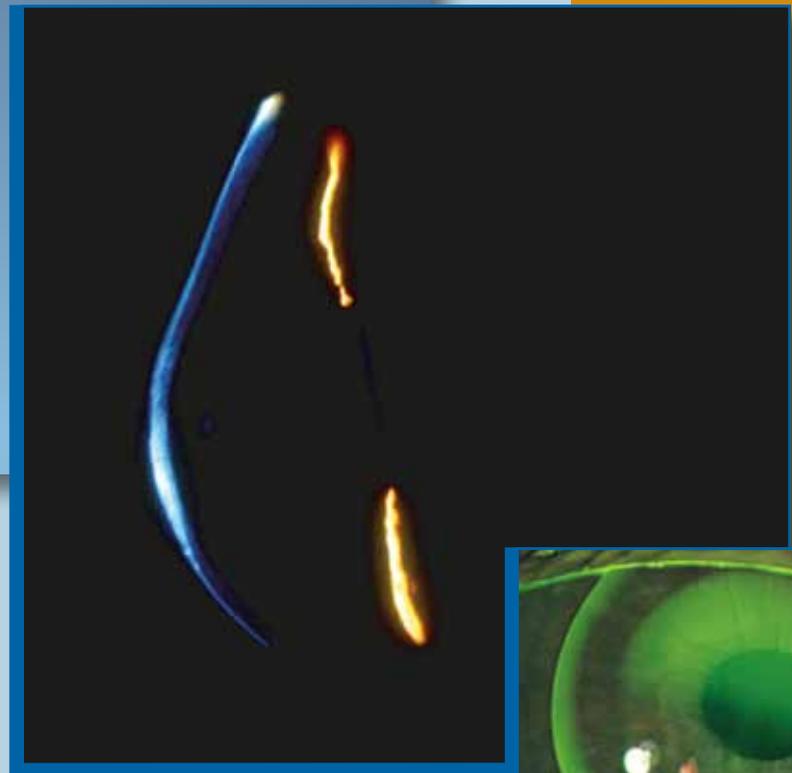
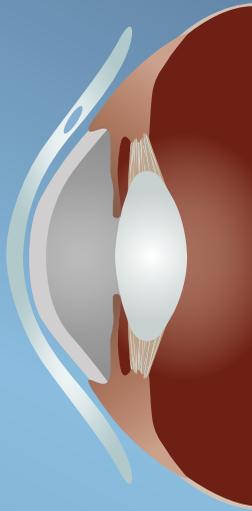


# Die Korrektion des Keratokonus mit formstabilen Kontaktlinsen



**Centre for Contact Lens Research**  
**School of Optometry**  
**University of Waterloo, Canada**

# Einleitung

## Über dieses Buch

Mit Hilfe formstabiler Kontaktlinsen (RGP) kann der Keratokonus sicher und effizient versorgt werden. Durch den Einsatz von Hornhauttopographen oder OCT-Geräten ist die Klassifizierung der verschiedenen Keratokonustypen einfach. Die Anwendung dieser Hilfsmittel erleichtert die Anpassung der Keratokonusform entsprechenden Kontaktlinsengeometrien. Dank der Fortschritte in der Fertigungstechnologie von Kontaktlinsen stehen dem Anpasser eine sehr grosse Auswahl an Kontaktlinsen zur Verfügung.

Dieses Buch möchte dem Praktiker bei der Auswahl der geeigneten Kontaktlinse unter der Anwendung verschiedener Geometrien und neuen Verfahren der Oberflächenmessung der Hornhaut helfen, in dem die Bedürfnisse des Patienten exakt ermittelt werden. Wir möchten Ihnen aufzeigen, wie einfach die Anpassung beim Keratokonus sein kann.

## Center for Contact Lens Research

Das Center for Contact Lens Research (CCLR) der School for Optometry in Waterloo, Canada wurde 1998 gegründet und konzentriert sich hauptsächlich auf die Auswirkungen des Kontaktlinsentragens am Auge.

Klinische Studien und Grundlagenforschung am CCLR sind grösstenteils das Ergebnis von enger Zusammenarbeit mit der Kontaktlinsenindustrie bzw. Zulieferer-Industrie. Viele der Aktivitäten des CCLR zielen auf die Unterstützung und Schulung von Kontaktlinsenanpassern. Zusätzliche Informationen über die Arbeit des Instituts erhalten Sie unter: <http://cclr.uwaterloo.ca>

# Danksagungen

## REDAKTIONSLEITUNG

Desmond Fonn, MOptom, FAAO  
Director, Centre for Contact Lens Research  
Professor, School of Optometry  
University of Waterloo

## PROJEKTLEITUNG

Bonnie Boshart, BBA  
Business Development Coordinator  
Centre for Contact Lens Research

## AUTOREN

Luigina Sorbara, OD, MSc, FAAO  
Clinical Scientist, Centre for Contact Lens Research  
Associate Professor, School of Optometry  
University of Waterloo

## REDAKTEURE

Craig Woods, PhD, FAAO  
Research Manager, Centre for Contact Lens Research  
Adjunct Associate Professor, School of Optometry  
University of Waterloo

Alisa Sivak, MA  
Communications Coordinator  
Centre for Contact Lens Research

## MITARBEITER

Katrin Müller  
Aalen diploma student, School of Optometry  
University of Waterloo

Kristine Dalton  
Contact Lens Resident and MSc student  
School of Optometry, University of Waterloo

Jalaiah Varikooty  
Clinical Scientist, Centre for Contact Lens Research  
University of Waterloo

Jyotsna Maram  
PhD student, School of Optometry  
University of Waterloo

Adam Keech  
MSc student, School of Optometry  
University of Waterloo

Wir danken der International Association of Contact Lens Educators (IACLE) für die Bereitstellung der Bilder von Dr. David Miller (Abb 1.11 und 65) und Hilmar Bussacker (Abb. 29).

## REZENSENTEN

Hans Bleshøy, BSc, PhD, MCOptom, FAAO  
Danish Contact Lens Consultants  
Skive, Denmark

Timothy B. Edrington, OD, MS  
Professor, Southern California College of Optometry  
Fullerton, CA, USA

Sergi Herrero  
Diploma in Optics and Optometry  
Barcelona, Spain

Craig W. Norman, FCLSA  
South Bend Clinic  
South Bend, Indiana, USA

Philippe Seira, Dipl. Augenoptiker  
Lecturer at the University of Applied Sciences  
Northwestern Switzerland  
Olten, Switzerland

José L. Garrido Tundidor  
Master of Optometry and Vision Sciences  
Diploma in Optics and Optometry  
Barcelona, Spain

Richard Wu BSc, OD, PhD, FIOS, FIACLE  
Taipei Professional Optometry Center  
Taiwan

Osbert Chan, PhD  
Hong Kong

## ÜBERSETZUNG

Karin Spohn, Dipl. Ing. (FH) Augenoptik  
c/o Medilens AG  
St. Gallen, Schweiz

## GESTALTUNG

Christina Englund  
Senior Graphic Designer  
Boston Products Group  
Bausch & Lomb Incorporated

# Inhalt

<b>1. Einführung in den Keratoconus</b> .....	1
Epidemiologie des Keratokonius .....	1
Assoziierte Syndrome .....	1
Korrektionsmethoden des Keratokonius .....	1
Kontaktlinsen .....	1
Brillen .....	2
<b>2. Klassifizierung des Keratokonius</b> .....	3
Hornhauttopometrie .....	3
Typen des Keratokonius .....	4
Fortschreiten der Erkrankung (Hornhautdicke) .....	4
<b>3. Diagnose und Symptome</b> .....	6
Anamnese und Symptome .....	6
Spaltlampenmikroskopie .....	6
Ophthalmoskopie und Skiaskopie .....	7
Topometrie, Keratometrie und Pachymetrie .....	7
Refraktion und Sehschärfe .....	8
Differentialdiagnose .....	8
<b>4. Versorgungsoptionen mit Kontaktlinsen</b> .....	9
Gasdurchlässige Kornealkontaktlinsen .....	9
Gasdurchlässige Korneosklera- und Semiskleralkontaktlinsen .....	10
Gasdurchlässige Miniskleral- und Sleralkontaktlinsen .....	11
Huckepack Systeme .....	11
Hydrogele Kontaktlinsen .....	12
<b>5. Kontaktlinsen-Geometrien</b> .....	13
Kornealkontaktlinsen .....	13
Rotationssymmetrische, mehrkurvige Kontaktlinsen .....	13
Sphärische Basiskurve und sphärische Peripherie .....	13
Sphärisches Zentrum und asphärische Peripherie .....	14
Asphärische Kontaktlinsen .....	14
Semi- und Miniskleralkontaktlinsen .....	14
Huckepack-Kontaktlinsen .....	14
<b>6. Kontaktlinsenanpassung</b> .....	15
Auswahl der richtigen Kontaktlinsengeometrie .....	15
Allgemeine Hinweise .....	15
Auswahl des zentralen Rückflächenradius $r_0$ .....	15
Kontaktlinsenstärke .....	17

Vorgehen in der Anpassung: Die Wahl der richtigen IOZ und des Gesamtdurchmessers . . . . .	17
Die Anpassung von Kontaktlinsen mit kleinem Gesamtdurchmesser (8,5 bis 9,3 mm) . . . . .	18
Die Anpassung von Kontaktlinsen mit mittlerem Gesamtdurchmesser (9,4 bis 9,9 mm) . . . . .	18
Die Anpassung von Kontaktlinsen mit grossem Gesamtdurchmesser (10,0 bis 12,8 mm) und Korneosklerallinsen (12,9 bis 13,5 mm) . . . .	19
Die Anpassung von Semisklerallinsen (Dt 13,6 bis 14,9 mm) oder Minisklerallinsen (Dt 15,0 bis 18,0 mm) . . . . .	20
Kontaktlinsengeometrie der Peripherie . . . . .	22
Bestimmung der axialen Randabflachung (AEL) . . . . .	22
Torische oder asymmetrische Peripherie . . . . .	23
Sitzbeurteilung . . . . .	24
Fluoreszeinbild. . . . .	24
Dreipunktauflage (Auflageverteilung). . . . .	24
Apikale Touchierung . . . . .	24
Apikale Überbrückung . . . . .	24
Idealer axialer Randabstand . . . . .	25
Minimales Randprofil . . . . .	25
Exzessives Abstehen des Randbereichs . . . . .	25
Zentrierung und Bewegung . . . . .	26
Überrefraktion . . . . .	26
Fluoreszeinbildsimulation durch den Topographen . . . . .	26
<b>7. Nachkontrollen . . . . .</b>	<b>27</b>
Nachkontrollen . . . . .	27
Komplikationen, die einen Kontaktlinsenwechsel bedingen . . . . .	28
Wechsel im KL-Design . . . . .	29
Änderung des Rückflächenradius . . . . .	29
Änderung der IOZ . . . . .	29
Änderung Dt . . . . .	29
Modifikation der axialen Randabflachung . . . . .	29
Sektorielle Modifikation der axialen Randabflachung . . . . .	30
Modifikation der Mittendicke . . . . .	30
Modifikation der Kontaktlinsenstärke . . . . .	30
Neuanpassungen mit geänderten Konaktlinsendesign . . . . .	30
Wechsel von sphärischer zu asphärischer IOZ . . . . .	30
Wechsel von sphärischer zu asphärischer Peripherie . . . . .	30
Wechsel von fixer zu variabler IOZ . . . . .	31
Wechsel von Korneallinsen zu Semisklerallinsen . . . . .	31
<b>8. Komplikationen . . . . .</b>	<b>32</b>
Korneale Stippen . . . . .	32
Pflagemittelinduzierte toxische Stippen . . . . .	32
3-9° Stippen . . . . .	32

Flächige oder linienförmig Stippen aufgrund einer Erosio oder Fremdkörper . . . . .	32
Apikale Stippen . . . . .	33
Dimple veiling (Eindrücke durch Luftblasen unter der Kontaktlinse). . . . .	33
Sehschärfe. . . . .	33
Dezentration. . . . .	34
Abdrücke auf der Kornea. . . . .	34
<b>9. Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>Anhang A: Aetiologie und Genetik . . . . .</b>	<b>40</b>
<b>Anhang B: Operative Therapie des Keratokonus . . . . .</b>	<b>42</b>
Perforierende Keratoplastik (PKP) . . . . .	42
Lamelläre Keratoplastik . . . . .	42
Tiefe lamelläre Keratoplastik (DALK) . . . . .	42
Lamelläre Keratoplastik unterschiedlicher Dicke . . . . .	42
Intralamelläre Keratoplastik . . . . .	42
INTACS®. . . . .	42
Kollagenvernetzung. . . . .	43
<b>Anhang C: Diagnose des Keratokonus unter Verwendung des Orbscan II . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>Anhang D: Die Anpassung von Semi- und Minisklerallinsen . . . . .</b>	<b>45</b>
Bestimmung der Sagittaltiefe . . . . .	45
Anpassung der Peripherie. . . . .	45
Sklerale Auflagezone. . . . .	46
<b>Anhang E: Anpassfälle . . . . .</b>	<b>47</b>
Anpassfall: zentraler Konus mit kleiner Ektasie (frühes Stadium) . . . . .	47
Anpassfall: ovaler Keratokonus, fortgeschrittenes Stadium. . . . .	51
<b>Anhang F: Umrechnungstabelle Radien in dpt . . . . .</b>	<b>55</b>
<b>Anhang G: Umrechnungstabelle: Visusstufen . . . . .</b>	<b>56</b>

# 1. Einführung in den Keratokonus

## Epidemiologie des Keratokonus

Der Keratokonus ist eine progrediente, nicht entzündliche Ektasie der Hornhaut (Abb. 1). In 96% der Fälle tritt er bilateral auf und entwickelt sich asymmetrisch. Typischerweise entwickelt sich der Keratokonus 5 Jahre nach der Erstdiagnose im ersten, sichtbar auch im zweiten Auge. Die Ursache der Erkrankung ist vielfältig. Meist tritt er während der Pubertät oder in der 2. oder 3. Lebensdekade auf und erfährt in den nächsten 10–15 Jahren eine Progression bis hin zur 4. oder 5. Lebensdekade.

Nach dem Entstehen des Keratokonus folgt meist eine Periode relativer Stabilität oder einer sehr langsamen Progression, die jedoch von Phasen schnellerer Progression unterbrochen sein kann. Die Schwere der Erkrankung bis zum Zeitpunkt der Stabilisierung kann von milden, irregulären Astigmatismen, die mit einer Brille oder Kontaktlinsen korrigiert werden können, bis hin zur signifikanten Verdünnung der Hornhaut, Protrusion und Vernarbungen, die eine chirurgische Behandlung des Keratokonus erfordern, variieren. Im Anfangsstadium sind meist sphärische Refraktionsfehler oder reguläre Astigmatismen beobachtbar. Die Progression ist durch die Vorwölbung des Apex mit einhergehender zentraler Stromaverdünnung, Versteilung der zentralen Hornhautradialen und vermehrter Narbenbildung im Bereich des Apex charakterisiert. Mit der Dezentration des Apex – meist nach unten – sind höhere irreguläre Astigmatismen, die die Sehschärfe beeinträchtigen, beobachtbar.

Die Inzidenz des Keratokonus variiert von 50 zu 230 Fällen pro 100.000, näherungsweise 1/2000. Die Prävalenz des Keratokonus schwankt von hoch (0,6%) zu niedrig (0,05%), je nach Bevölkerung. Anhang A gibt eine Übersicht über die Aetiologie und die genetischen Faktoren des Keratokonus.

## Assoziierte Syndrome

Meist tritt der Keratokonus isoliert auf, trotzdem assoziieren viele Artikel und Veröffentlichungen andere Erkrankungen und Syndrome mit dem Keratokonus, wie z. B. Down Syndrom<sup>1</sup>, Ehlers-Danlos Syndrom, Osteogenesis imperfecta (Glasknochenkrankheit), Mitralklappenprolaps, sowie die Prävalenz bei Atopikern. Der Keratokonus kann auch Folge eines okulären Traumas oder exzessiven Augenreibens sein.

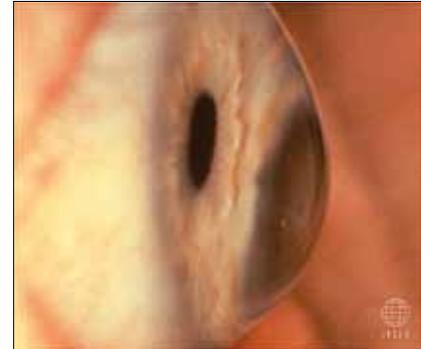


Abb 1. Profilansicht des Keratokonus



Abb 2. Kontaktlinse bei Keratokonus im Weisslicht

## Korrektionsmethoden des Keratokonus

### Kontaktlinsen

In fast allen Fällen des Keratokonus kommen Kontaktlinsen zur visuellen Rehabilitation zum Einsatz (Abb. 2). In ca 10–26% der Keratokonusfälle sind operative Eingriffe nötig. Möglicherweise kann die Kontaktlinse Hornhautnarben verursachen, apikale Narbenbildung tritt jedoch auch ohne das Tragen von Kontaktlinsen beim Keratokonus auf. Die Prognose dieser Vernarbung ist nicht vorhersehbar, daher sind Kontrollen der Augen in mind. jährlichem oder engmaschigeren Intervallen notwendig. Der Keratokonus führt nicht zu Erblindung des Auges, kann jedoch die

Lebensqualität des Betroffenen einschränken. Normalerweise können Keratokonuspatienten in den meisten Stadien der Erkrankung Autofahren oder Lesen.

<sup>1</sup> Trisomie 21 erhöht die Inzidenz des Keratokonus von 50 auf 300 pro 100.000.

74% der Patienten können ohne die Notwendigkeit chirurgischer Eingriffe versorgt werden, in 26% der Fälle ist eine Keratoplastik induziert.

### **Brillen**

Die Irregularität des Astigmatismus steigt mit der Progression des Keratokonus durch die fortschreitende Ektasie.

Die Achsen beim irregulären Astigmatismus stehen nicht senkrecht aufeinander, so dass weder eine objektive noch eine subjektive Refraktion gute visuelle Ergebnisse bringt. Speziell in fortgeschrittenen Stadien des Keratokonus ist die Brillenrefraktion mehr oder weniger überflüssig, da keine verwertbaren Werte ermittelt werden können.

