte zu Scheuerstellen führen. Die Überbrückung der gesamten Hornhaut ist dann das Mittel der Wahl, und diese erreicht man mit einer Sklerallinse, wie im Beispiel unten gezeigt.



Keratokonius mit ICR. Die Ringe wurden dezentriert, um die Irregularität des nach unten dezentrierten Apex besser reduzieren zu können. Der Restastigmatismus und die eigentliche Stärke werden mit einer Minisklerallinse korrigiert (Fluoreszeinbild). (Bilder: G. Pöltner)

8.4. 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 abradierte Bereich anschliessend mit UV-A-Licht beleuchtet. Das UV-A Licht aktiviert das Riboflavin, und es resultiert eine chemische Quervernetzung der Kollagenfasern in der Hornhaut, die zu einer besseren Stabilisierung und Steifigkeit der Hornhaut führt. Während der UV-A Beleuchtung wird weiterhin Riboflavin getropft. Bei einer einzelnen Behandlung kann die Hornhautstabilität um 300% gesteigert werden.

Die Operation ist geeignet, um nicht allzu fortgeschrittene Keratokonusformen, 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 Minstdicke von 400 µm aufweisen, dies wird während der Operation durch eine Hornhautdickenmessung (Pachymetrie) geprüft. Wenn die Hornhaut zu dünn ist, kann durch spezielle Augentropfen ein Quellen der Hornhaut und damit meist eine ausreichende Dicke erreicht werden bzw. mit angepassten Behandlungsprotokollen für dünne Hornhäute trotzdem operiert werden

Mit Crosslinking wird eine Stabilisierung der Befunde erreicht und keine Heilung des Keratokonus (vor allem eine stabilisierende Massnahme). Laut der bisher veröffentlichten Beobachtungsstudien wurde bei fast allen behandelten Patienten ein Progressionsstopp mit geringer Komplikationsrate dokumentiert. Nach der Therapie kann im Einzelfall eine leichte Verbesserung des Visus und/oder Abflachung der zentralen Hornhautradien beobachtet werden.

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 Kontaktlinse zu erreichen.

Diese Behandlungsmethode bei Keratokonus ist recht gut dokumentiert. Mittlerweile sind 20 Jahresdaten publiziert und weltweit viele Tausend Augen behandelt worden. Das Crosslinking ist bei älteren Patienten in der Regel nicht mehr notwendig/sinnvoll, da im Laufe der Jahre eine natürliche, altersbedingte Vernetzung der Kollagenfasern stattfindet. Bei stabilen Keratokoni ist anzunehmen, dass es zu einer natürlichen Versteifung gekommen ist. Das Crosslinking wird seit Juli 2022 in medizinisch indizierten Fällen (wenn die Progredienz des Keratokonus medizinisch nachgewiesen werden kann) ganz oder zumindest teilweise von der obligatorischen Krankenversicherung übernommen.

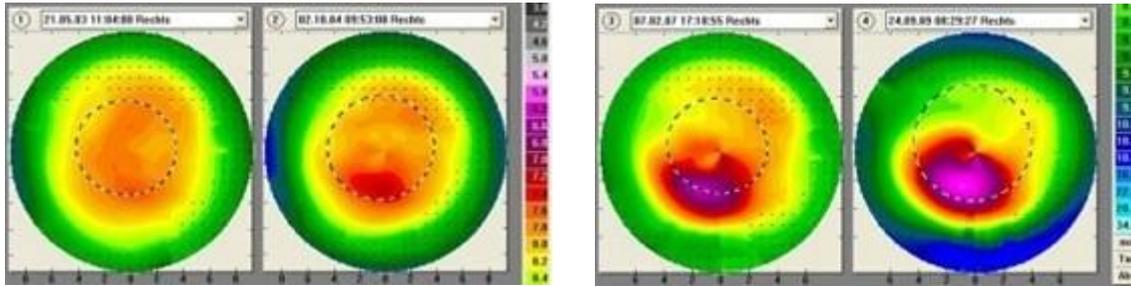
Es ist möglich, die Implantation von ICRs und Crosslinking zu kombinieren. Die Kombination Crosslinking und Behandlung mit dem Excimer Laser wird in manchen Kliniken ebenfalls bereits eingesetzt, insbesondere bei Fällen, bei denen eine Kontaktlinsenunverträglichkeit vorliegt. Ziel hierbei ist es, durch eine geschickte Kombination von Crosslinking und Excimerlaser eine möglichst maximale Reduktion des zentralen Astigmatismus zu erzielen, um die Abbildungsfehler im Zentrum der Hornhaut zu reduzieren und somit die Korrekturwerte der Brillengläser für die Patientinnen und Patienten verträglicher zu machen. Ein Beispiel ist hier die sogenannte «ELZA-PACE» Behandlung, die bereits auf Fachtagungen vorgestellt wurde und zu der eine wissenschaftliche Publikation ca. 2025 erwartet wird. Solche chirurgischen Kombinationsmethoden werden aktuell jedoch noch nicht vollumfänglich von der obligatorischen Krankenversicherung übernommen.