Weiter gilt, dass trotz Bilateralität die Ektasie bei einem Auge meist stärker ausgebildet ist, als beim Begleitaug. Die daraus entstehende Anisometropie kann zu einer nicht tolerierten Brillenkorrektur führen. Mit zunehmender Progression des Keratokonus und damit verbundener Schwierigkeit eine verträgliche und korrigierende Brille zu verschreiben, kommen Kontaktlinsen zum Einsatz. Jedoch sollte immer eine bestkorrigierende Brille verordnet werden, die dann getragen werden kann, wenn Kontaktlinsen aus irgendeinem Grund passager nicht zum Einsatz kommen.

Methoden zur operativen Korrektur des Keratokonus sind in Anhang B aufgeführt.

Crews et al. (1994) beschreiben, dass die Mehrheit der Keratokonuspatienten (53%) am besten mit Kontaktlinsen versorgt werden, während 21% der Keratokonuspatienten im Anfangsstadium oder bei geringer Ausprägung der Ektasie Brillen oder gar keine optische Korrektur benötigen.

# 2. Klassifizierung des Keratokonus

## Hornhauttopometrie

Eines der wichtigsten Hilfsmittel zur Diagnose und zum Management des Keratokonus ist ein Videokeratograph. Ein weit verbreiteter Fehler bei der Diagnose des Keratokonus ist die Darstellung von Sagittalradien anstelle der tangentialen Krümmungen. Während die sagittale Darstellung besonders für die refraktive Übersicht der Kornea geeignet ist, visualisiert die tangentielle Darstellung detaillierter Irregularitäten der Kornea. Abb. 3a und 3b demonstrieren den Unterschied zwischen sagittaler und tangentialer Darstellung der Topometrie.

Axiale (sagittale) Darstellung	Tangentiale Darstellung
Visualisiert den optischen Anteil bei der Abbildung. Stellt nicht die wirkliche Grösse und Form der Ektasie dar.	Lokalisiert die Lage der Ektasie.
Mittelt die Brechkraft der Hornhaut Unterbewertung der steilen Areale Überbewertung der flachen Peripherie.	Berechnet die Hornhautradien ohne Referenz zur Achse des Videokeratographen. Steile Bereiche erscheinen steiler, während flache Bereiche flacher erscheinen.

Die Verformung der Hornhaut ist beim Keratokonus überhöht dargestellt, vor allem die peripheren Bereiche werden flacher dargestellt, als diese in Wirklichkeit sind. Dank der Neuberechnung der axialen Messwerte basierend auf den angrenzenden Bereichen der Keratometerachse, liefert die tangentielle Darstellung die akkurate Lage und Grösse der Ektasie. Die Ansicht der Höhendaten demonstriert die Präsenz und Position der Ektasie, jedoch ohne Krümmungsradien, die für die Anpassung von Kontaktlinsen wichtig sind.

Die Verwendung des Orbscan II, welches sowohl die Radien als auch die Höhendaten liefert, wird in Anhang C diskutiert.

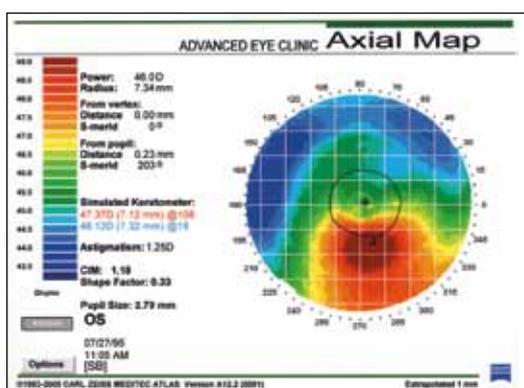


Abb. 3a. Axiale Darstellung

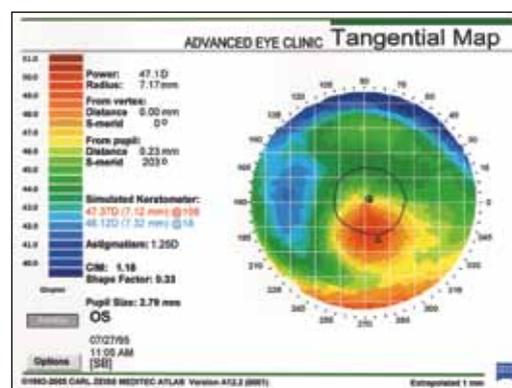


Abb. 3b. Tangentiale Darstellung

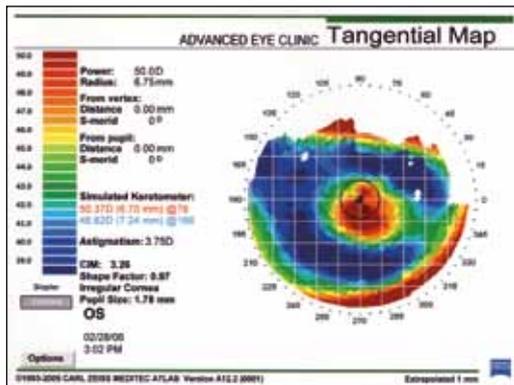


Abb. 4a. Zentraler, runder Keratokonus, Übersichtsdarstellung

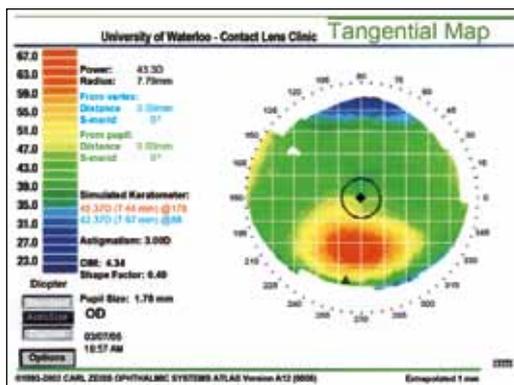


Abb. 5b. Ovaler Keratokonus, Übersichtsdarstellung

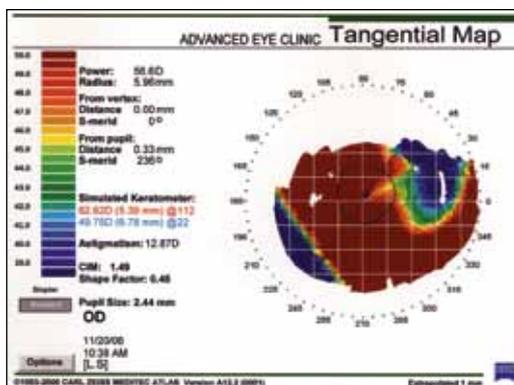


Abb. 6c. Grossflächiger Keratokonus, Übersichtsdarstellung

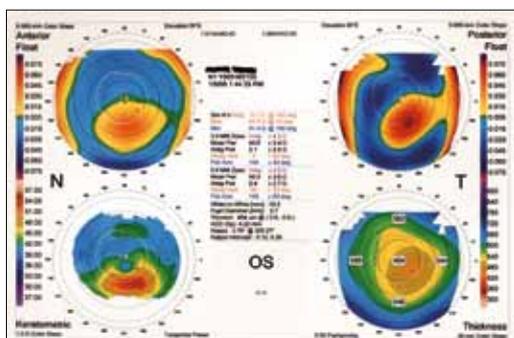


Abb. 7a. Pellucid marginale Degeneration (PMD), Übersichtsdarstellung (zu beachten ist der Astigmatismus inversus.)

## Typen des Keratokonus

Die Hornhauttopometrie kann bei der Einteilung des Schweregrades, des Typs oder der Form des Keratokonus sehr hilfreich sein. Die Klassifizierung des Keratokonus erfolgt nach den apikalen Radien, z.B. durch den Mittelwert der gemessenen Zentralradien.

Eine gängige Einteilung kann nach folgenden Werten vorgenommen werden:

Mittelwert der zentralen HH-Radien:

$$(rfl + rst)/2 > 6,75 \text{ mm}$$

(50 dpt)

Keratokonus im Anfangsstadium

$$6,75 (50 \text{ dpt}) > \Delta r$$

$$> 6,03 \text{ mm (56 dpt)}$$

fortgeschrittener Keratokonus

$$\Delta r < 6,03 (56 \text{ dpt})$$

stark fortgeschrittener Keratokonus

Zweitens wird die Lage und die Form des Apex betrachtet: z. B. kleiner zentraler Apex, ovaler Apex, nach unten temporal oder nasal verschobener Apex, grossflächige Vorwölbung (Abb. 4a, 5b und 6c). Eine weitere Form der Hornhautektasie ist die pelluzide marginale Degeneration (PMD), bei der die Verdünnung näher am Limbus beginnt, als vergleichbar beim ovalen Keratokonus. Charakteristisch für die PMD ist ein hoher Astigmatismus inversus. Merkmale der Topometrie sind Formen, die als „butterfly“ oder „kissing birds“ beschrieben werden.

## Fortschreiten der Erkrankung (Hornhautdicke)

Bei der Progression des Keratokonus, wird die zentrale Hornhaut hauptsächlich im Bereich des Stromas dünner.

Messmethoden und Geräte zur Pachymetrie und Topometrie:

- Spaltscansysteme, z.B. Orbscan II (Bausch & Lomb, NY), Abb. 8a
- Placidotopographie, z.B. Pentacam (Scheimpflugsystem) (Oculus, Deutschland), Abb. 8b
- Optische Kohärenztomographie, z.B. Visante OCT (Zeiss Meditec, CA), Abb. 8c
- Ultraschallpachymetrie, z.B. Artemis Instrument (UltraLink, LLC), Abb. 8d

Diese relativ neuen Geräte ermöglichen eine topographische Darstellung der Hornhaut, so dass die Dicke an jedem Punkt entlang aller Meridiane, einschliesslich der Lokalisierung der dünnsten Stellen abgelesen werden kann.

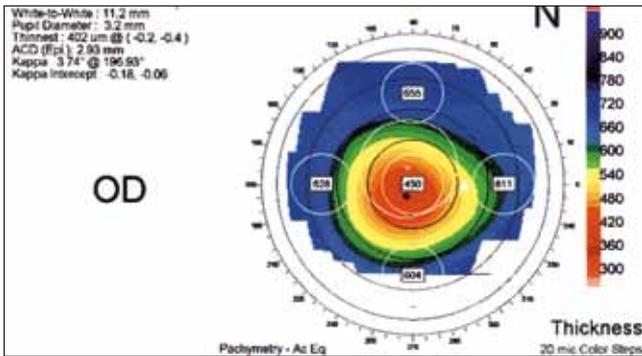


Abb. 8a. Darstellung der Pachymetrie Messung mit dem Orbscan II

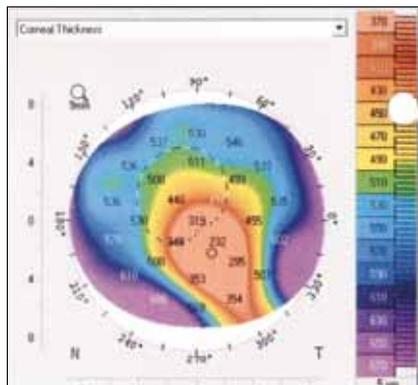


Abb. 8b. Darstellung der Pachymetrie Messung mit der Pentacam

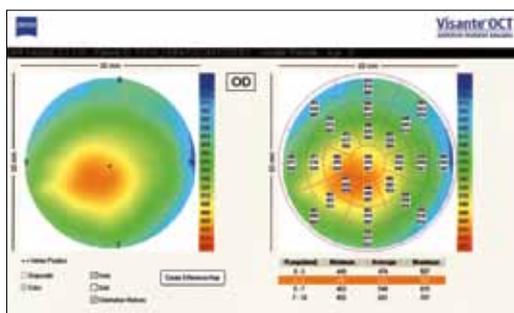


Abb. 8c. Darstellung der Pachymetrie Messung mit dem Visante OCT

Studien, die mit Geräten neuer Technologien, wie z.B. dem OCT durchgeführt wurden, zeigen eine Differenz in der Hornhautdicke von 89–109  $\mu\text{m}$  zwischen dem gesunden und ektatischen Auge. Obgleich Patienten mit einem Keratokonus eine normale Hornhautdicke im Apexbereich haben können, zeigt eine weitere Studie auf, dass der Durchschnitt der minimalen Hornhautdicke im gesunden Auge  $540 \pm 30 \mu\text{m}$ , im Keratokonusauge  $443 \pm 64 \mu\text{m}$  beträgt.

Diese Vermessung der Hornhautdicke erlaubt eine gewissenhafte Überwachung der Progression des Keratokonus, da dieselben Punkte der Kornea über einen bestimmten Zeitraum vermessen und verglichen werden können. Neuere hochauflösende OCTs erhöhen die Genauigkeit dieser Darstellungen, so dass sowohl das Epithel als auch die gesamte Hornhautdicke präziser gemessen werden können.

Auch wenn keine generelle Klassifizierung des Schweregrades des Keratokonus basierend auf der Hornhautdicke besteht, sind signifikante Unterschiede zwischen einem gesunden Auge und einem Auge mit Keratokonus ersichtlich.

Ein Auge mit einer Hornhautdicke unter  $300 \mu\text{m}$  sollte zu einem Hornhautspezialisten für weitere Abklärungen überwiesen werden.



Abb. 8d. OCT

# 3. Diagnose und Symptome

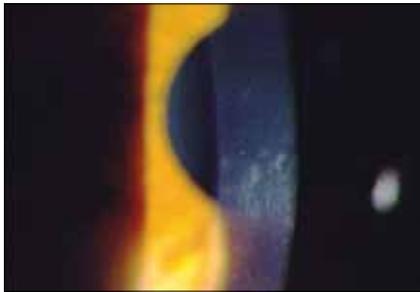


Abb. 9. Vogt'sche Linien

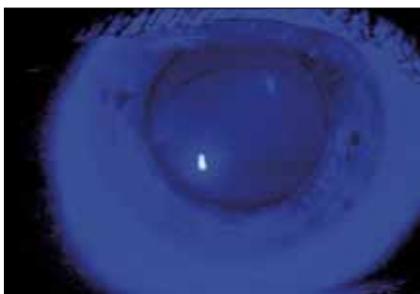


Abb. 10. Fleischer'sche Ring



Abb. 11. Hornhautnarben

## Anamnese und Symptome

Die Erstdiagnose des Keratokonus wird meist im jugendlichen Alter bis zur Mitte der dritten Lebensdekade gestellt. Die Symptome schliessen unscharfes Sehen, besonders bei ungünstiger Beleuchtung (z.B. beim Autofahren oder beim Fernsehen in dunklen Räumen) ein.

Mit dem Keratokonus assoziierte Symptome:

- Geringe oder signifikante Reduktion der Hoch- und Niedrigkontrastsehschärfe in Ferne und Nähe trotz Brillenkorrektion
- In der Pubertät beginnende Änderung der Sehschärfe, die bis zur dritten oder vierten Lebensdekade andauern kann.
- Monokulare Diplopie oder Metamorphopsien
- Abnormale Kontrastsensibilität
- Irritationen der Augen, Symptome des trockenen Auges
- Augenreiben
- Atopische Beschwerden
- Systemische Erkrankungen, die mit dem Keratokonus assoziiert sind

## Spaltlampenmikroskopie

Symptome bei der Spaltlampenuntersuchung:

- Prominente Hornhautnerven
- Vogt'sche Linien: Linien im hinteren Stroma oder der Descemetmembran, die bei leichtem Druck auf den Bulbus verschwinden. (Abb. 9)
- Fleischer'scher Ring (Hämosiderinring), tritt beim Übergang vom nicht verdünnten zum verdünnten Hornhautbereich auf (Abb. 10)
- Apikale epitheliale oder subepitheliale Narbenbildung. (Abb. 11)
- Munson Zeichen: Vorwölbung des Unterlides bei Blicksenkung. (Abb. 12)
- Akuter Keratokonus (fortgeschrittenes Stadium): Ein Riss in der Descemet Membran lässt Kammerwasser ins Stroma eindringen und verursacht ein Hornhautödem mit anschließender Narbenbildung. (Abb. 13)

## Ophthalmoskopie und Skiaskopie

Diese Symptome treten bereits im Anfangsstadium des Keratokonus auf und sind bei der Diagnosestellung hilfreich:

- Visualisierung des Konus im Retinareflex vor der Pupille
- Scherenreflex beim Skiaskopieren

- Wechsel der Zylinderachse, gefolgt von Änderungen der Zylinderstärke
- Myopie und irreguläre Astigmatismen (Astigmatismus rectus oder schiefe Achslagen)
- Bei PMD: Tendenz zur Hyperopie und Astigmatismus inversus.

## Topometrie, Keratometrie und Pachymetrie

### Identifizierung des Keratokonus – Typs mit Hilfe des Videokeratographen

Der Keratokonus mit kleiner Ektasie ist eine parazentrale Anomalie, vom Durchmesser meist geringer als 5 mm. Wenn diese Keratokonusform fortschreitet, werden die Radien steiler und das Areal der Vorwölbung kleiner, als in den beiden Topometrien in Abb. 14a und 14b zu sehen ist.

Beim ovalen Keratokonus (die Ausdehnung ist im horizontalen Meridian) weicht der Apex mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 5-6 mm im Allgemeinen nach temporal inferior von der Sehachse ab. Bei der Progression verlagert sich der Apex weiter, seine Ausdehnung wird grösser und die Radien werden steiler. (Abb.s 15a, 15b und 15c).

Der grossflächige Keratokonus ist der grösste dieser drei Typen und erstreckt sich oft über drei Quadranten der Hornhaut. (Abb. 16).

### Versteilung der Hornhautradien

Bei der Progredienz des zentralen Keratokonus mit kleinflächiger Ektasie verdünnt die Hornhaut apikal und induziert dadurch vermehrt irreguläre Testmarkenbilder sowie irreguläre Astigmatismen oder



Abb. 12. Munson Zeichen



Abb. 13. Akuter Keratokonus

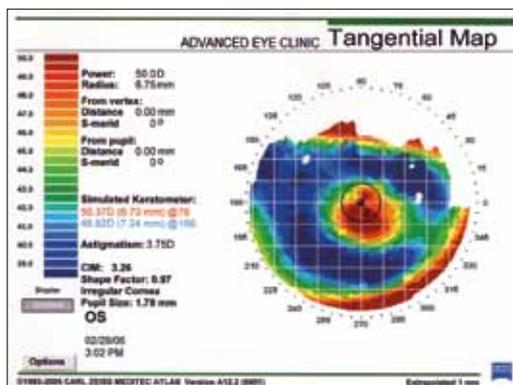


Abb. 14a. Früher, zentraler Keratokonus, Topographie

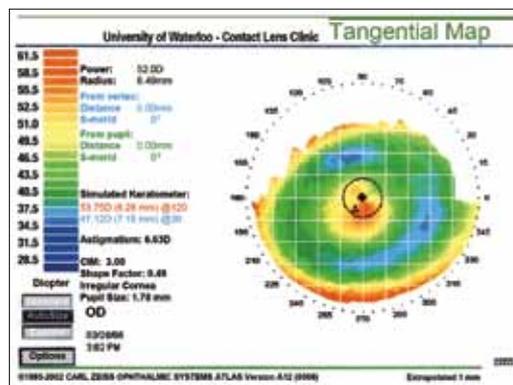


Abb. 14b. Fortgeschrittener, zentraler Keratokonus, Topographie

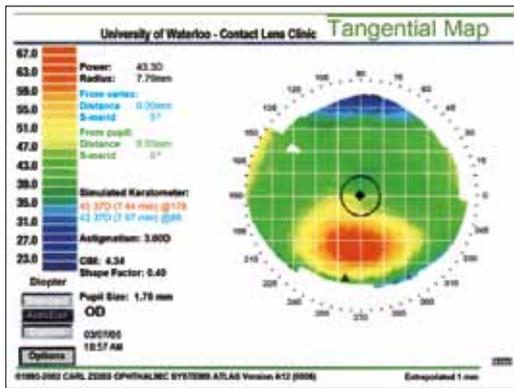


Abb. 15a. Früher, ovaler Keratokonus, Topographie

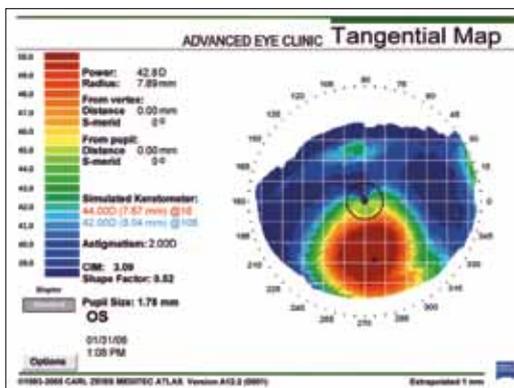


Abb. 15b. Mittlerer, ovaler Keratokonus, Topographie

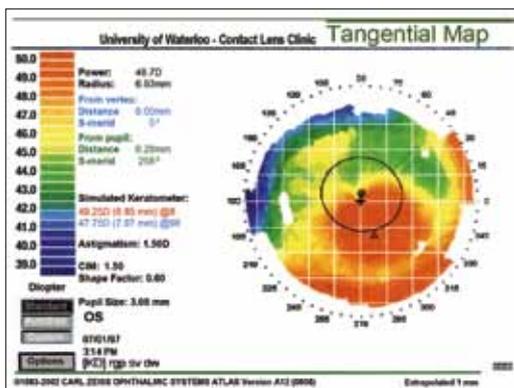


Abb. 15c. Fortgeschrittener, ovaler Keratokonus, Topographie

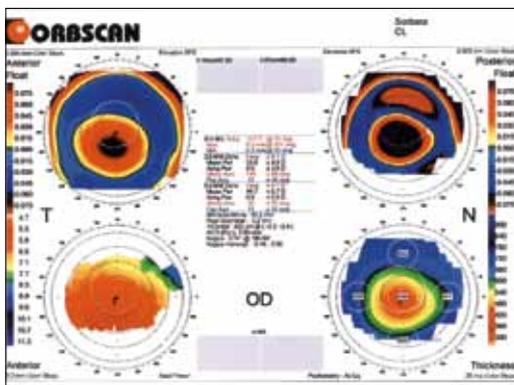


Abb. 16. Grossflächiger Keratokonus, Topographie

Astigmatismen mit schiefen Achslagen. Beim Fortschreiten des ovalen Keratokonus, verdünnt die Hornhaut parazentral und der Apex neigt dazu, sich nach temporal unten zu verlagern. Damit verbunden sind verzerrte Testmarkenbilder, asymmetrische Topometriemuster sowie irreguläre und schiefe Astigmatismen. Beide Varianten weisen eine Asymmetrie zwischen beiden Augen auf. (Abb.s 15a, 15b und 15c). Im Falle einer PMD ist der Apex nach unten, annähernd zum inferioren Limbus verlagert und induziert einen Astigmatismus inversus. (Abb. 7a).

## Refraktion und Sehschärfe

Sowohl beim zentralen als auch beim ovalen Keratokonus nehmen Myopie und Astigmatismus durch die Progression mit gleichzeitiger Abnahme der bestmöglich erreichten Visusstufe mit Brillenkorrektur. Werte von  $-1,00$  bis  $-10,00$  dpt in Sphäre und Zylinder werden erreicht. Durch die extreme Versteilung inferior wird bei der PMD eine Zunahme des Astigmatismus inversus bis zu 20 dpt beobachtet. Aufgrund der starken Abflachung der Hornhaut im Bereich der Pupille wird der Patient hyperoper. Mit dem Fortschreiten der Ektasie sinkt die erreichte Sehschärfe mit optimaler Brillenkorrektur von 20/25 bis hin zu 20/80 oder schlechter. (s. Umrechnungstabelle in Anhang G)

## Differentialdiagnose

Die Differenzierung der einzelnen Keratokonustypen (z.B. ovaler oder zentraler Keratokonus, PMD) kann für eine fundierte Beratung des Patienten in Bezug auf die Prognose und die möglichen Therapieformen (operativ oder nicht operativ) wichtig sein. Für die Kontaktlinsenanpassung ist es ebenfalls wichtig, dass der Keratokonustyp identifiziert ist, damit der Patient effizient mit adäquaten Kontaktlinsen ausgerüstet werden kann.

# 4. Versorgungsoptionen mit Kontaktlinsen

## Gasdurchlässige Kornealkontaktlinsen

Kontaktlinsen mit einem Gesamtdurchmesser von 8,0 bis 12,80 mm werden als Kornealkontaktlinsen bezeichnet.

Wenn der Durchmesser des Keratokonus ansteigt, sollte auch die Innenoptikzone (IOZ), der Radius der Rückfläche und der Kontaktlinsendurchmesser grösser werden, um einen höheren Gleichlauf zwischen der Wölbung des Konus und der Durchbiegung der IOZ zu erreichen. Mit Hilfe von Messgittern in der Software des Hornhauttopographen können die Grösse und die Position des Keratokonus bestimmt werden, um eine möglichst parallele Anpassung zu erzielen. Ebenso wichtig für die perfekte Anpassung solcher Kontaktlinsen sind die Kommunikation mit dem Kontaktlinsenhersteller, sowie die Kenntnis der einzelnen Parameter, z.B. dem Durchmesser der IOZ. Man muss verstehen welche Auswirkungen eine Modifikation des Rückflächenradius auf den Durchmesser der IOZ haben kann. Ändert sich der Durchmesser der IOZ mit einer Änderung der Basiskurve oder hat die Kontaktlinse einen fixen Durchmesser der IOZ und/oder ändert sich dieser nur bei einer Modifikation des Gesamtdurchmessers? (Abb. 17 bis 25). s.S. 13, Tabelle 1 und 2.

Wenn die IOZ im Vergleich zum Ektasiedurchmesser zu gross ist, ist die Sagittaltiefe der Kontaktlinse grösser als die der Kornea. Dadurch entstehen Luftblasen im Bereich um die Ektasie, die die Sehschärfe beeinträchtigen können. Wenn die IOZ zu klein ist, ist die Sagittaltiefe der Kontaktlinse geringer als die der Kornea. Die Kontaktlinse schnürt dadurch im Bereich der Ektasie ein und findet keine ausreichende und stabile Zentrierung. (Abb. 21) Bei richtiger Wahl der IOZ resultiert

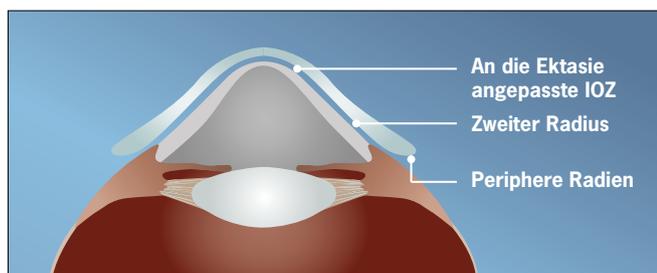


Abb. 21. Schematische Darstellung der Anpassung der IOZ an den Apex

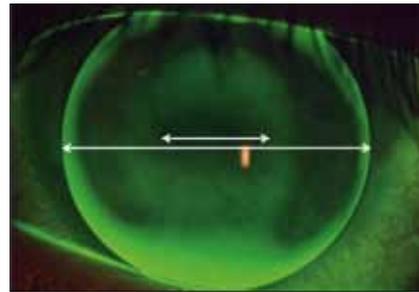


Abb. 17. Zentraler Keratokonus (variable IOZ)

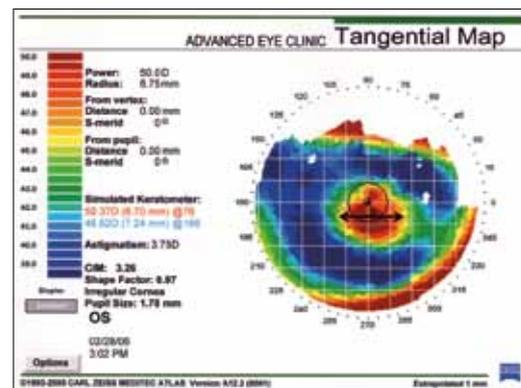


Abb. 18. Topographie eines zentralen Keratokonus

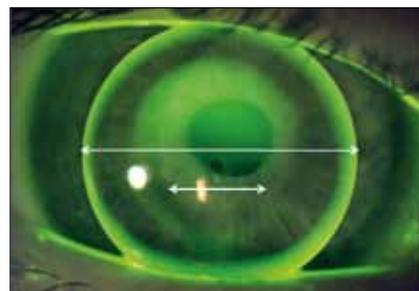


Abb. 19. Ovaler Keratokonus im Anfangsstadium (fixe IOZ)

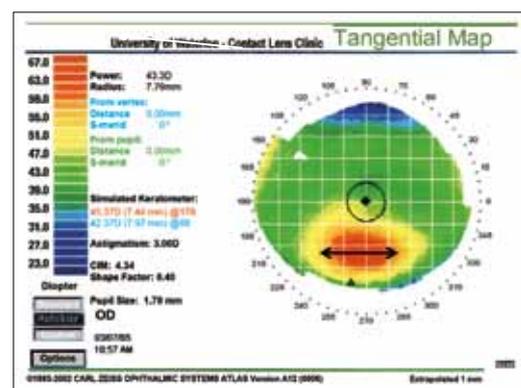


Abb. 20. Ovaler Keratokonus im Anfangsstadium

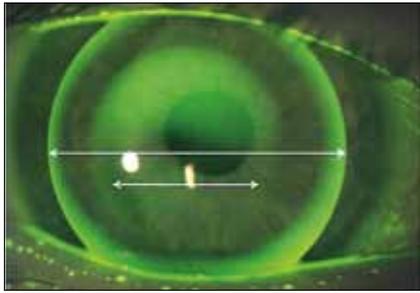


Abb. 22. Moderater ovaler Keratokonus (fixe IOZ)

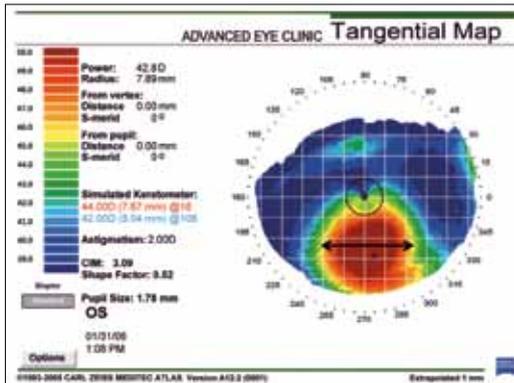


Abb. 23. Topographie eines moderaten ovalen Keratokonus



Abb. 24. Fortgeschrittener ovaler Keratokonus (fixe IOZ)

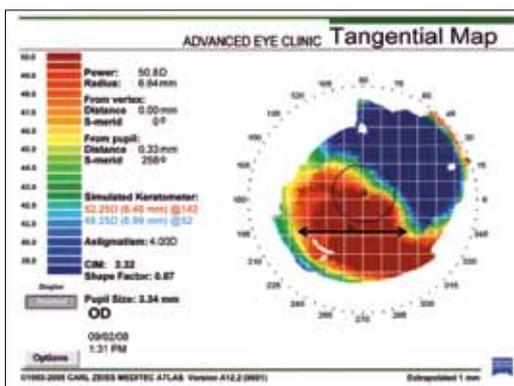


Abb. 25. Topographie eines fortgeschrittenen Keratokonus

eine leichte Dreipunktauflage mit guter Zentrierung der Kontaktlinse. (s. Tabellen S. 13)

Im Vergleich zu einer "normalen" Kontaktlinse mit einer durchschnittlichen Exzentrizität (0,5 bis 0,6) öffnet die Peripherie einer Kontaktlinse zur Versorgung des Keratokonus mehr und erhält dadurch eine stärkere axiale Randabflachung. Die Exzentrizitäten beim Keratokonus reichen von 0,65 bis 1,00 in fortgeschrittenen Stadien.

## Gasdurchlässige Korneoskleral- und Semiskleralkontaktlinsen

Mit der Einführung hoch-gasdurchlässiger Materialien, wurden Kontaktlinsenanpasser zur Abgabe von Kontaktlinsen mit grossem Gesamtdurchmesser ermutigt. Kontaktlinsen mit einem Gesamtdurchmesser zwischen 12,90 und 13,50 mm werden als Korneosklerallinsen, Kontaktlinsen mit einem Gesamtdurchmesser zwischen 13,60 und 14,90 mm als Semiskleralkontaktlinsen bezeichnet.

Bei der Anpassung müssen drei voneinander unabhängige Zonen beachtet werden:

- die korneale Zone (IOZ/r0),
- die mittlere Peripherie im korneo-skleralen Bereich (c-s Bereich)
- die sklerale-konjunktivale Zone (s-k Bereich)

Korneosklerallinsen sollten mit einer leichten zentralen Überbrückung oder einer dezenten apikalen Touchierung angepasst werden, einer Überbrückung der korneo-skleralen Zone und einer Auflage in der skleralen-konjunktivale Zone. Semiskleralkontaktlinsen werden ähnlich angepasst, jedoch mit einer grösseren apikalen Überbrückung, um genügend Tränenaustausch unter der Kontaktlinse zu gewährleisten.

Unter dem Einsatz von Hornhauttopographen werden Keratokonen mit grosser und irregulärer Ektasie, nach unten



Abb. 26. Schematische Darstellung einer Sklerallinse

verschobene Ektasien (PMD) oder irregulärer Hornhautformen (oblong, z.B. bei Z.n. PKP) sichtbar. Diese Hornhautformen profitieren von Kontaktlinsengeometrien mit einer grossen IOZ.

### Gasdurchlässige Miniskleral- und Skleralkontaktlinsen

Kontaktlinsen mit Gesamtdurchmessern von 15,00–18,00 mm werden als Miniskleral-, von 18,10 bis über 24 mm als Sklerallinsen bezeichnet. Die Anpassung dieser Kontaktlinsen setzt die genaue Kenntnis des Übergangs von Limbus zur Sklera und der Hornhauttopometrie voraus.

Die Anpassung dieser Kontaktlinsen ohne Abdruckverfahren ist eine Herausforderung. Die Verwendung von Anpass-Sätzen sowie optischen Kohärenztomographen, die Tiefen der Vorderkammer visualisieren, sind bei der Entwicklung von Kontaktlinsen und deren Anpassung hilfreich. Diese Kontaktlinsen wurden so entwickelt, dass sie auf der skleralen Konjunktiva aufliegen und die Kornea überbrücken, ohne den Apex zu touchieren. (Abb. 26). Damit dies erreicht werden kann, muss die Sagittaltiefe der Kontaktlinse grösser als die Sagittaltiefe der Hornhaut sein.

Da Sklerallinsen ein Tränenfilmdepot einschliessen, haben sie einen therapeutischen Vorteil beim trockenen Auge (z.B. Sjögren Syndrom). Ausserdem überbrücken und gleichen Sklerallinsen grossflächig Irregularitäten aus.

Solche Kontaktlinsen sind bei fortgeschrittener PMD, fortgeschrittenem grossflächigem Keratokonus oder bei peripherer Keratoplastik mit prominenter Hornhautstufe und hohen Irregularitäten von Vorteil, da mit ihnen ein besserer Tragekomfort und bessere Sehschärfen erreicht werden können. Ähnlich wie bei den

Semiskleralkontaktlinsen müssen auch hier die drei Zonen der Kontaktlinse differenziert betrachtet und individuell angepasst werden. Der Tränen austausch ist durch den Pumpeffekt, verursacht durch den positiven Druck des Oberlids auf das Kontaktlinsenzentrum und den negativen Druck in der Kontaktlinsenperipherie, gewährleistet. (Abb. 27 und 28).