8.4.1. Mögliche Symptome / Komplikationen nach Crosslinking

- Schmerzen (bis das Hornhautepithel wieder geschlossen ist, meist innerhalb von wenigen Tagen)
- Rote Augen (postoperativ können die Augen in den ersten Wochen 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
- Sub-epitheliale Trübungen / Haze, bestehen bis zu 6 Monate nach der Behandlung
- Reduktion der Kontrastempfindlichkeit
- Allgemein unscharfes Sehen (das Sehen erholt sich in den ersten Wochen und Monaten nach der Operation; dann wird bei komplikationsfreiem Verlauf in aller Regel die Sehschärfe wie vor der Operation erreicht).



Sub-epitheliale Trübungen / Haze, im Spaltlicht links, in der vorderen Hornhaut liegend, erkennbar (Bild: R. Eschmann / L. Neuweiler)



Hornhauttopographie bei Progredienz eines Keratokonus. Die erste Aufnahme oben links ist vom 21.05.2003, oben rechts die zweite Aufnahme vom 02.10.2004, die Dritte unten links vom 07.02.2007, die Vierte vom 24.09.2009.

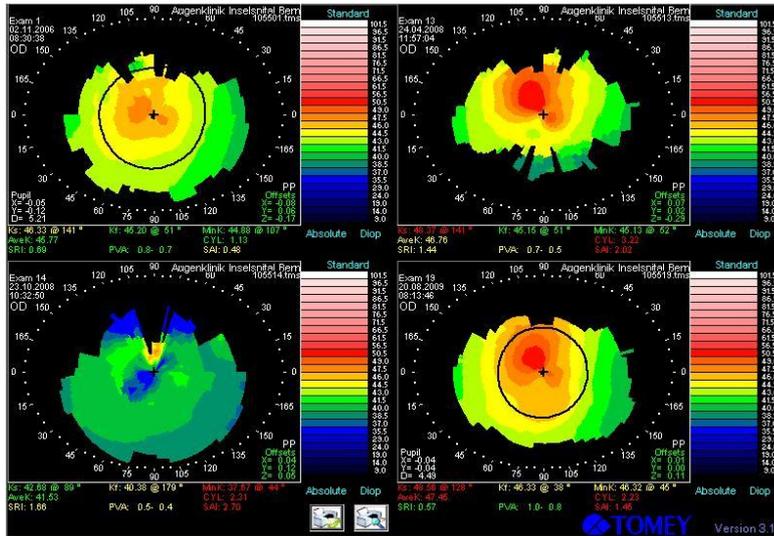
Mit Crosslinking eröffnet sich die Möglichkeit den „Status quo“ zu erhalten und ein weiteres Voranschreiten des Keratokonus zu verhindern. (Bilder R. Eschmann)