Abb. 27. Skleralkontaktlinse im Weisslicht

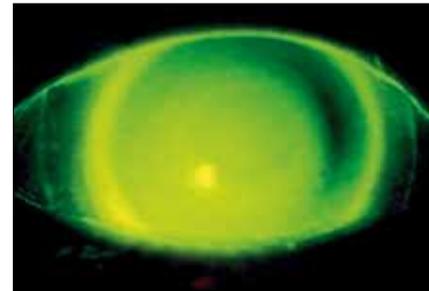


Abb. 28. Skleralkontaktlinse, Fluoreszeinbild

Kontaktlinsendurchmesser	Bezeichnung
8,0–12,8 mm	Korneal-Kontaktlinse
12,9–13,5 mm	Korneoskleral-Kontaktlinse
13,6–14,9 mm	Semiskleral-Kontaktlinse
15,0–18,0 mm	Miniskleral-Kontaktlinse
18,1–24,0 mm	Skleral-Kontaktlinse

### Huckepack Systeme

Beim traditionellen Huckepack-System wird ein Bereich von 8,0 bis 9,80 mm im Zentrum einer hydrogelen Trägerlinse ausgespart. (Bsp. UltraVision KeraSoft® Linse). Die formstabile Kontaktlinse wird in diese Aussparung hineingesetzt und findet so eine optimale und sichere Zentrierung. Dieses System kommt bei beginnenden bis mittleren Keratokonusfällen zum Einsatz. Der Vorteil ist eine Erhöhung des Tragekomforts. Nachteilig bei dieser Versorgung ist die reduzierte Sauerstoffdurchlässigkeit durch zwei Kontaktlinsen hindurch. (s. Abb 29 bis 30b). Mit der Entwicklung der Silikonhydrogele wurde diese Versorgungsart wieder modern. Kontaktlinsen wie z.B. CIBA Night and Day™, Bausch & Lomb PureVision® und Vistakon Oasys™ dienen als Trägerlinse.

Diese Kombination erhöht die Sauerstoffdurchlässigkeit von 34 mm Hg (PMMA und einer Kontaktlinse mit einem niedrigen Wassergehalt) zu 95 mm Hg (gasdurchlässige formstabile Kontaktlinse + Silikonhydrogel als

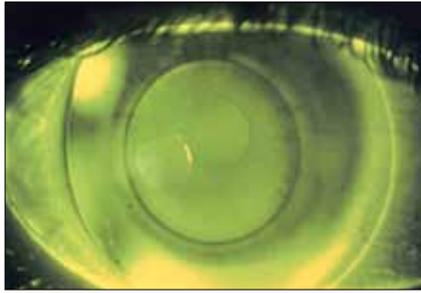


Abb. 29. Huckepack-System, Verwendung von hochmolekularem Fluoreszein



Abb. 30a. Huckepack-System, Weisslicht

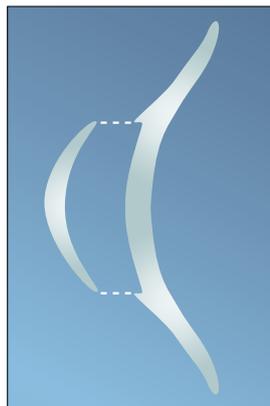


Abb. 30b. Schematische Darstellung des Huckepack-Systems

Trägerlinse). Umgerechnet bedeutet dies einen  $Dk/t$  von  $39 \times 10^{-9}$  (cm/sec)(ml  $O_2$  x mm Hg). Die Anforderung des  $Dk/t$  zur Vermeidung eines Hornhautödems beim Tragen von Kontaktlinsen liegt bei  $24 \times 10^{-9}$  [cm/sec][ml  $O_2$  x mm Hg]).

Ein weiterer Vorteil neben dem erhöhten Tragekomfort des Huckepack-Systems in Verbindung mit Silikonhydrogellinsen ist der Schutz der Kornea vor mechanischen Druckstellen durch die formstabile Kontaktlinse. Ausserdem dienen sie als Verbandlinse bei chronischen Epithelschädigungen. Eine gute Zentrierung kann bei der Verwendung von Plus-Trägerlinsen erreicht werden. Durch die Pluswirkung von 0,50 dpt und das damit einhergehende zentral dickere Profil der weichen Kontaktlinse, findet die formstabile Kontaktlinse ihre Position über der weichen Trägerlinse. Es kann sein, dass aufgrund des steileren Sitzverhaltens der formstabilen Kontaktlinsen durch die Pluswirkung der Trägerlinse, die formstabile Kontaktlinse im Randbereich flacher angepasst werden muss, um ein Eindringen in die weiche Trägerlinse zu verhindern.

### Hydrogele Kontaktlinsen

Das Einsatzgebiet hydrogeler Kontaktlinsen bei der Korrektur irregulärer Astigmatismen ist begrenzt. Sie können dann angepasst werden, wenn alle anderen Anpassversuche scheitern oder der Patient formstabile Kontaktlinsen nicht toleriert. Dies ist mit grossen Gesamtdurchmessern von gasdurchlässigen Kontaktlinsen wie Semi- oder Minisklerallinsen, die ihre Auflage ausserhalb des Limbus finden, jedoch ungewöhnlich. Hydrogele Kontaktlinsen mit einer erhöhten Mittendicke (0,3 bis 0,50 mm) können zwar gewisse Irregularitäten ausgleichen, man beachte jedoch die geringe Sauerstoffdurchlässigkeit und die geringe Erfolgsquote bei diesen Systemen. Alternativ können individuelle prismatisch stabilisierte, rücktorische hydrogele Kontaktlinsen angepasst werden, die durch die individuelle Fertigung hohe Zylinder korrigieren können und aufgrund des Stabilisationsprinzips und ihrer Dicke auch ein gewisses Mass an Irregularitäten ausgleichen. Eine zusätzliche Korrektur der möglichen optischen Restfehler kann über eine Brille erfolgen, die über die Kontaktlinsen getragen wird. Eine weitere Option sind massgefertigte, wellenfrontkorrigierte hydrogele Kontaktlinsen, die sogar Aberrationen höherer Ordnung ausgleichen sollen. Grundvoraussetzung ist eine sichere Stabilisierung und Positionierung der Kontaktlinse.

# 5. Kontaktlinsen-Geometrien

## Kornealkontaktlinsen

### Rotationsymmetrische, mehrkurvige Kontaktlinsen

**Sphärische Basiskurve und sphärische Peripherie:** Das zweikurvige Design von Soper war ein frühes Design einer PMMA Linse zur Versorgung des Keratokonus. Sie hatte einen kleinen Gesamtdurchmesser und eine fixe Innenoptikzone, mit einem steilen Zentralradius und einer flachen zweiten, peripheren Kurve (45,00 dpt, 7,50 mm), um der normalen Korneaperipherie zu entsprechen. Dieses Design wird in der Zwischenzeit in gasdurchlässigen Materialien hergestellt und wird über die Modifikation der Sagittaltiefe angepasst, bis eine leichte apikale Touchierung oder eine geringe apikale Überbrückung erreicht wird.

Später verwendete man das McGuire Design, mit einem steilen zentralem Bereich und einer graduellen Abflachung der Peripherie. Die progressive Abflachung wird durch vier, flacher werdende periphere Kurven erreicht, die um 3, 6, 8 und 10 dpt flacher sind, als der zentrale Rückflächenradius. Der Gesamtdurchmesser sollte an die Grösse des Konus angepasst werden: von 8,10 mm bei zentrischen oder Keratokonus mit kleiner Ektasie, bis zu 8,60 mm beim ovalen Keratokonus.

**Tabelle 1. Beispiel eines mehrkurvigen Messlinsensatzes mit fixer Innenoptikzone**

9,4 Dt																		
r0	7,99	7,90	7,80	7,67	7,50	7,34	7,18	7,11	7,03	6,96	6,89	6,82	6,75	6,68	6,62	6,55	6,49	6,37
øIOZ	<b>7,40</b>																	
r1	9,30	9,20	9,10	9,00	8,90	8,80	7,98	7,91	7,83	7,76	7,69	7,62	7,55	7,48	7,42	7,50	7,40	7,30
d1	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
r2	10,30	10,20	10,10	10,00	9,90	9,80	8,98	8,91	8,83	8,76	8,69	8,62	8,55	8,48	8,42	8,55	8,40	8,30
d2	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
r3	11,30	11,20	11,10	11,00	10,90	10,80	10,18	10,11	10,03	9,96	9,89	9,82	9,75	9,68	9,62	9,65	9,55	9,35
d3	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
Bevel-radius	12,30	12,20	12,10	12,00	11,90	11,80	11,68	11,61	11,53	11,46	11,39	11,32	11,25	11,18	11,12	11,00	11,00	10,85
Dt	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
AEL	0,186	0,191	0,198	0,208	0,225	0,241	0,222	0,228	0,236	0,243	0,250	0,257	0,265	0,274	0,282	0,302	0,307	0,326

**Tabelle 2. Beispiel eines mehrkurvigen Messlinsensatzes mit variabler Innenoptikzone**

9,4 Dt																		
r0	8,00	7,90	7,80	7,70	7,60	7,50	7,40	7,30	7,20	7,10	7,00	6,90	6,80	6,70	6,60	6,50	6,40	6,30
øIOZ	<b>7,00</b>	<b>6,50</b>	<b>6,50</b>	<b>6,50</b>	<b>6,50</b>	<b>6,50</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,50</b>	<b>5,50</b>	<b>5,50</b>	<b>5,50</b>	<b>5,50</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>
r1	9,00	8,90	8,80	8,70	8,60	8,50	8,40	8,30	8,20	8,10	8,00	7,90	7,80	7,70	7,60	7,50	7,40	7,30
d1	7,60	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	5,80	5,80
r2	10,00	9,90	9,80	9,70	9,60	9,50	9,40	9,30	9,20	9,10	9,00	8,90	8,80	8,70	8,60	8,50	8,40	8,30
d2	8,20	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	6,90	6,90
r3	11,00	10,90	10,80	10,70	10,60	10,50	10,40	10,30	10,20	10,10	10,00	9,90	9,80	9,70	9,60	9,50	9,40	9,30
d3	8,60	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,00	8,00
Bevel-radius	12,00	11,90	11,80	11,70	11,60	11,50	11,40	11,30	11,20	11,10	11,00	10,90	10,80	10,70	10,60	10,50	10,40	10,30
Dt	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
AEL	0,213	0,262	0,270	0,279	0,288	0,298	0,350	0,362	0,375	0,389	0,403	0,455	0,473	0,492	0,513	0,535	0,606	0,633

**Sphärisches Zentrum und asphärische Peripherie:** Mit den Fortschritten in der Herstellungstechnologie von Kontaktlinsen sind heute Geometrien mit sphärischem Rückflächenzentrum und asphärischer Peripherie erhältlich. Diese Kontaktlinsen verbinden die Vorteile der sphärischen Innenoptikzone mit der verbesserten Auflagefläche der Peripherie dank der Asphäre. Aufgrund diesem Design kann die Randabflachung noch höher gewählt werden und somit können selbst Keratokoni im fortgeschrittenen Stadium mit hohen Exzentrizitäten versorgt werden. Die Innenoptikzone und die asphärische Peripherie können unabhängig voneinander angepasst und modifiziert werden.

### **Asphärische Kontaktlinsen**

Heute sind Vollasphären im Markt verbreitet, bei denen die progressive Abflachung bereits im Zentrum beginnt. Dazu kommen einige Kontaktlinsengeometrien, die durch zusätzliche asphärische Vorderflächen sphärische Aberrationen korrigieren. Dank der besseren Auflagefläche bedingt durch die Geometrie können diese Kontaktlinsen im Vergleich zu sphärischen Designs steiler angepasst werden. Bei einigen Produkten können sogar die peripheren Asphären vom Anpasser frei gewählt werden. Des Weiteren können die zentralen Zonen und die peripheren Abflachungen unabhängig voneinander angepasst werden. Hersteller rechnen bei Änderungen der Zonendurchmesser die veränderte Sagittaltiefe um und kompensieren den Rückflächenradius und die Stärke der Kontaktlinse. Während manche Geometrien eine fixe IOZ aufweisen, besitzen andere Geometrien eine variable Innenoptikzone. Wenn der Rückflächenradius steiler gewählt wird, wird der Durchmesser der Innenoptikzone vergrößert, was eine einfachere Nachanpassung bei progressivem zentrischem Keratokonus ermöglicht.

### **Semi- und Miniskleralkontaktlinsen**

Semi- und Miniskleralkontaktlinsen haben sich signifikant seit der Einführung von hochgasdurchlässigen Materialien weiterentwickelt und ermöglichen dadurch eine ausreichende Sauerstoffversorgung. Diese Kontaktlinsen finden ihre Auflage im skleralen Bereich und sind meist durch eine sphärische Optikzone und mehrkurvige oder asphärische Peripheriegestaltungen charakterisiert. Sie können fünfkurvig sein, wobei der Rückflächenradius und die erste periphere Kurve im kornealen Bereich, die zweite periphere Kurve im limbalen Bereich und die beiden letzten peripheren Kurven im skleralen Bereich des Auges aufliegen. Eine ausführlichere Darstellung dieser Kontaktlinsentypen findet sich in Anhang D.

### **Huckepack-Kontaktlinsen**

Für die Anpassung von Huckepack-Systemen kommen Silikonhydrogele mit der steilsten erhältlichen Basiskurve zum Einsatz. Eine zu flache Trägerlinse kann in der Peripherie absteigen, eine zu steile Trägerlinse schließt im limbalen Areal Luftblasen ein. Eine steifere Kontaktlinse scheint für die Überbrückung von Irregularitäten besser geeignet zu sein, wenn diese jedoch nicht konform mit der Hornhautoberfläche ist, können visuelle Probleme durch die Stauchung der Kontaktlinse beim Lidschlag entstehen. Zur besseren Zentrierung der formstabilen Kontaktlinse, sollte die Trägerlinse eine leichte Pluskorrektur (+ 0,50 dpt) besitzen. Dadurch kann es notwendig sein, die Basiskurve der formstabilen Kontaktlinse um 1/10 mm flacher zu wählen und die periphere Abflachung zu erhöhen.

# 6. Kontaktlinsenanpassung

## Auswahl der richtigen Kontaktlinsengeometrie

### Allgemeine Hinweise

Kontaktlinsengeometrien zur Versorgung des Keratokonus:

- Sphärische (zwei- oder dreikurvig) und asphärische sauerstoffdurchlässige Kontaktlinsen
- Sphärische mehrkurvige sauerstoffdurchlässige Kontaktlinsen mit sphärischer oder asphärischer Peripherie
- Semisklerallinsen

Fortgeschrittene Fälle von grossflächigen Ektasien, PMD und Hornhäute nach operativen Eingriffen können mit Minisklerallinsen oder Skleralschalen versorgt werden.

Sobald ein Patient nicht mehr adäquat mit einer bestmöglichen Brille versorgt werden kann und Kontaktlinsen unvermeidbar sind, sollte sofort mit der Anpassung der geeigneten Systeme begonnen werden. Das Bedürfnis des Patienten nach einer optimalen visuellen Rehabilitation steht im Vordergrund.

Die Anpassung beinhaltet folgende Punkte:

- Anamnese
- Beurteilung des Tränenfilms
- Beurteilung der Lider und Lidränder
- Keratometrie
- Topometrie
- Refraktion
- Aufsetzen von Messlinsen
- Überrefraktion
- Fluoreszeinbildanalyse

Durch das Aufsetzen von Messlinsen erhält man folgende Informationen:

- Das Stadium der Ektasie
- Die Grösse und Lokalisierung der Ektasie

Der Mittelwert der zentralen Hornhautradien gibt Auskunft über das Stadium des Keratokonus. Der Keratokonus befindet sich einem frühen Stadium, wenn der Mittelwert der zentralen Hornhautradien unter 6,75 mm (50 dpt) liegt. Bei einem Mittelwert der zentralen Hornhautradien von 6,75 mm bis 6,03 mm (50 bis 56 dpt) spricht man von einem fortgeschrittenen Stadium, ab 56 dpt/6,03 mm liegt ein Keratokonus in einem weit fortgeschrittenen Stadium vor. Unter Einsatz eines Videokeratographen kann die Ektasie in Grösse und Lage visualisiert werden. Im fortgeschrittenen Stadium hat die Ektasie ihre definitive Form erreicht und kann dann klassifiziert werden. Kleine zentrale Ektasie (meist zentral oder leicht nasal dezentriert), ovale Ektasie (Verlagerung des Apex nach unten und nach lateral) oder die grossflächige Ektasie, wie sie in mehr als 75% der Fälle vorliegt.

Messlinsen sind für die Versorgung und Anpassung zwingend notwendig.

### Auswahl des zentralen Rückflächenradius $r_0$

Mit Fortschreiten der Erkrankung werden die zentralen Hornhautradien zunehmend steiler. Dies sollte bei der Wahl des zentralen Rückflächenradius in Abhängigkeit des Gesamtdurchmessers und der Grösse der Innenoptikzone berücksichtigt werden. Wenn der zentrale Rückflächenradius unter Berücksichtigung der IOZ und des Gesamtdurchmessers bestimmt wird, muss beachtet werden, dass die Sagittaltiefe mit steiler

Edrington et al. (*Optom Vis Sci* 1996) gingen in ihrer Studie von traditionell ermittelten Hornhautradien aus. Sie fanden keine signifikante Differenz zwischen dem Mittelwert der zentralen Hornhautradien und des zentralen Rückflächenradius ( $p = 0,3907$ ). Diese Studie berücksichtigte jedoch nicht, welcher Rückflächenradius die definitive Kontaktlinse hatte, sondern nur den Rückflächenradius der ersten Messlinse.

werdenden Hornhautradien grösser wird. Eine ideale Passform wird dadurch erreicht, indem bei flacheren Hornhautradien und zunehmendem Hornhautastigmatismus  $r_0$  flacher gewählt wird.

Die Basiskurve der ersten Messkontaktlinsen kann unter Anwendung der Anpasssoftware des verwendeten Videokeratographen bestimmt werden. Eine weitere Hilfestellung zur Radienbestimmung der ersten Messlinse gibt Tabelle 3.

Grundsätzlich ist eine Flächenanpassung zu vermeiden. Diese Anpassart stellt eine mechanische Belastung im Bereich der Ektasie dar und führt zu apikalen Stippen,

vermehrter Narbenbildung und reduziertem Tragekomfort. Eine zu starke zentrale Auflage kann ausserdem ein zentrales Oedem und eine Sehschärfereduktion hervorrufen.

Sorbara und Luong (1999) untersuchten unter Berücksichtigung der zentralen Hornhautradiendifferenz ( $\Delta r$ ) die Wahl des Rückflächenradius der definitiven Kontaktlinse. Zur Ermittlung der Lage der Ektasie und des zentralen Astigmatismus verwendeten sie die tangentielle Darstellung bei der Topometrie. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde der Zusammenhang zwischen dem definitiven Rückflächenradius der Kontaktlinse und dem flachen Hornhautradius untersucht. Tabelle 3 zeigt in einem Nomogramm die daraus entstandene Berechnungsgrundlage zur Bestimmung des zentralen Rückflächenradius.

Beispiele unter Anwendung von Tabelle 3:

Patient 1: Flacher Hornhautradius 7,03 mm (48 dpt) (gemessen mit dem Videokeratograph) und zentraler Hornhautastigmatismus von  $-3,00$  dpt:  $r_0 = 48 \text{ dpt} - (0,609 \times (-3,00)) = 49,83 \text{ dpt}$  (6,77 mm)

Patient 2: Flacher Hornhautradius 7,03 mm (48 dpt) (gemessen mit dem Videokeratograph) und zentraler Hornhautastigmatismus von  $-7,00$  dpt:  $r_0 = 48,00 - (0,419 \times (-7,00)) = 50,93 \text{ dpt}$  (6,62 mm)

**Table 3. Bestimmung der Basiskurve unter Berücksichtigung des zentralen Astigmatismus für einen Gesamtdurchmesser der KL von 9,40 mm**

$\Delta r$ (dpt)	$r_0$ (dpt) (Dt 9,4)
-0,25 dpt bis -3,75 dpt	$r \text{ HH fl (dpt)} - 0,61 \times (\Delta r)$
-4,00 dpt bis -7,50 dpt	$r \text{ HH fl (dpt)} - 0,50 \times (\Delta r)^*$
-7,75 dpt bis -16,75 dpt	$r \text{ HH fl (dpt)} - 0,35 \times (\Delta r)$

\*Näherungsweise der durchschnittliche Radius für eine IOZ von 7,40 mm

Mehr und mehr Veröffentlichungen empfehlen zur Bestimmung der ersten Messlinse die Verwendung eines Videokeratographen. Nach Wassermann et al. (*CLAO J* 1992) entsprechen bei der Versorgung von 11 Patienten mit asphärischen Kontaktlinsen die Rückflächenradien der Kontaktlinse dem flachsten Hornhautradius im Bereich der zentralen Zone mit einem Durchmesser von 5 mm. Gemäss Donschik et al. (*Trans Am Ophthalmol Soc* 1996) zeigt die formstabile Kontaktlinse die beste Passform auf, deren Rückflächenradius dem Mittelwert der beiden flachsten Hornhautradien in einer Zone von 3 mm entsprechen. Szczotka (*CLAO J* 1998) beschreibt, dass der steile sagittale Hornhautradius (wobei der 5., 6. und 7. Meridian gemittelt wird) den geeignetsten Rückflächenradius für eine formstabile Kontaktlinse ergibt.

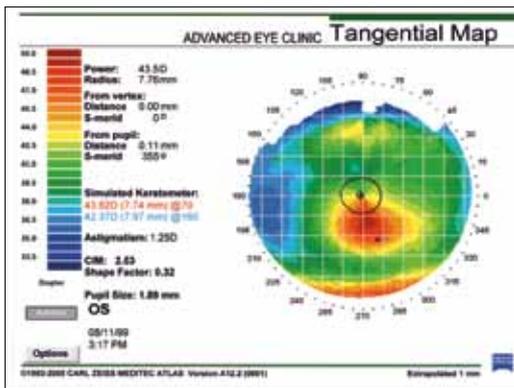


Abb. 31. Topometrie: ovale Ektasie in frühem Stadium

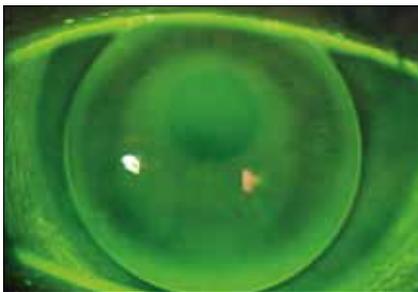


Abb. 31a. Fluoreszeinbild beim frühen, ovalen Keratokonus

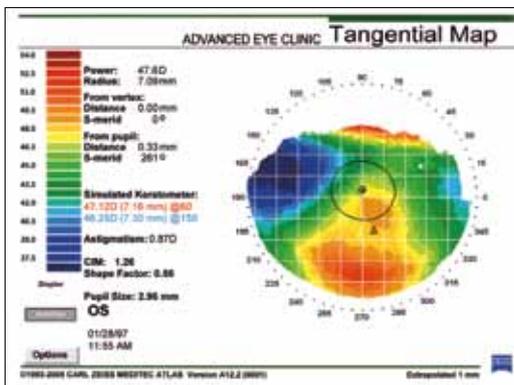


Abb. 32. Topometrie: fortgeschrittene ovale Ektasie



Abb. 32a. Fluoreszeinbild bei fortgeschrittenem, ovalen Keratokonus

Der Umrechnungstabelle ist zu entnehmen, dass für mittlere Hornhautastigmatismen von  $-4,00$  bis  $-7,50$  dpt, bei einem Gesamtdurchmesser der Kontaktlinse von  $9,40$  mm,  $r_0$  um  $0,5 \times \Delta r$  steiler gewählt werden muss.

Ausgehend davon, dass die IOZ bei grösseren und kleineren Kontaktlinsen entsprechend grösser resp. kleiner sind, gelten folgende Empfehlungen zur Wahl der Basiskurve einer ersten Messlinse: Für kleinere Kontaktlinsen (z.B.  $Dt = 8,70$  mm) gilt:  $r_0$  sollte um  $0,20$  mm steiler gewählt werden, als der Mittelwert der zentralen Hornhautradien; für grössere Kontaktlinsen (z.B.  $Dt = 9,60$  bis  $10,10$  mm) sollte die Basiskurve um  $0,20$  mm flacher als der Mittelwert der zentralen Hornhautradien gewählt werden. Schliesslich muss jedoch die definitive Basiskurve über das Fluoreszeinbild bestimmt werden: Eine extreme Dreipunktauflage kann Hornhautstippen, dezentriertes Sitzverhalten, Reduktion des Tragekomforts und eine Hornhautverformung verursachen.

Für biasphärische Kontaktlinsen gelten die selben Kriterien, bis auf die Tatsache, dass die Rückflächenradien einer ersten Messlinsen  $1-2/10$  flacher als in der Umrechnungstabelle empfohlen, sein sollten.

### Kontaktlinsenstärke

Frühe Anzeichen für einen Keratokonus sind ein Anstieg des Astigmatismus sowie sich ändernde Achslagen. In Verbindung mit einer PMD werden aufgrund der extremen Abflachung der Kornea zentral Hyperopien verbunden mit hohem Astigmatismus inversus gemessen. In beiden Fällen ist der Astigmatismus irregulär und erschwert dadurch die Skiaskopie sowie eine genaue subjektive Refraktion. Erst bei angepasster formstabiler Kontaktlinse kann eine visusverbessernde Überrefraktion vorgenommen werden. Die formstabile Kontaktlinse gleicht durch den Tränenfilm Unregelmässigkeiten der Kornea aus. Ausgehend von der bestmöglichen Brillenrefraktion ist die endgültige Kontaktlinsenstärke schwer vorherzusagen.

### Vorgehen in der Anpassung: Die Wahl der richtigen IOZ und des Gesamtdurchmessers

Früher wurden kleine Gesamtdurchmesser und geringe Innenoptikzonen mit einer apikalen Überbrückung (Steilanpassung) sowie grosse Kontaktlinsendurchmesser mit einer apikalen Auflage und Lidbedeckung (Flachanpassung) zur Versorgung verwendet. Heute ist man der Meinung, dass diese beiden Anpassarten vermieden werden sollten und stattdessen

eine Dreipunktauflage der Kontaktlinse angestrebt werden sollte. Mit einer Dreipunktauflage werden gute Sehschärfen verbunden mit einer hohen physiologischen Verträglichkeit erzielt.

Die Parameter der Innenoptikzone und des Gesamtdurchmessers können durch eine genaue Evaluierung der zentralen und peripheren Topometrie gut bestimmt werden. Die Topometrie zeigt die Form des Keratokonus sowie die Grösse und Lage der Vorwölbung auf. Jede Topographiesoftware hat Grössenraster oder Gitterstrukturen, damit die Grösse und Lage der Vorwölbung vermessen werden kann. Wenn diese Werte sorgfältig betrachtet werden, so können die Kontaktlinsenparameter, die zu einer guten Auflage und Zentrierung der Kontaktlinse führen, rationell bestimmt werden.

Damit die Kontaktlinse schliesslich eine optimale Passform aufweist, ist sowohl die Kommunikation und der Informationsaustausch mit dem Kontaktlinsenhersteller als auch das Verständnis der Geometrie der verwendeten Kontaktlinsen unabdingbar.

### Die Anpassung von Kontaktlinsen mit kleinem Gesamtdurchmesser (8,5 bis 9,3 mm)

Wenn die Grösse und die Lage der Vorwölbung definiert und vermessen ist, kann der Durchmesser der IOZ festgelegt werden. Kleine Durchmesser eignen sich für kleinflächige zentrale runde und zentrale ovale Keratokonen im frühen Stadium.

Wenn der Keratokonus mit kleiner Ektasie fortschreitet, muss die IOZ kleiner werden, damit eine bessere Zentrierung erreicht wird und Luftblasen um den Apex vermieden werden.

Ein zentraler kleinflächiger Keratokonus nimmt ein kleineres Areal der Kornea ein und wird durch die Progression noch kleiner. (Abb. 33a und 33b). In diesem Fall muss der Durchmesser der IOZ verringert und der Rückflächenradius versteilt werden, um eine Ansammlung von Luftblasen um die Konusspitze zu vermeiden. Dadurch werden ebenso eine bessere Zentrierung und eine regelmässige Auflage der Kontaktlinse induziert. (Abb. 34).

### Die Anpassung von Kontaktlinsen mit mittlerem Gesamtdurchmesser (9,4 bis 9,9 mm)

Kontaktlinsengeometrien mit einer IOZ, die mit zunehmendem Gesamtdurchmesser grösser wird, können bei ovalen Keratokonen angepasst werden: Durch die Progression des Keratokonus wird die Fläche der Vorwölbung grösser. Die zunehmende Grösse der IOZ vermeidet eine ausgeprägte Überbrückung des Apex und Luftblasen um die Vorwölbung.

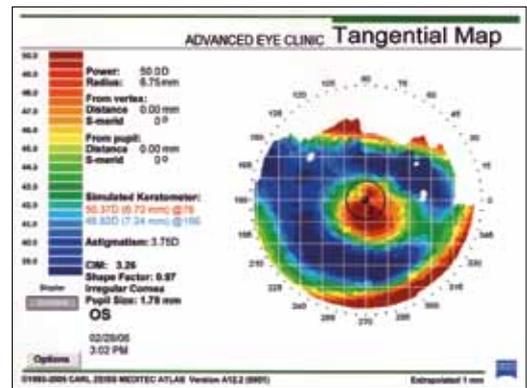


Abb. 33a. Topographie zentraler Keratokonus (frühes Stadium), Topographie

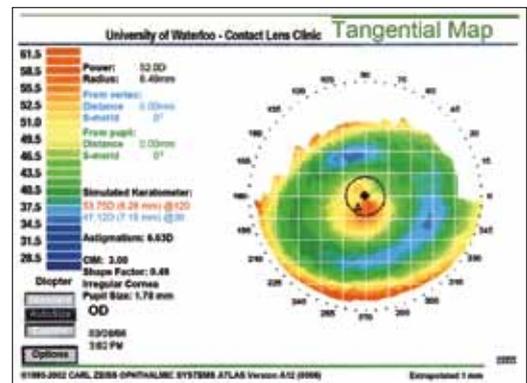


Abb. 33b. Topographie zentraler Keratokonus (spates Stadium)

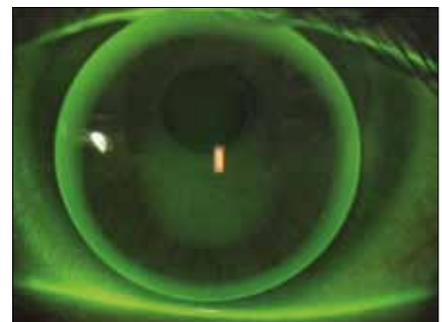


Abb. 34. Fluoreszeinbild einer kleinen Kontaktlinse bei zentralem Keratokonus

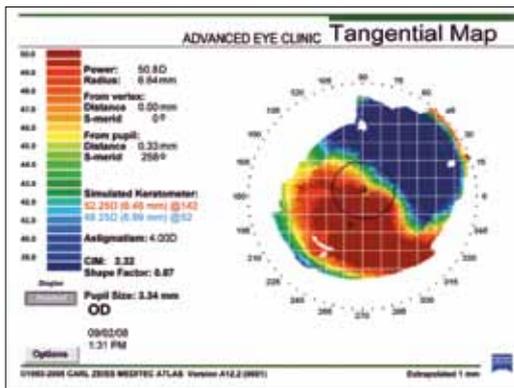


Abb. 35. Topographie beim weit fortgeschrittenen ovalen Keratokonus

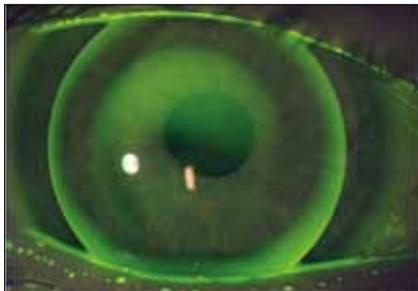


Abb. 35a. Fluoreszeinbild beim weit fortgeschrittenen ovalen Keratokonus

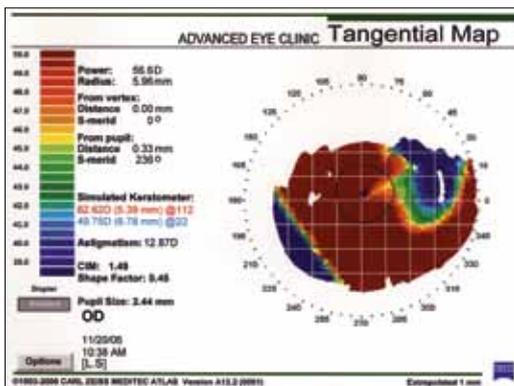


Abb. 36. Topographie Keratoglobus



Abb. 36a. Fluoreszeinbild beim grossflächigen Keratokonus

Die Abbildungen 31, 32, 35 und 36 zeigen die geringere Ausdehnung der Ektasie bei ovalem Keratokonus in frühem Stadium, bzw. die grössere Ausdehnung bei fortgeschrittener Ektasie. Am besten vermisst man die Grösse der Ausdehnung mit Hilfe der Topographensoftware und bestimmt daraufhin den Durchmesser der IOZ und den Gesamtdurchmesser der Kontaktlinse, wobei mit zunehmender Ausdehnung die IOZ und der Gesamtdurchmesser grösser und die Basiskurve steiler werden sollte. Somit wird eine Dreipunktauflage bei nicht zu grosser apikaler Auflage erzielt.

In den Abbildungen 31a, 32a, 35a und 36a ist jeweils eine Dreipunktauflage der Kontaktlinse zu sehen. Mit dieser Anpassung werden Verletzungen der Kornea durch eine optimale Druckverteilung minimiert, das irreguläre Zentrum vor der Pupille wird durch den Tränenfilm ausgeglichen, so dass seine optimale Sehschärfe mit einer formstabilen Kontaktlinse erreicht wird. Messlinsen basierend auf dem mehrkurvigen Design von McGuire™ oder Soper haben vom Gesamtdurchmesser abhängige Durchmesser der IOZ. Beispielsweise sind folgende Kontaktlinsen vergleichbar:

IOZ  $\varnothing$  5,75 mm/KL  $\varnothing$  9,00 mm für den beginnenden Keratokonus, IOZ  $\varnothing$  6,25 mm/KL  $\varnothing$  9,60 mm (für den Keratokonus im mittleren Stadium) oder IOZ  $\varnothing$  7,00 mm/KL  $\varnothing$  10,10 mm (für den fortgeschrittenen Keratokonus)

### Die Anpassung von Kontaktlinsen mit grossem Gesamtdurchmesser (10,0 bis 12,8 mm) und Korneosklerallinsen (12,9 bis 13,5 mm)

Auch bei fortgeschrittenem Keratokonus können Kontaktlinsen mit einer grossen IOZ angepasst werden, um eine starke Belastung des Apex zu vermeiden. In Abb. 36a ist dargestellt, wie bei einer grossflächigen Vorwölbung eine Kontaktlinse mit einer grossen IOZ und einem grossen Gesamtdurchmesser ein gutes Sitzverhalten mit einer leichten Dreipunktauflage aufweist. Die Kontaktlinse ist asphärisch mit einem Gesamtdurchmesser von 10,20 mm und einer sphärischen IOZ von 9,20 mm. Ebenso in Frage kommen Gesamtdurchmesser von 10,40 mm (Abb. 37). Noch grössere Gesamtdurchmesser (z.B. 11,20 mm) finden beim grossflächigen Keratokonus Verwendung (Abb. 38 und 39 oder Abb. 37, 10,40 mm, Abb. 38 11,0 mm, sphärische Korneosklerallinsen mit Gesamtdurchmessern von 12,90 bis 13,50 mm wie in Abb. 40)

Tabelle 4 fasst den Zusammenhang zwischen dem Durchmesser der IOZ und der Grösse der Ektasie zusammen. Tabelle 5a und

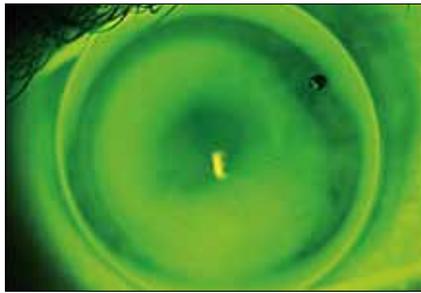


Abb. 37. Durchmesser 10.40mm

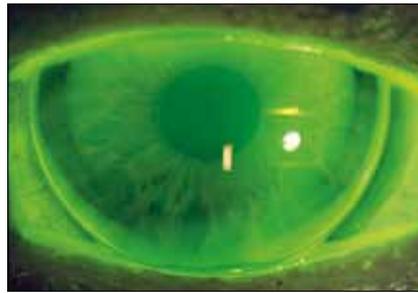


Abb. 38. Durchmesser 11.20mm (sphärisch)



Abb. 39. asphärische KL mit Dt 11,2 mm

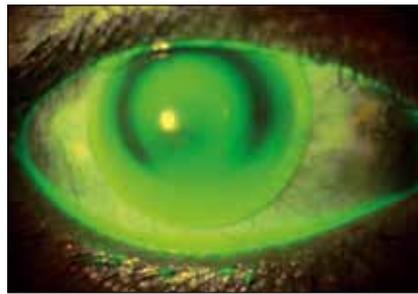


Abb. 40. KL mit Dt 13,5 mm

5b gibt einen Überblick über den Zusammenhang zwischen dem Durchmesser und r0 der IOZ.