Nachfolgend die einzelnen Schritte beim Ablauf von Crosslinking

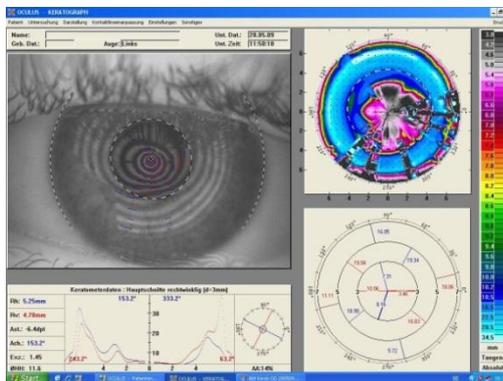
- Präparation der Auges mit Lidsperre
- Spülen mit Betadine (Antiseptika)
- Spülen mit BSS-Lösung
- Abrasion des Epithels
- Spülen mit BSS-Lösung
- Abtupfen der Flüssigkeit
- Auftropfen von Riboflavin (Vitamin B2)
- Kontrolle mit Handspaltlampe
- Bestrahlung mit UV-A
- Verbandlinsen werden nicht mehr angewendet
- Entfernen der Lidsperre
- Auftropfen von Antibiotikum

8.4.2 Kontaktlinsenversorgung nach Crosslinking

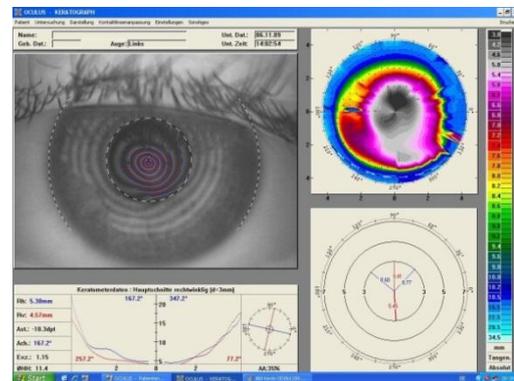
Da es sich bei Crosslinking nicht um einen therapeutischen Eingriff handelt, behält die Hornhaut nach der UV-Vernetzung die Form eines Keratokonus. Diesem Umstand muss bei der Kontaktlinsenanpassung entsprechend Rechnung getragen werden, wie unter 4.1 und 4.2 beschrieben. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass das behandelte Auge trockener sein kann und die äusserste Hornhautschicht, das Epithel, grossflächig abradiert wurde und deshalb nach minimaler Belastung verlangt. Der Zeitpunkt des Beginns einer Kontaktlinsenanpassung nach dem Eingriff ist mit dem behandelnden Ophthalmologen zu besprechen. In der Regel ist 2 Monate nach dem Crosslinking das Tragen von bereits vorhandenen Kontaktlinsen wieder möglich. Für eine Neuversorgung empfiehlt es sich, 4 Monate abzuwarten. Die Kontrollen der Kontaktlinsen auf Sitz und Funktion sind in der ersten Zeit relativ engmaschig, da es noch zu Veränderungen der Hornhauttopographie und damit den Anforderungen an den Linsensitz kommen kann. In einzelnen Fällen sind mehrere Anpassungen der KL-Geometrie innerhalb eines Jahres erforderlich.



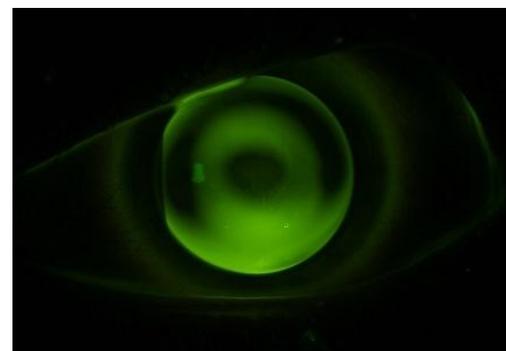
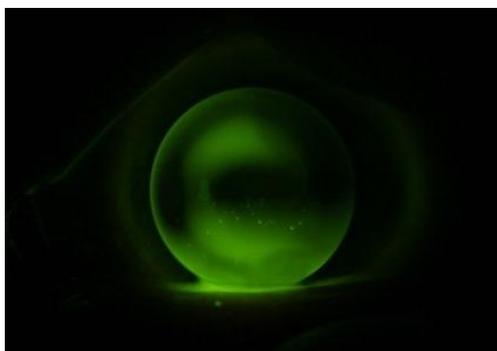
Die Hornhauttopographie vor Crosslinking (obere 2 Bilder) zeigt eine deutliche Progression der Erkrankung, die Hornhaut ist steiler und stärker astigmatisch geworden. Einen Monat nach Crosslinking (unten links) ist die Hornhaut noch unregelmässig. Ein Jahr nach Crosslinking (unten rechts) ist die Topographie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



Hornhauttopographie 2 Monate nach Crosslinking



Gleiches Auge 7 Monate nach Crosslinking



KL Sitz der Neuanpassung nach Crosslinking dieses Auges bei Betrachtung mit Fluoreszein. (Bilder: R. Eschmann / L. Neuweiler)

Sitz derselben KL nach 7 Monaten

9. Kontraindikationen

9.1. Orthokeratologie („Nachtlinen“)

Die Ortho-K Kontaktlinsen werden über Nacht getragen und am Morgen abgesetzt. Sie dienen zur Korrektur von moderaten Astigmatismen (bis ca. -1.50 dpt) und Kurzsichtigkeiten von bis zu -5.00 dpt. Es handelt sich dabei um eine nicht invasive, reversible Veränderung der Hornhautform 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.

9.2. Refraktive Chirurgie

Heute stehen viele verschiedene Methoden zur Behebung der unterschiedlichen Fehlsichtigkeiten zur Verfügung. Diese Methoden gelten, mit Ausnahme des Implantierens von intracornealen Ringsegmenten (Erläuterung siehe S. 10), nach dem heutigen Wissensstand alle als nur sehr bedingt tauglich für die Anwendung bei Erkrankungen der Hornhaut. Somit besteht bei Vorliegen eines Keratokonus in aller Regel eine Kontraindikation.

Gelegentlich wird das Crosslinking mit einer individuell gesteuerten LASER Ablation zur Reduktion des irregulären Astigmatismus kombiniert.

10. Was bringt den Betroffenen die Zukunft, sind Prognosen möglich?

Generell ist davon auszugehen, dass der Keratokonus per se nicht zur Erblindung führt. In einigen, sehr seltenen Fällen kann eine stark ausgeprägte Progredienz des Keratokonus zu Schädigungen des Hornhautgewebes (Hydrops) führen. Die dadurch entstehenden Trübungen können Sehschärfe und -komfort vorübergehend stark beeinträchtigen. Zur Wiederherstellung der vollen Sehschärfe kann eine chirurgische Massnahme in Form einer Keratoplastik erforderlich sein. Der vermehrte Einsatz des Crosslinking lässt jedoch erwarten, dass diese ausgeprägten Spätformen und damit die Hornhauttransplantationen, seltener werden.

Je nach Ausbildung des Keratokonus ist für eine optimale Sehschärfe und maximalen Sehkomfort das Tragen von Kontaktlinsen 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 Kontaktlinsen oder einer Unverträglichkeit der Kontaktlinsen eine chirurgische Massnahme notwendig machen.

11. 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 Kontaktlinsen mit teilweise überlangen täglichen Tragezeiten angewiesen.

11.1. Auf was ist besonders zu achten?

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

11.2. Tipps für erfolgreiches Tragen der Kontaktlinsen

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).

11.2.1. Kosmetika und Kontaktlinsen

Zum Waschen der Hände sollten keine rückfettenden oder parfümierten Seifen verwendet werden. Haut- und Sonnencremes können die Kontaktlinsen verschmieren oder verfärben. Deshalb ist Vorsicht geboten, nicht zu nahe am Auge auftragen und idealerweise spezielle Sonnenprodukte für die Augenpartie verwenden. Bei der Verwendung von Haar- oder anderen Spraysorten entweder die Augen schliessen oder die Kontaktlinsen erst nach dem Sprayen aufsetzen.

11.2.2. Kontaktlinsen und Augenentzündungen

Kontaktlinsen müssen unverzüglich entfernt werden, wenn das Auge gerötet / entzündet ist. Falls spätestens 24 Stunden nach dem Absetzen der Kontaktlinsen keine Besserung eingetreten ist, bzw. bei ausgeprägter Symptomatik sofort, muss ein Augenarzt kontaktiert werden.