**Die Anpassung von Semisklerallinsen (Dt 13,6 bis 14,9 mm) oder Minisklerallinsen (Dt 15,0 bis 18,0 mm)**

Seit Semisklerallinsen bei stark irregulären Korneae wie sie bei fortgeschrittenem Keratokonus, PMD, Zustand nach Verletzungen, perforierender Keratoplastik, PRK (photorefraktive Keratektomie) und LASIK sowie bei Ektasien nach refraktiver Chirurgie auftreten, zum Einsatz kommen, ist die Kenntnis

der Sagittaltiefe der zu versorgenden Kornea bei der Auswahl der Kontaktlinsenparameter hilfreich. Um ein Tränenreservoir unter der Kontaktlinse zu erhalten sollte die Sagittaltiefe der Kontaktlinse idealerweise grösser als die der Kornea sein. Wird die Kontaktlinse jedoch mit einer zu grossen Sagittaltiefe in Relation zur Hornhaut angepasst, so sammeln sich Luftblasen unter der Kontaktlinse an.

Die Sagittaltiefe der Hornhaut kann direkt für jeden Hornhautdurchmesser mit einem OCT (z.B. Visante) gemessen werden. (Abb. 41). Orbscan liefert einen Näherungswert der Sagittaltiefe über den Hornhautdurchmesser (white to white), wobei die Vorderkammertiefe gegeben ist. Die Sagittaltiefe der Hornhaut wird unter Berücksichtigung der zentralen Hornhautdicke ermittelt. Andere Topographen wie z.B. Medmont messen die Sagittaltiefe direkt. Mit jedem Topographen, der einen Wert der Exzentrizität berechnet, kann die Sagittaltiefe unter Anwendung der Formel für prolate Ellipsen berechnet werden, die die numerische Exzentrizität  $e$ , den Radius im flachen Meridian und den halben sichtbaren Irisdurchmesser (HVID) sowie den „Shape Faktor  $p$ “ ( $p = 1 - e^2$ ) verwendet.

$$Sag = \frac{\sqrt{r^2 - p\left(\frac{HVID}{2}\right)^2}}{p} \quad r = \text{Radius im flachen Meridian, } p = \text{Shape Faktor.}$$

Um eine Überbrückung der Kornea sicherzustellen, sollte die Sagittaltiefe der Semisklerallinse geringfügig grösser sein, als die Sagittaltiefe der Hornhaut. Wenn die Kontaktlinsenetikette mit Rückflächenradien beschriftet ist, kann die Sagittaltiefe über folgende Formel berechnet werden.

$$r = \frac{\left(\frac{HVID}{2}\right)^2 - p(sag)^2}{2(sag)}$$

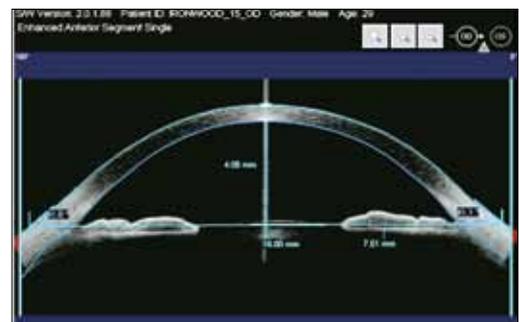


Abb. 41. Sagittaltiefe der Kornea (gemessen mit Visante)

**Tabelle 4. Zusammenhang Ektasiedurchmesser –  $\varnothing$  IOZ/Dt**

Form der Ektasie	Durchmesser der Ektasie	$\varnothing$ IOZ	Dt
<b>Zentral:</b>			
Früh	4,0–5,0 mm	7,40–8,10 mm	9,4–9,6 mm
Fortgeschritten	2,8–3,9 mm	5,00–7,30 mm	8,8–9,3 mm
Weit fortgeschritten	2,0–2,7 mm	3,00–4,90 mm	8,0–8,7 mm
<b>Oval:</b>			
Früh	2,0–4,0 mm	5,25–7,50 mm	8,5–9,6 mm
Fortgeschritten	4,2–5,0 mm	7,60–8,10 mm	9,8–10,1 mm
Stark fortgeschritten	5,2v7,0 mm	8,20–9,40 mm	10,2–11,4 mm
Grossflächig	>7,0 mm	9,20–9,60 mm	10,2–11,4 mm
<b>PMD:</b>			
Früh	5,0–7,0 mm	8,20–9,40 mm	10,2–11,4 mm
Fortgeschritten	7,2–9,0 mm	9,40–10,50 mm	11,4–18,2 mm

**Tabelle 5a. Bestimmung  $r_0$  bei variabler IOZ**

Variabler $\varnothing$ IOZ	$r_0$ (mm)
3,3–4,3 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) – 0,4 mm
3,9–4,6 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) – 0,35 mm
5,1–6,1 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) – 0,3 mm
6,2–7,2 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) – 0,2 mm
7,4–8,0 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm)
> 8,1 BOZD	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) + 0,2 mm

**Tabelle 5b. Bestimmung  $r_0$  bei fixer IOZ**

Fixe IOZ/Dt	$r_0$ (mm)
6,5–7,2/8,5–9,0 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) – 0,2 mm
7,3–7,5/9,2–9,6 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm)
7,6–8,1/9,8–10,1 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) + 0,15 mm
8,2–8,6/10,2–10,6 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) + 0,2–0,3 mm
8,7–9,4/10,8–11,4 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) + 0,4 mm

Die Anpassenleitung des Herstellers empfiehlt basierend auf der Progression des Keratokonus eine erste Messlinse.

Um eine Tränenunterspülung im mittleren peripheren Bereich zu erreichen, müssen die peripheren Kurven der Kontaktlinse (entweder der zweite oder dritte periphere Radius oder die asphärische Zone)

- abgeflacht (wenn keine Überbrückung vorhanden ist), oder
- versteilt (wenn eine sehr starke Überbrückung mit Luftblasen vorhanden ist) werden.

Die Skleralzone als letzte Zone der Kontaktlinse kann mit neueren OCT Geräten (z.B. RT-Vue OCT, Clarion Medical Tech; Visante OCT, Zeiss Meditec, CA) oder mit einer Profilbetrachtung in der Spaltlampe beurteilt werden. Die Auflage wird über die Durchlässigkeit der konjunktivalen Blutgefäße oder über das Fluoreszeinbild evaluiert.

S Abb.s 42, 42a, 42b und 43, Beispiele für Semisklerallinsen.

## Kontaktlinsengeometrie der Peripherie

### Bestimmung der axialen Randabflachung (AEL)

Zuletzt wird die Randgestaltung der Kontaktlinse festgelegt. Sie ist dafür verantwortlich, dass die Physiologie der Kornea nicht beeinträchtigt wird. Die Randgestaltung wird über zwei Faktoren bestimmt: die axiale Randabflachung (AEL) und den axialen Randabstand (AEC). Dieser wird über die Tränenfilmdicke (TFD) zwischen der Kontaktlinse und der Kornea bestimmt. (Abb. 44).

Für den beginnenden Keratokonus sind standardisierte Kontaktlinsen mit einer axialen Randabflachung (AEL) von 120  $\mu\text{m}$  oder einer asphärischen Kontaktlinse (z.B. Boston Envision™) mit einer leicht erhöhten Randabflachung geeignet. Diese Werte basieren auf durchschnittlichen Hornhautexzentrizitäten von 0,45 bis 0,55. Sobald der Keratokonus fortschreitet und dadurch die Kornea eine höhere Sagittaltiefe und höhere numerische Exzentrizitäten aufweist, sind mehrkurvige Kontaktlinsen mit grösseren IOZ und höheren axialen Randabflachungen (200 bis 350  $\mu\text{m}$ ) besser geeignet. Bei fortschreitender Progression des Keratokonus und numerischen Exzentrizitäten von 0,75 bis 1,00 können axiale Randabflachungen bis zu 650  $\mu\text{m}$  verwendet werden.

Messlinsen haben standardisierte periphere Abflachungen mit überdurchschnittlicher axialer Randabflachung. Nur wenn im Fluoreszeinbild eine leichte Dreipunktauflage bei unzureichend (häufig) oder sehr ausgeprägtem abstehenden Randprofil zu sehen ist, muss die Randabflachung modifiziert werden. Solange die zentrale Auflagefläche der Kontaktlinse ideal ist, muss die Randabflachung nicht verändert werden, wenn eine nicht adäquate periphere Auflagefläche Ursache eines Steil- oder Flachsitzes der Kontaktlinse ist. Vorausgesetzt, dass der

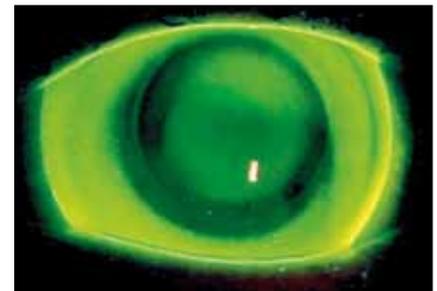
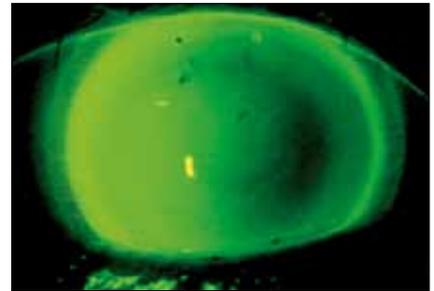


Abb. 42, 42a und 42b. 15,8 mm Durchmesser

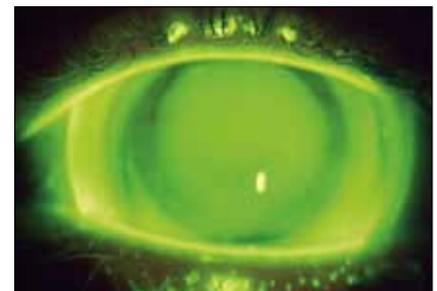


Abb. 43. 18,2 mm Durchmesser

Rückflächenradius  $r_0$  der Kontaktlinse optimal angepasst wurde, können die peripheren Radien gezielt modifiziert werden.

Werden Modifikationen der peripheren Radien bei Kontaktlinsen mit kleiner IOZ (3,7 bis 5,1 mm) vorgenommen, so beeinflusst dies die zentrale Auflage der Kontaktlinse. Aufgrund der erhöhten Sagittaltiefe durch die steilere Peripherie, erscheint das Zentrum der Kontaktlinse ebenfalls steiler. Hersteller kompensieren diese Abweichungen vom Standard, indem der Rückflächenradius gewöhnlich um 0,05 mm und somit die Stärke um 0,25 dpt angepasst werden. Aus einer flacher gewählten Peripherie im Vergleich zum Standard resultiert eine geringere Sagittaltiefe und somit eine zentrale Auflage der Kontaktlinse. Auch dies kompensiert der Hersteller, indem der Rückflächenradius steiler und dementsprechend die Stärke angepasst wird. Bei einer Nachbestellung ist zu vermerken, dass es sich bei den Bestellwerten um bereits kompensierte Werte handelt und nicht nochmals umgerechnet werden müssen.

Im Allgemeinen müssen bei Kontaktlinsen mit grösserer IOZ ( $> 6,25$  mm) keine Kompensationen vorgenommen werden, da sich dort Änderungen der Sagittaltiefe im Sitzverhalten und im Fluoreszeinbild aufgrund der angepassten peripheren Abflachung weniger stark bemerkbar machen. Diese Kontaktlinsen können mit verstellter oder abgeflachter Peripherie und axialem Randabstand bei unverändertem Rückflächenradius bestellt werden. Ist diese neue Kontaktlinse wiederum eine Messlinie, so kann anhand des damit erzielten Fluoreszeinbildes abgeschätzt werden, ob weitere Parameteranpassungen notwendig sein werden.

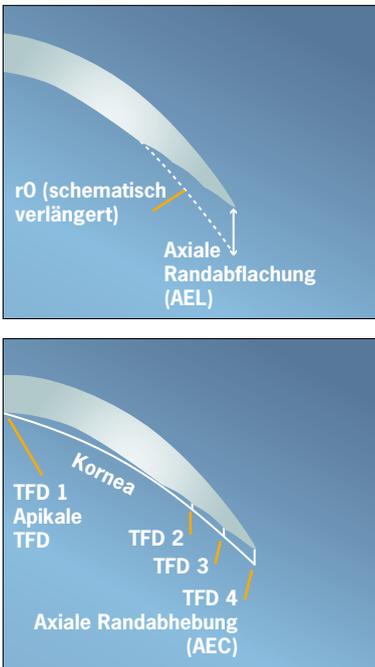


Abb. 44. AEL und AEC der Kontaktlinse

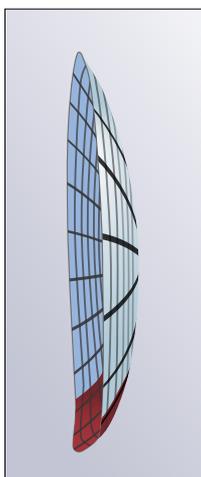


Abb. 45. Quadrantenspezifische Geometrie

### Torische oder asymmetrische Peripherie

Moderne Kontaktlinsendesigns basieren auf topographischen Daten und werden auch Irregularitäten der Peripherie gerecht. Diese Kontaktlinsen sind mit torischer oder quadrantenspezifischer Peripherie gefertigt. Es können periphere Torizitäten unterschiedlichster Gestalt hergestellt werden.

Periphertorische Kontaktlinsen sind dann indiziert, wenn aus der Topographie ersichtlich ist, dass der inferiore Bereich der Kornea stärker versteilt. Dies hat zur Folge, dass eine rotationssymmetrische Kontaktlinse in diesem Bereich absteht und das Unterlid irritieren kann. Einige Geometrien haben eine Standardabflachung in  $90^\circ$  und eine verstellte Peripherie in  $270^\circ$ . Zur Stabilisation der Kontaktlinsen auf dem Auge wird ein Prismenballast von 1 bis 1,25 pdt in  $270^\circ$  angebracht.

Diese Kontaktlinsen sind ebenso zur Versorgung bei PMD geeignet, wobei der verdünnte und verstellte Bereich der Kornea um ein Vielfaches tiefer lokalisiert ist, im Vergleich zum Keratokonus. (Abb. 45).

## Sitzbeurteilung

### Fluoreszeinbild

Die Beurteilung des Fluoreszeinbildes sollte unter Verwendung eines Kobaltfilters im Beleuchtungsstrahlengang und unter Vorschalten



Abb. 46. Boston Gelbfilter

eines Gelbfilters im Beobachtungsstrahlengang erfolgen. (Abb. 46). Damit möglichst wenig Fluoreszein auf die Kontaktlinsenvorderfläche gelangt, sollte der angefeuchtete Fluoreszeinstreifen auf die bulbäre Konjunktiva aufgetupft werden. Da die meisten

Keratokonussmesslinsen standardisierte axiale Randabflachungen haben, sind bei fortgeschrittenem Keratokonus und hohen Exzentrizitäten höhere periphere Abflachungen nötig. Um das Fluoreszeinbild richtig beurteilen zu können, muss Tränenflüssigkeit unter die Kontaktlinse gepumpt werden. Die Fluoreszeinbildbeurteilung sollte 5-20 Minuten nach dem Aufsetzen der Kontaktlinse auf das Auge geschehen. Besonders bei Kontaktlinsen, die ihre Auflagefläche auf der Sklera finden, kann das Sitzverhalten durch das Verziehen der Kontaktlinse nach einiger Zeit enger und fester sein.

#### Dreipunktauflage (Auflageverteilung)

Generell ist eine leichte Dreipunktauflage mit zentraler Auflage und einer Auflage in der mittleren Peripherie akzeptabel. Die Lokalisation der zentralen Touchierung hängt von der Lage der Apexspitze ab. Bei einem zentralen, kleinen Keratokonus wird die Touchierung ebenfalls zentral, hingegen beim ovalen Keratokonus nach seitlich unten dezentriert sein. Die anderen Auflageflächen liegen meist entlang des flachen Hornhautmeridians, oft horizontal beim Keratokonus und vertikal bei der PMD. Die flachere periphere Auflage der Kontaktlinse in einem Bereich von 0,50 bis 0,70 mm kann durch eine erhöhte periphere Abflachung angestrebt werden. (Abb. 47).

#### Apikale Touchierung

Bei zu flach gewählter Basiskurve kann eine ausgeprägte apikale Touchierung Stippen und Narbenbildung verursachen. Kontaktlinsen mit grossem Kontaktlinsendurchmesser und Lidbedeckung müssen flacher angepasst werden, als ursprünglich gedacht: Bei Keratokonen mit grosser Ektasie kann die erhöhte Sagittaltiefe eine ausgeprägte apikale Touchierung vermeiden. Abb. 48: Apikale Stippen durch zu hohen Druck einer flachangepassten Kontaktlinse. Diese Anpassart ist zu vermeiden.

#### Apikale Überbrückung

Eine ausgeprägte apikale Überbrückung sollte vermieden werden. Eingeschlossene Luftblasen können den Tragekomfort und die Sehschärfe reduzieren. Die reduzierte Sehschärfe kann auch durch eine durchgebogene Kontaktlinse verursacht werden, da dann die Tränenlinse torisch wird. (Abb. 49). Durch eine ausgeprägte Steilanpassung können die Hornhautradialen zentral versteilen, wodurch eine Myopisierung hervorgerufen wird.