11.2.3. Staub/Pollen und Kontaktlinsen

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

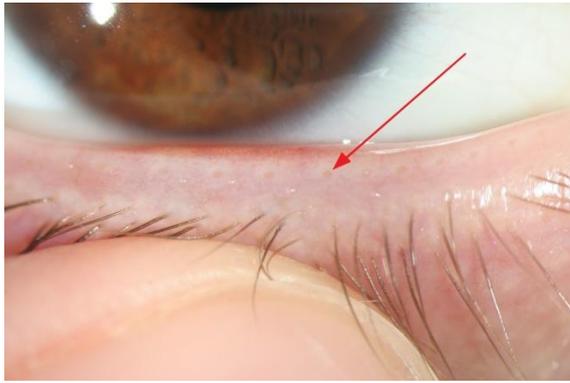
11.2.4. Trockenheit und Kontaktlinsen

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

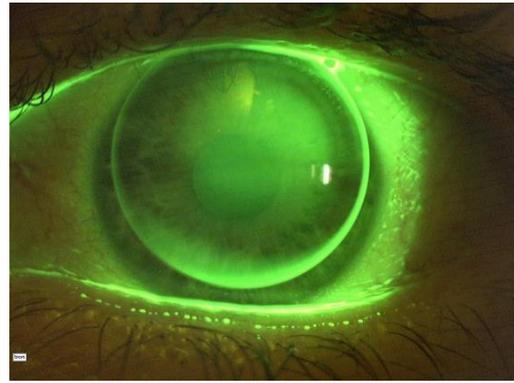
Um das Auge benetzt zu halten bieten Liposomensprays Längere Wirksamkeit. Diese werden nicht auf das offene Auge, sondern auf die geschlossenen Lider gesprüht. Durch die Kapillarwirkung werden die Liposomen über einen längeren Zeitraum in die Lidspalte gesaugt und bilden dort einen Schutzschild gegen die Verdunstung.

Um diesen Effekt zu verstärken, können morgens die Lider mit warmen Kompressen massiert werden. Die Oberlider von oben nach unten und die Unterlider von unten nach oben massieren.

Ein häufiger Grund für Trockenheits-Empfinden ist die Meibom-Drüsen-Dysfunktion (MDD oder englisch MGD – meibomian gland dysfunction). Die dort produzierten Lipide, werden als kleine Tröpfchen aus den Drüsenausführgängen in der oberen und unteren Lidkante abgesondert. Sie bilden die oberste Schicht des Tränenfilmes, die die Verdunstung verhindern soll. Nachbenetzungstropfen sind zwar im ersten Moment angenehm, ihre Wirksamkeit ist aber nur von kurzer Dauer. Liposomensprays und die Massage mit warmen Kompressen können eine nachhaltigere Verbesserung bringen. Die fundierte Behandlung des trockenen Auges gehört in die Obhut des Augenarztes.



*Gut sichtbar sind die Ausgänge der Meibom-Drüsen auf der Lidkante, einer ist mit dem Pfeil markiert.
(Bild R. Eschmann / L. Neuweiler)*



Im fluoreszierenden Licht sind die einzelnen öligen Sekret-Tröpfchen am Drüsenausgang der Meibom Drüsen gut sichtbar. (Bild.: G. Pöltner)

11.2.5. UV-Schutz und Kontaktlinsen

Die meisten, neuartigen Kontaktlinsen-Materialien haben einen UV-Filter 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.

Es wurde auch ein hochgasdurchlässiges Material (Boston XO) entwickelt, das wahlweise mit oder ohne UV-Schutz bestellt werden kann.

11.2.6. Bildschirm und Kontaktlinsen

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.

11.2.7. Keratokonus und Altersweitsichtigkeit

Wie bei allen formstabilen Kontaktlinsen, zu denen auch die Keratokonuslinsen gehören, gelten dieselben Regeln für die Machbarkeit von bifokalen und multifokalen Kontaktlinsen. Bei spontan abwärtsbewegenden Kontaktlinsen kann man bifokale Systeme einsetzen. Bei mehr zentrisch sitzenden Keratokonuslinsen kann ein konzentrisch-multifokales System versucht werden. Bei oblongen Geometrien, die für die Versorgung nach Keratoplastik Verwendung finden können, werden keine multifokalen Flächen angeboten, da die Form der Rückfläche die Wirkung der Vorderfläche aufhebt. Sollte das multifokale System nicht wunschgemäß funktionieren oder nicht gewünscht sein, kann ein Monovision-System versucht werden, d.h. das führende Auge wird auf die Ferne, das andere auf die Nähe eingestellt. Eine weitere Möglichkeit bietet eine zusätzliche Lesebrille zu den für die Ferne angepassten Kontaktlinsen.

11.2.8. 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 Kontaktlinsen eingeschränkt wird.

Achten Sie darauf, dass genügend Kontaktlinsen-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.

Kontaktlinsen dürfen niemals mit Wasser abgespült werden, da im Leitungswasser sowie stehendem Wasser mikrobielle Verunreinigungen vorhanden sind, die schwere Hornhautinfektionen hervorrufen können!

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

Autoren

Leo Neuweiler, M.Sc.Optom.

Nina Müller, Dr. of Optometry

Timo Bernhard, B.Sc. Europtom.

Weitere Autoren der Versionen 2003 / 2010 / 2016

Christoph Tappeiner, Prof. Dr. med.

Gustav Pöltner, Dipl.-Ing. (FH), Lect.

Beatrice Früh, Prof. Dr. med.

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

Christoph und Tobias Ecke

Daniela Roth

Birgit Kreuter-Ederer

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

Karin Spohn

Frank Widmer

12. Hinweise für weitere Literatur

12.1. Fachbücher

- 12.1.1 Klinisches Wörterbuch; Pschyrembel, de Gruyter Verlag, ISBN 3-11-014183-3
- 12.1.2 Cornea; Nathan Efron, Butterworth Heinemann, ISBN 0 7506 4798 1
- 12.1.3 Primary Care of the Anterior Segment; Louis J. Catania, Appleton & Lange, ISBN 0 8385 7911 6
- 12.1.4 Cornea Color Atlas; Krachmer Palay; Mosby, ISBN ?
- 12.1.5 Diagnosis, Contact Lens Prescribing, and Care of the Keratoconus Patient; Karla Zadnik & Joseph T. Barr, Butterworth Heinemann, ISBN 0 7506 9676 1
- 12.1.6 Refraktive Chirurgie der Hornhaut; Theo Seiler, Enke Verlag, ISBN 3-13-118071-4
- 12.1.7 Dictionary of visual Science; David Cline, Chilton Trade Book Publishing, Fourth Edition, ISBN 0-8019-7862-9
- 12.1.8 Primary Care of the Anterior Segment; Louis J. Catania, Appleton & Lange, ISBN 0-8385-7911-6
- 12.1.9 Anterior Segment Complications of Contact Lens Wear; Joel A. Silbert, Butterworth Heinemann, ISBN 0-7506-7116-5
- 12.1.10 Contact Lenses; Anthony J. Phillips & Janet Stone, Butterworths, ISBN 0-407-93275-5
- 12.1.11 The Eye in Contact Lens Wear; John Larke, Butterworth, ISBN 0-407-00220
- 12.1.12 Clinical Eye Atlas; Daniel H. Gold & Richard Alan Lewis, AMApress, ISBN 1-57947-192-7
- 12.1.13 Contact Lenses: Treatment Options for Ocular Disease; Michael G. Harris, Mosby, ISBN 0-8151-4645-0
- 12.1.14 Complications of Contact Lens Wear; Alan Tomlinson, Mosby, ISBN 0-8016-6309-1
- 12.1.15 Clinical Manual of Contact Lenses; Edward S. Bennett & Vinita Allee Henry, J.B. Lippincott Company, ISBN 0-397-51139-6
- 12.1.16 Contact Lenses in Ophthalmology; Michael S. Wilson & Elisabeth A.W. Millis, Butterworths, ISBN 0-407-01440-3
- 12.1.17 Klassifikation von Spaltlampenbefunden; Wolfgang Sickenberger, Fachinformation CIBA Vision, ISBN ?
- 12.1.18 Contact Lenses; Ken Daniels, Slack, ISBN 1-55643-345-4
- 12.1.19 Kontaktlinsen Hygiene; Andreas Berke & Sandor Blümle, Verlag Bode ISBN 3-9800378-5-1
- 12.1.20 Cornea Color Atlas; J.H. Krachmer, D.A. Palay, Mosby Verlag, ISBN 0-8151-5147-0
- 12.1.21 Kontaktlinsen Know-how; Andrea Müller- Treiber, Verlag Deutsche Optikerzeitung DOZ (2009); ISBN 978-3-922269-92-2
- 12.1.22 Kontaktlinsenanpassung bei irregulären Hornhautformen; Gustav Pöltner, Verlage Deutsche Optikerzeitung (2013); ISBN 978-3-942873-15-4