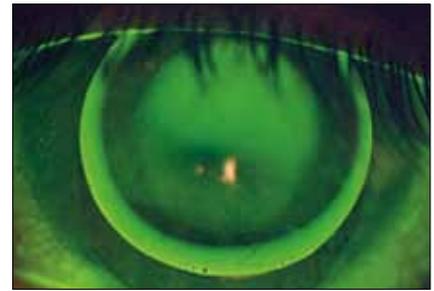


Abb. 47. Fluoreszeinbild einer Dreipunktauflage (Verteilung der Auflage)



Abb. 48. Fluoreszeinbild Flachanpassung (zentrale Belastung)

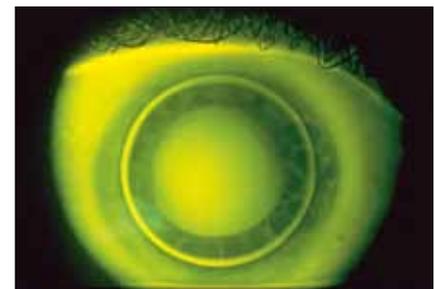


Abb. 49. Fluoreszeinbild Steilanpassung (apikale Überbrückung)

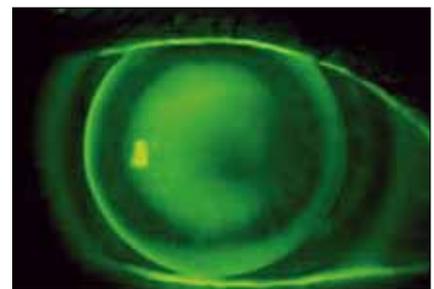


Abb. 50. Optimale periphere Auflage (sphärische Kontaktlinse)

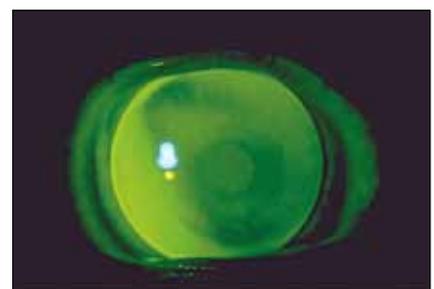


Abb. 51. Optimale periphere Auflage (asphärische Kontaktlinse)

Wenn man sich die Topographien betrachtet und versteht, dass beim Keratokonus die Werte der numerischen Exzentrizitäten erhöht sind, so kann man auch nachvollziehen, warum Änderungen der Peripherie (Versteilen oder Abflachen) notwendige Massnahmen sind, damit eine ideale Auflage der Kontaktlinse erzielt wird.

### Idealer axialer Randabstand

Wenn im Zentrum eine optimale Auflage erreicht wurde, können die peripheren Parameter gezielt modifiziert werden. Idealerweise sollte die mittlere Peripherie tangential zur Kornea verlaufen und in diesem Bereich eine parallele Auflage verursachen. (Abb. 50). Unter Verwendung von asphärischen peripheren Kurven, ist die Auflagefläche der Kontaktlinse homogener. (Abb. 51). Die Peripherie der Kontaktlinse sollte 100 bis 120  $\mu\text{m}$  Abstand zur Kornea haben. Kontaktlinsen mit einem grösseren Gesamtdurchmesser stehen durch die stärkere Abflachung in der Peripherie (z.B. durch erhöhte axiale

Randabflachungen) mehr ab als vergleichbare Kontaktlinsen mit geringem Gesamtdurchmesser. Diese Gestaltung des Randbereiches ist für die Bewegung der Kontaktlinse, eine ausreichende Zentrierung, den Tränen austausch und das Herausspülen von Fremdkörpern unter der Kontaktlinse unabdingbar.

Ein gleichmässiges Abstehen des Randprofils von 0,70 mm wird als ideal angesehen. Bei grossflächigen, tiefliegenden Ektasien sollte die IOZ und der Gesamtdurchmesser so gewählt werden, dass der untere Rand der Kontaktlinse leicht vom Unterlid bedeckt ist, trotzdem aber bei Freigabe des Unterlides eine gleichmässige Randunterspülung zu beobachten ist. Um dies zu erreichen, kann die Versteilung oder Abflachung des Randprofils, evtl. auch nur in einem Quadranten vonnöten sein.

### Minimales Randprofil

Ein Minimum oder gar kein Abstehen des Randprofils ist, gleich bei welchem Kontaktlinsendurchmesser, nicht tolerierbar. Dies kann zu peripheren Abdrücken, einer Verformung der Kornea, Stippen, reduzierter Kontaktlinsenbeweglichkeit, reduziertem Tränenfilmaustausch, Hornhautödem und entzündlichen Prozessen führen. Kontaktlinsen mit einem Randprofil, das kaum eine Unterspülung erlaubt, tendieren zur Zentrierung über dem Apex, der nasal, temporal oder inferior verschoben sein kann. (Abb. 52).

### Exzessives Abstehen des Randbereichs

Ein ausgeprägtes Abstehen des Randbereichs der Kontaktlinse verursacht Irritationen und Fremdkörpergefühl. Steht die Peripherie der Kontaktlinse so weit ab, dass der Kontaktlinsenrand über das Unterlid ragt, so kann die Kontaktlinse bei seitlichen Blickbewegungen sich vom Auge lösen. (Abb. 53). Das Oberlid kann durch einen stark abstehenden Rand die Kontaktlinse unter dem Lid an den Bulbus drücken, was eine Abflachung der Radien über dem Apex verursacht.

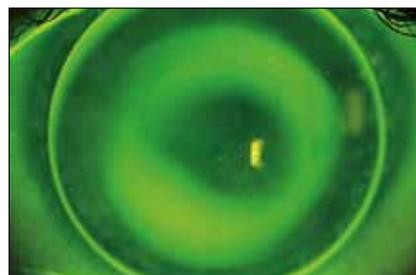


Abb. 52. Minimale Randunterspülung

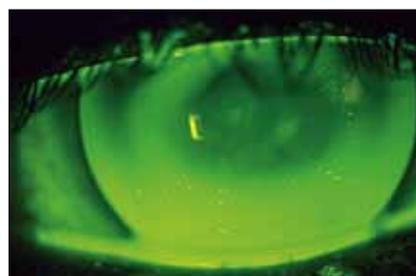


Abb. 53. Exzessives Abstehen des Randbereichs (die KL sitzt auf dem Unterlid auf.)



Abb. 54. Kontaktlinse mit zentrischem Sitz.

## Zentrierung und Bewegung

Die Kontaktlinse sollte, wie bei jeder interpalpebralen Anpassung, gut zentrieren. (Abb. 54). Die Zentrierung kann über eine ideale Auflage der Kontaktlinse erzielt werden und ist vom adäquat gewählten Gesamtdurchmesser der Kontaktlinse in Relation zum Konusdurchmesser abhängig (bei grossflächigen Konusformen sind dies grössere Gesamtdurchmesser). Die Bewegung der Kontaktlinse ist zur Erhaltung einer intakten Hornhautphysiologie unabdingbar. Die Bewegung der Kontaktlinsen kann bei kleinen Gesamtdurchmessern von 2,00 mm bis zu 0,50 mm bei Kontaktlinsen mit grossem Gesamtdurchmesser reichen. Skleral- und Semisklerallinsen zeigen ein Minimum an Bewegung. Diese Bewegung ist von den Lidkräften, die auf die Vorderfläche der Kontaktlinse beim Lidschlag Druck ausüben und somit einen Pumpmechanismus erzeugen, abhängig. Über den push-up Test ist sicherzustellen, dass die Kontaktlinse beweglich ist und nicht in der Sklera einschnürt.

## Überrefraktion

Wenn die Anpassung der Kontaktlinse optimiert wurde, kann durch eine Überrefraktion die endgültige Kontaktlinsenstärke bestimmt werden. Da die Skiaskopie durch den Scherenreflex beim Keratokonus erschwert ist, kann ein Autorefraktometer zur Ermittlung der Überrefraktion hilfreich sein. In einem ersten Schritt sollte das BSG (bestes sphärische Glas) ermittelt werden. Ist die Sehschärfe damit noch nicht zufriedenstellend, kann geprüft werden, ob Restzylinder vorhanden sind. Wenn diese die Sehschärfe signifikant verbessern, kann dieser astigmatische Restfehler insbesondere bei Presbyopen durch eine zusätzliche Brille, die über die Kontaktlinsen getragen wird, korrigiert werden.

## Fluoreszeinbildsimulation durch den Topographen

Der Gebrauch eines Topographen zur Vermessung und Darstellung der Korneaform und zur sicheren Bestimmung des Rückflächenradius, der IOZ und des Gesamtdurchmessers einer ersten Messlinse, ist für den Kontaktlinsenanpasser von grossem Vorteil. Die Topographensoftware erlaubt dem Anpasser, Voreinstellungen der bevorzugten Kontaktlinsengeometrien zu speichern. Mit etwas Erfahrung können eigene Geometrien mehrkurviger Kontaktlinsendesigns hinterlegt werden. Die Berechnung von Messlinsen oder gar definitiven Kontaktlinsen mit Hilfe der Topographensoftware unterstützt den Anpasser in der Praxis bei der rationellen Anpassung von Kontaktlinsen. Mittels Fluoreszeinbildsimulation können die verschiedenen Anpassarten – Steil-, Flachanpassung oder eine ideale Auflagefläche – dargestellt werden. Einige Beispiele sind in Abb. 55, 56, und 57 zu sehen.

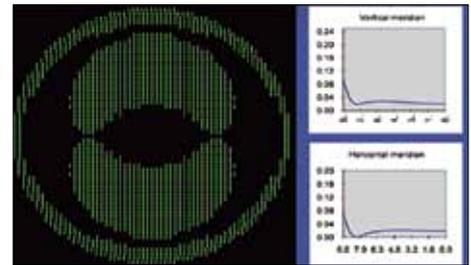


Abb. 55. Ideales Fluoreszeinbild in der Simulation

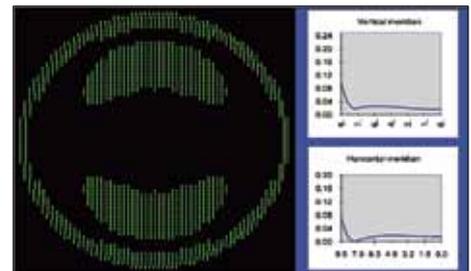


Abb. 56. Zu flache Anpassung/Simulation

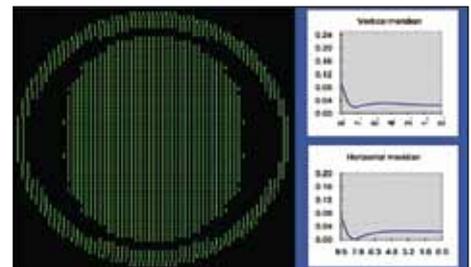


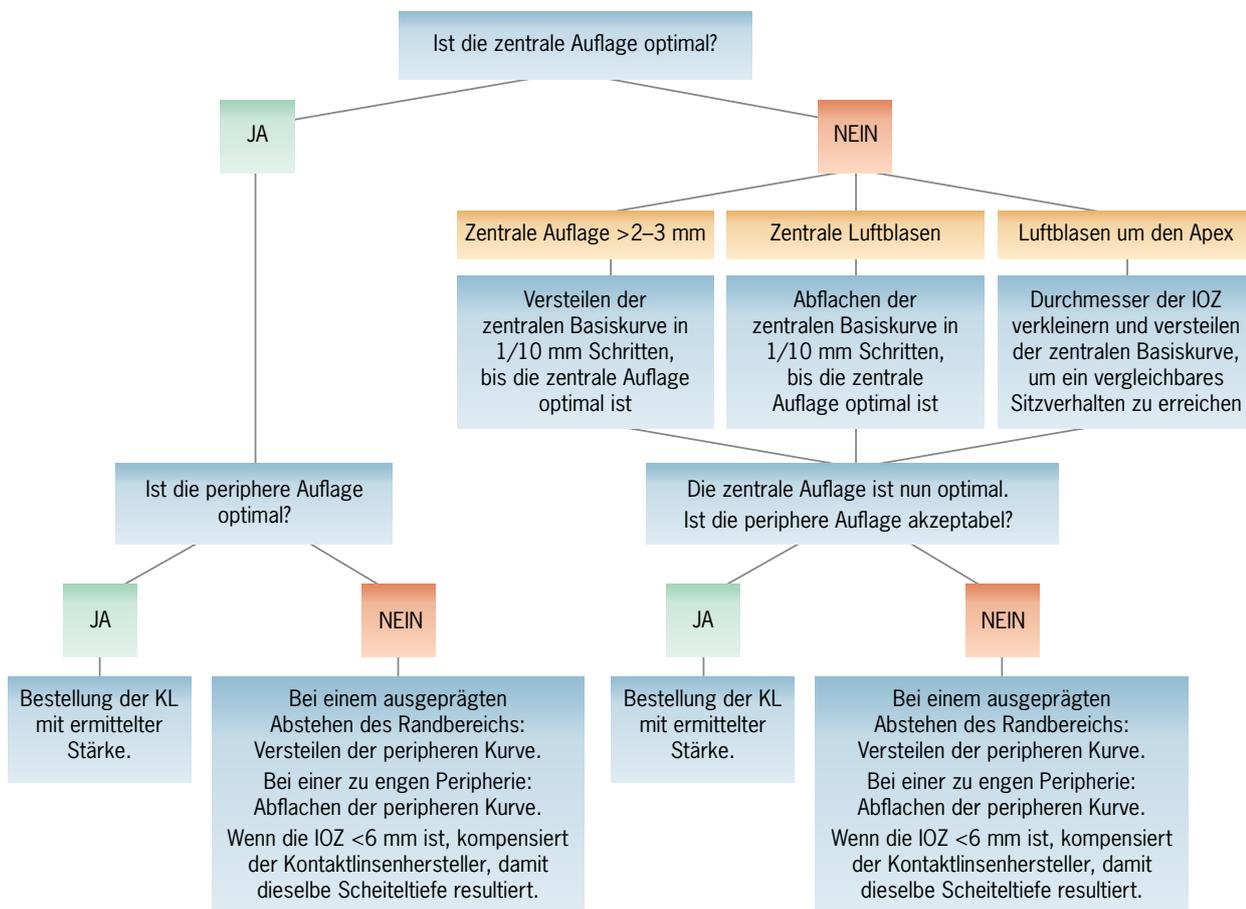
Abb. 57. Steilanpassung/Simulation

# 7. Nachkontrollen

## Nachkontrollen

Bei Keratokonuspatienten sind engmaschigere und häufigere Nachkontrollen im Vergleich zu anderen Kontaktlinienträgern notwendig. Diese Patienten sind treu und schätzen Ihre Arbeit. Sie sehen in Ihnen den Spezialisten und werden Sie weiterempfehlen. Anpassungen der Kontaktlinsenparameter müssen in regelmässigen Abständen durchgeführt werden, solange sich der Keratokonus in einem progressiven Stadium befindet.

Nach der Abgabe der ersten Kontaktlinsen einschliesslich, der Einweisung in den Umgang und Pflege der Kontaktlinsen, sollte eine erste Kontrolle nach einer Woche stattfinden. Weitere Kontrollen sind nach zwei Wochen, zwei Monaten und im ersten Jahr alle drei Monate durchzuführen. Durch regelmässige Nachkontrollen kann die Progressionsrate ermittelt werden. Vierteljährliche Kontrolle müssen folgende Punkte beinhalten: Bestimmung der Sehschärfe, Überrefraktion, Topometrie, Beurteilung der Kontaktlinsenoberfläche, Sitzbeurteilung inkl. Fluoreszeinbildbetrachtung, Spaltlampenuntersuchung mit und ohne Kontaktlinse. Bei jedem Besuch muss der Patient nach folgenden Symptomen befragt werden: Zufriedenheit mit der Sehschärfe, Tragekomfort, Häufigkeit von Fremdkörpern unter der Kontaktlinse, Trockenheitssymptome. Besonderes Augenmerk gilt der zentralen Auflagefläche der Kontaktlinse: ist keine leichte zentrale Touchierung sondern eine offensichtliche starke Auflage oder Überbrückung des Apex zu beobachten, so muss der Kontaktlinsensitz durch Parameteränderungen optimiert werden. Folgende Tabelle zeigt die Vorgehensweise bei Nachkontrollen auf.



Bei starken okulären Schmerzen muss sich der Kontaktlinsenträger schnellstmöglich bei Ihnen melden, da diese Anzeichen eines akuten Keratokonus sein können. Dies erfordert eine sofortige Behandlung. Wenn Sie als Kontaktlinsenanpasser nicht erreichbar sind, sollte der Patient einen Hornhautspezialisten aufsuchen.



Abb. 58. Akuter Keratokonus

Eine frühzeitige Erkennung ist für eine erfolgreiche Behandlung wichtig. (Abb. 58) Erste Anzeichen des akuten Keratokonus können mit einer Kontaktlinsenkaenz und hypertonen Augentropfen, z.B. Muro 128 (B&L) mit anschließender Überweisung zu einem Hornhautspezialisten, behandelt werden. Je nach Ausmass der durch den akuten Keratokonus entstehenden Hornhautnarben, kann eine perforierende Keratoplastik induziert sein. Die Kontaktlinsen sollten auch bei nicht erforderlichen Parameteränderungen jährlich ausgetauscht werden, um sicherzustellen dass sie frei von Ablagerungen und Oberflächenbeschädigungen sind.