12.2 Elektronische Medien, Links für Fachliteratur

- 12.2.1 <http://www.djo.harvard.edu/site.php?url=/patients/pi/425> - Keratoconus
- 12.2.2. <https://nei.nih.gov/health/cornealdisease/> - Facts About the Cornea and Corneal Disease
- 12.2.3. <http://medicine.medscape.com/article/1194693-overview> - Keratoconus
- 12.2.4. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17481941> - CLEK Study
- 12.2.5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23842872> - Detection of early form of keratoconus - current screening methods
- 12.2.6. http://journals.lww.com/corneairnl/Citation/publishahead/Global_Consensus_on_Keratoco-nus_Diagnosis_.97836.aspx - Global Consensus on Keratoconus Diagnosis

12.3. Elektronische Medien, Links für Kommunikation mit Betroffenen

Die Eingabe des Begriffs „Keratokonus“ oder „Keratoconus“ in einen Internet-Suchdienst liefert eine Vielzahl von Ergebnissen. Einige sind nachstehend aufgeführt:

- 12.3.1. keratokonus.de; Alias: keratokonus.ch; Alias: keralens.de
- 12.3.2. de.wikipedia.org/wiki/Keratokonus
- 12.3.4. keratokonus-kontaktlinsen.ch
- 12.3.5. nkcf.org/
- 12.3.6. keratoconus.asn.au/questions.html
- 12.3.7. lowvision.org/keratoconus.htm
- 12.3.8. aoa.org/patients-and-public/eye-and-vision-problems/glossary-of-eye-and-vision-conditions/keratoconus?sso=y
- 12.3.9. forum.keratokonus.de/
- 12.3.10. patienten.ch/keratokonus.html
- 12.3.11. keratoconus-group.org.uk/

13. Verwendete Literatur

- 13.1. Berke A.: Färber R.: Refraktionsbestimmung, Teil 1 Optische und physiologische Grundlagen; Verlag WVAO (2001), ISBN 3-935647-09-3
- 13.2. Ecke C.: Kontaktlinsen-Anpassung nach Behandlung des Keratokonus durch Kollagenvernetzung; Die Kontaktlinse, (12/2009)
- 13.3. 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
- 13.4. Eschmann R., Roth-Muff D.: Der Keratokonus im subklinischen Stadium; NOJ, (2/1994)
- 13.5. Eschmann R., Roth-Muff D.: Videokeratoskopie in Fällen von Keratokonus; Die Kontaktlinse, (3/1993)
- 13.6. Eschmann R., Flammer J.: Die retinale Sehschärfe bei Keratokonuspatienten; Kli. Mbl. Augenheilkunde, (1986)
- 13.7. Goersch H.: Wörterbuch der Optometrie; Enke Verlage (1996), ISBN 3-432-27301-0
- 13.8. Hoyer A., Raiskup-Wolf F., Spörl E., Pillunat L.E.: Kollagenvernetzung mit Riboflavin und UV-Licht bei Keratokonus – Dresdner Ergebnisse; Ophthalmologie 2008; Springer Medizin Verlag (2008)
- 13.9. Kenny MC, Brown DJ, Rajeev B.: The elusive causes of keratoconus, a working hypothesis; CLAO Journal (2000) 26: 10-13
- 13.10. Klaproth O., Kohnen T.: Aktueller Stand der chirurgischen Keratokonustherapie; DOZ (09/2009)
- 13.11. Muckenhirn D.: Die Anpassung von asphärischen Kontaktlinsen bei Keratokonus unter Berücksichtigung der geometrisch-optischen Verhältnisse der Hornhaut; NOJ (5/1984)
- 13.12. Müller- Treiber A.: Kontaktlinsen Know-how; Kapitel 15: Kontaktlinsenanpassung bei ektatischen Veränderungen der Cornea, Verlag Deutsche Optikerzeitung (2009); ISBN 978-3-922269-92-2
- 13.13. Pöltner G.: Kontaktlinsen-Anpassung bei Keratokonus; NOJ, (5/1999 bis 7-8/2000)
- 13.14. Pöltner G.: Kontaktlinsen-Anpassung bei Keratokonus; Sonderdruck die Kontaktlinse (2002)
- 13.15. Pöltner G.: Kontaktlinsen-Anpassung bei irregulären Hornhautformen; DOZ-Verlag Heidelberg (2013); ISBN 978-3-942873-15-4
- 13.16. Pugell J.: Biomedizinische Grundlagen zum Keratokonus; DOZ (2002)
- 13.17. Sickenberger W.: Klassifikation von Spaltlampenbefunden; CibaVision Vertriebs GmbH, (2001)
- 13.18. Spohn K.: Kontaktlinsen Know-how; Kapitel 16: Kontaktlinsenanpassung nach chirurgischen Eingriffen der Cornea; Verlag Deutsche Optikerzeitung (2009); ISBN 978-3-922269-92-2

- 13.19. VDCCO: Kontaktlinsen bei Keratokonus; Informationsschrift
- 13.20. Wahrendorf I.: Leben mit Keratokonus. Die Kontaktlinse 2005;(11):10-19.
- 13.21. Zadnik K., Barr J.T.: Diagnosis, Contact Lens Prescribing, and Care of the Keratoconus Patient; Butterworth-Heinemann (1999), ISBN 0-7506-9676-1
- 13.22. Neuweiler L., Eschmann R.: Pentacam Interpretation von erfassten Daten; Informationsveranstaltung Abteilung Orthoptik, Universitätsklinik für Augenheilkunde Bern 2013
- 13.23. Santodomingo-Rubido J, Carracedo G, Suzaki A, Villa-Collar C, Vincent SJ, Wolffsohn JS. Keratoconus: An updated review. Cont Lens Anterior Eye. 2022 Jun;45(3):101559. doi: 10.1016/j.clae.2021.101559. Epub 2022 Jan 4. PMID: 34991971.
- 13.24. <https://www.elza-institute.com/de-ch/keratokonus/pace-customized-cross-linking-cxl/>
- 13.25. Bykhovskaya Y, Rabinowitz YS. Update on the genetics of keratoconus. Exp Eye Res. 2021 Jan;202:108398. doi: 10.1016/j.exer.2020.108398. Epub 2020 Dec 13. PMID: 33316263.
- 13.26. Ferrini E, Posarelli C, Figus M, Lisi D, Gabbriellini G. A pilot study on Langerhans cells in keratoconus patients by in vivo confocal microscopy before and after corneal cross-linking and correlation with eye rubbing. Cont Lens Anterior Eye. 2024 Oct;47(5):102170. doi: 10.1016/j.clae.2024.102170. Epub 2024 Apr 26. PMID: 38677927.

Teile dieser Informationsschrift wurden mit Zustimmung der Autoren folgenden Büchern entnommen:

"Kontaktlinsen Know-how": Andrea Müller-Treiber, Verlag Deutsche Optikerzeitung DOZ (2009), ISBN 978-3-922269-92-2.

„Kontaktlinsenanpassung bei irregulären Hornhautformen“: Gustav Pöltner, Verlag Deutsche Optikerzeitung DOZ (2013), ISBN 978-3-942873-15-4.