## Komplikationen, die einen Kontaktlinsenwechsel bedingen

Folgende Übersicht zeigt Symptome, die einen Kontaktlinsenwechsel notwendig machen:

Symptome	Mögliche Ursachen – Neuanpassung notwendig																			
	Reduzierung der Hornhautdicke	Zu enges Randprofil	Massive Ablagerungen	Exzessive Bewegung der KL	Versteilung der Hornhautradialen	Enge periphere Auflage	Abstehende Peripherie	Erhöhte Hornhautexzentrizität	Flacher/steiler KL-Sitz	Starkes abstehender KL-Rand	Erhöhter irregulärer Astigmatismus	Erhöhte Aberrationen	Dezentration der KL	Durchmesser der KL zu gering	Erhöhte Trockenheit	Grosse IOZ	Kleine IOZ	Vermehrte Hornhautnarben	Hornhautödem	
Vermehrte Hornhautnarben																				
Zentrale Auflage																				
Reduzierte/enge Randaufgabe																				
Dezentration der KL																				
Reduzierte KL-Bewegung																				
3-9° Stippen																				
Zentrale Stippen																				
Zentrale Luftblasen																				
Periphere Luftblasen																				
Reduzierte Sehschärfe																				
Erhöhte Blendempfindlichkeit																				
Halosehen																				
Schwankende Sehschärfe																				
Probleme bei der KL-Abnahme																				
Reduzierter Tragekomfort/sonst. Irritationen																				

## Wechsel im KL-Design

### Änderung des Rückflächenradius (r0)

- Berücksichtigen Sie die veränderte Wirkung der Tränenlinse bei Modifikationen des Rückflächenradius und passen Sie die Kontaktlinsenstärke dementsprechend an.
- Ändern Sie den Rückflächenradius in Stufen von 0,1 mm, um die Auswirkungen dieser Parameteränderung gut zu erkennen.
- Wählen Sie den Rückflächenradius steiler, sobald Sie eine zu starke zentrale Auflage und mögliche oder offensichtliche apikale Hornhautschädigungen erkennen.
- Wählen Sie den Rückflächenradius flacher, sobald Luftblasen, die beim Lidschlag nicht verschwinden, die Sehschärfe beeinträchtigen oder wenn die Kontaktlinse zu fest sitzt.

### Änderung der Innenoptikzone (IOZ)

- Um ein vergleichbares Sitzverhalten zu erreichen, muss bei Änderungen der IOZ (Reduktion oder Vergrößerung) die Sagittaltiefe angepasst werden, indem der Rückflächenradius entsprechend geändert wird. Hierbei sind keine Anpassungen der Kontaktlinsenstärke nötig.
- Vergrößern Sie die IOZ bei gleichbleibendem Rückflächenradius, wenn sich der Durchmesser der Ektasie vergrößert hat, damit eine gleichmässige Auflagefläche entsteht. Aus dieser Modifikation resultiert eine Erhöhung der Sagittaltiefe der Kontaktlinse.
- Reduzieren Sie die IOZ bei gleichbleibendem Rückflächenradius, sobald Luftblasen vor der Pupille sind. Dies verkleinert die Überbrückung um die Ektasie und daraus resultiert eine gleichmässige Auflagefläche. In diesem Fall ist die Kontaktlinsenstärke aufgrund der veränderten Sagittaltiefe und der damit geänderten Tränenlinse umzurechnen.
- Eine Versteilung des Rückflächenradius erfordert eine Umrechnung der Kontaktlinsenstärke in Richtung Minus und umgekehrt.

### Änderung des Gesamtdurchmessers (Dt)

- Erhöhen oder reduzieren Sie den Kontaktlinsendurchmesser ohne die IOZ zu modifizieren, um die periphere Passform zu verändern.
- Eine Erhöhung des Kontaktlinsendurchmessers kann sinnvoll sein, wenn
  - der Durchmesser der Ektasie grösser geworden ist
  - die Kontaktlinse dezentriert
  - 3-9° Stippen vorhanden sind.
- Reduzieren Sie den Kontaktlinsendurchmesser oder wählen Sie ein Material mit einem niedrigeren spezifischen Gewicht, wenn die Kontaktlinse den Limbus berührt. Eine mechanische Belastung des Limbus kann zu Irritationen führen.

### Modifikation der axialen Randabflachung

- Modifizieren Sie lediglich die axiale Randabflachung, wenn die Kontaktlinse im Fluoreszeinbild ein ideales Sitzverhalten aufweist. Die Erhöhung oder Reduktion der axialen Randabflachung bei Kontaktlinsen mit kleiner IOZ kann grossen Einfluss auf die Sagittaltiefe haben, was kompensiert und angeglichen werden muss.
- Um den Tränaustausch unter der Kontaktlinse zu verbessern, kann die axiale Randabflachung erhöht werden. Der Rückflächenradius sollte dann (üblicherweise um 0,1 dpt) versteilt und die Kontaktlinsenstärke in Richtung Minus geändert werden. Wenn die axiale Randabflachung reduziert wird, weil die Kontaktlinse zu hoch sitzt oder der Kontaktlinsenrand stört, gilt das Umgekehrte.

## Sektorielle Modifikation der axialen Randabflachung

- Normalerweise beeinflussen Anpassungen der Kontaktlinse im inferioren Bereich nicht das Sitzverhalten. Das Anbringen eines Prismenballastes kann Auswirkungen auf den Tragekomfort haben.
- Die Verwendung von periphertorischen Kontaktlinsengeometrien können den Tragekomfort erhöhen.
- Ziehen Sie eine quadrantenspezifische Anpassung im Falle der PMD, bei der die Ektasie nach unten dezentriert ist und somit der untere Kontaktlinsenrand irritieren kann, in Erwägung. Ebenso wenn bei grossem Gesamtdurchmesser der Kontaktlinsenrand auf dem Unterlid aufsteht.

## Modifikation der Mittendicke

- Ziehen Sie eine Erhöhung der Mittendicke in Erwägung, wenn die Kontaktlinse verzogen ist und der Verzug nicht Ursache einer Steilanpassung, sondern vielmehr einer zu dünnen Kontaktlinse ist. Eine Erhöhung der Mittendicke um 0,02 mm ist ausreichend, um das Verziehen der Kontaktlinse um 0,75 dpt zu reduzieren.
- Stellen Sie sicher, dass Sie Materialien mit ausreichendem Dk verwenden, um Sauerstoffmangelerscheinungen zu vermeiden.

## Modifikation der Kontaktlinsenstärke

- Liegt die Kontaktlinsenstärke über  $-4,00$  dpt, sollte ein Design in lenticularer Ausführung gewählt werden.
- Aufgrund des irregulären Astigmatismus und des dadurch bedingten Restzylinders bei instabilem Kontaktlinsensitz können Restzylinder nicht immer mit vordertorischen Kontaktlinsen korrigiert werden.

## Neuanpassungen mit geänderten Kontaktlinsendesign

### Wechsel von sphärischer zu asphärischer IOZ

- Der Wechsel von sphärischer zu asphärischer IOZ erfordert eine Anpassung des Rückflächenradius, da die Kontaktlinse um 0,10 bis 0,15 mm flacher wirkt.
- Die Kontaktlinsenstärke ist um 0,50 oder 0,75 dpt in Richtung Plus zu kompensieren. Das Umgekehrte gilt, wenn Sie von einer asphärischen zu einer sphärischen IOZ wechseln. (Abb. 59a und b).

### Wechsel von sphärischer zu asphärischer Peripherie

- Beim Wechsel einer sphärischen mehrkurvigen zu einer asphärischen Peripherie, muss die axiale Randabflachung erhöht werden. Ansonsten liegt die Kontaktlinse in der Peripherie zu eng an und muss abgeflacht werden. Das Umgekehrte gilt beim

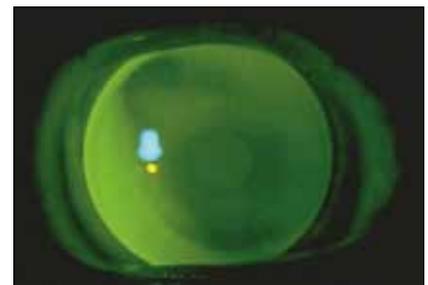
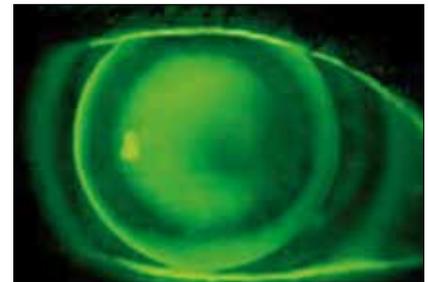


Abb. 59a und 59b. Wechsel von sphärischem zu asphärischem Zentrum

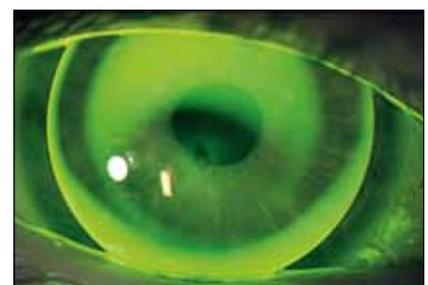


Abb. 60a und 60b. Wechsel von sphärischer zu asphärischer Peripherie

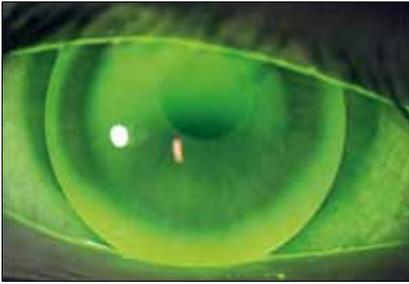


Abb. 61a und 61b. Wechsel fixe zu variabler IOZ

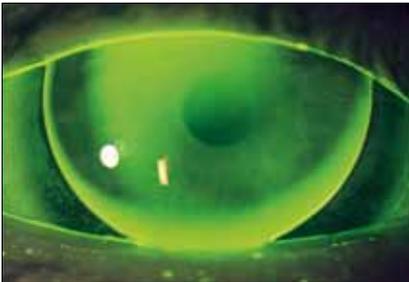


Abb. 62a und 62b. Wechsel Korneallinse zu Semisklerallinse

Wechsel von einer asphärischen Peripherie zu einer sphärischen Gestaltung der Kontaktlinsengeometrie.) (Abb. 60a und b).

### Wechsel von fixer zu variabler IOZ

- Beim Wechsel eines Kontaktlinsendesigns mit fixer zu einem Design mit variabler IOZ, muss die IOZ evtl. in Abhängigkeit vom Rückflächenradius vergrößert oder reduziert werden.
- Bei Kontaktlinsen mit steilen Rückflächenradien und variabler IOZ, ist diese im Durchmesser kleiner.
- Um dasselbe Sitzverhalten der Kontaktlinse zu erhalten, muss die Sagittaltiefe über die Modifikation des Rückflächenradius kompensiert werden. (Abb. 61a und b).

### Wechsel von Korneallinsen zu Semisklerallinsen

- Beachten Sie, dass eine Änderung des Kontaktlinsendurchmessers beträchtliche Auswirkungen auf die Sagittaltiefe haben kann. Dies muss über einen flacheren Rückflächenradius ausgeglichen werden. Die Kontaktlinse muss eher über die Sagittaltiefe als über den Rückflächenradius angepasst werden. Die moderate Dreipunktaufgabe wird durch das typische Fluoreszeinbild bei Semisklerallinsen ersetzt, bei dem die Kornea überbrückt wird und die Kontaktlinse sich auf der Sklera abstützt. (Abb. 62a und b).

# 8. Komplikationen

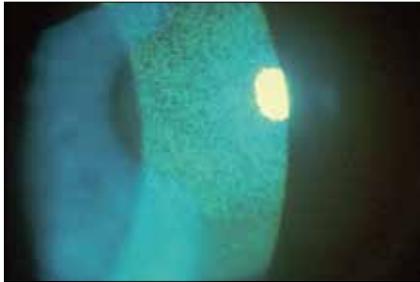


Abb. 63. toxische Reaktion

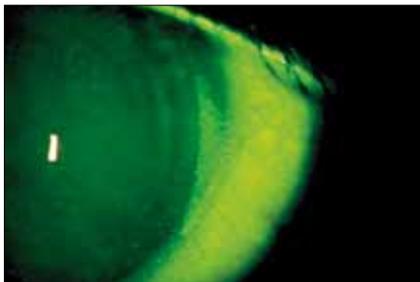


Abb. 64. 3-9° Stippen

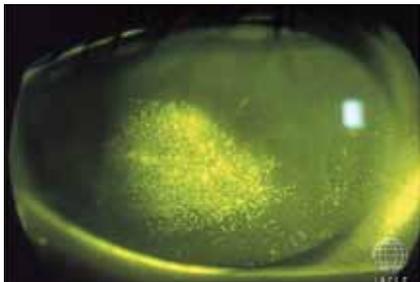


Abb. 65. Grossflächige Stippen

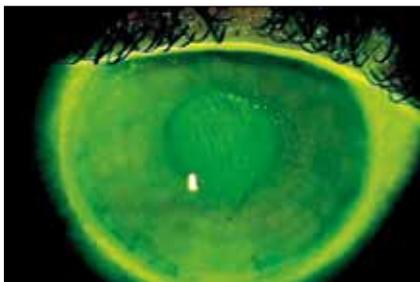


Abb. 66. Wirbelförmige Stippen im Bereich über der Vorwölbung: zu geringer Durchmesser und zu steil (dezentriert)

## Korneale Stippen

Beim Tragen formstabiler Kontaktlinsen bei Keratokonus werden viele Formen von Stippen beschrieben.

### Pflegemittelinduzierte toxische Stippen

Beim Tragen von formstabilen Kontaktlinsen treten pflegemittelbedingte toxische Stippen selten auf. Sie können jedoch als Reaktion auf bestimmte Konservierungsmittel, einschl. Chlorhexidin, Thiomersal, Polyhexanid und Polyquad beobachtet werden. Die Reaktion ist von der Konzentration dieser Komponenten in der Lösung abhängig und kann diffuse korneale Stippungen im Bereich, der von der Kontaktlinse bedeckt wird, hervorrufen. (Abb. 63). Die Prävalenz der Stippen macht einen Wechsel des Pflegemittels nötig und/oder die Kontaktlinsen sollten vor dem Einsetzen mit einer unkonservierten Kochsalzlösung abgespült werden. Auch ist zu beachten, dass konservierte Benetzungstropfen oder Tränenersatzmittel zu diesen Reaktionen führen können. Der Wechsel zu unkonservierten Benetzungslösungen ist daher zwingend erforderlich.

### 3-9° Stippen

3-9° Stippen resultieren aus einer Kombination mehrerer Ursachen. 4-8° Stippen sind meist bei tief- und unten festsitzenden Kontaktlinsen sowie bei einem inkompletten Lidschlag beobachtbar. (Abb. 64). Wenn die Kontaktlinse ein dickes Randprofil oder einen grossen Randabstand hat, reisst der Tränenfilm angrenzend an die Peripherie ab, was zu Stippen führt. Wenn der Kontaktlinsendurchmesser zu klein ist, trocknet die nicht von der Kontaktlinse bedeckte Kornea aus, was vor allem bei Patienten mit trockenen Augen Stippen hervorruft. Der Keratokonuspatient kann auch allergiebedingte Symptome des trockenen Auges sowie eine Dysfunktion der Meibomschen Drüsen haben. Beide Symptome verursachen Stippen. Abhilfe schafft:

- Vergrössern des Kontaktlinsendurchmessers
- Lentikulardesign zur Reduktion der Randdicke
- Sicherstellung einer guten Randunterspülung und Kontaktlinsenzentrierung

Eine sorgfältige Lidrandhygiene und die Behandlung des trockenen Auges ermöglichen adäquate Tragezeiten.

### Flächige oder linienförmig Stippen aufgrund einer Erosio oder Fremdkörper

Wenn die Kontaktlinse an der Korneaoberfläche reibt und irritiert, können grossflächige Stippungen beobachtet werden, meist verursacht

durch eine zu starke Auflage der Kontaktlinse. Verbunden mit Fremdkörpern unter der Kontaktlinse kann dies zur Zerstörung von Epithelzellen führen. (Abb. 65). Sowohl die Hornhauttopographie als auch die Passform der Kontaktlinsenrückfläche sollten zur Problemlösung herangezogen werden. Lösungsansätze können die Reinigung der Kontaktlinsenrückfläche, die Verblendung von Übergängen der peripheren Kurven oder der Wechsel auf ein asphärisches Design beinhalten.

### Apikale Stippen

Apikale Stippen, meist wirbelförmig, entstehen wenn die Kontaktlinse zu flach mit einer apikalen Auflage angepasst wurde und zu stark bewegt (Rotation auf dem Apex) (Abb. 66). Eine dauerhafte Irritation kann zur Vernarbung führen. (Abb. 67). In diesen Fällen hilft eine Entlastung des Apex.

### Dimple veiling (Eindrücke durch Luftblasen unter der Kontaktlinse)

Dimple veiling entsteht durch Luftblasen unter der Kontaktlinse. Physiologisch verursachen sie keine Langzeitkomplikationen, aber sind mit Symptomen von reduziertem Komfort assoziiert. Treten sie zentral auf, beeinträchtigen sie die Sehschärfe. Eine halbe Stunde nach der Kontaktlinsenabnahme verschwinden die Eindrücke in der Korneaoberfläche. Abhilfe schafft:

- die Reduktion der apikalen Überbrückung (wenn die Luftblasen im Bereich des Apex sind)
- die Reduktion der IOZ (wenn die Luftblasen um die Ektasie lokalisiert sind)
- die Reduktion des Randabstandes (wenn die Luftblasen in der Peripherie auftreten) (Abb. 68)

### Sehschärfe

Kontaktlinsen, bei denen die IOZ im Verhältnis zur Ektasie zu gross ist, überbrücken den Apex stark und können durch eingeschlossene Luftblasen die Sehleistung beeinträchtigen. Kontaktlinsen, bei denen die IOZ im Verhältnis zur Ektasie zu klein ist, können in Verbindung mit einer erhöhten Wahrnehmung von Lichtreflexen die Sehleistung reduzieren. Das Problem kann gelöst werden, indem die IOZ an die Grösse der Ektasie angepasst wird.

Die Kontaktlinse kann sich verziehen und beim Lidschlag zu Visusschwankungen führen, wenn sie mit einer zu hohen apikalen Überbrückung angepasst wurde. Die Kontaktlinse sollte an die Apexform angeglichen werden. Wenn auch nach der Änderung des Rückflächenradius die Kontaktlinse sich immer noch verzieht, sollte die Mittendicke modifiziert werden. Eine zentrale starke Auflage der Kontaktlinse sollte nicht Massnahme zur Visusverbesserung sein. (Zadnik (CLEK), Sorbara et al.). Die beste Sehschärfe resultiert aus einer leichten apikalen Touchierung.

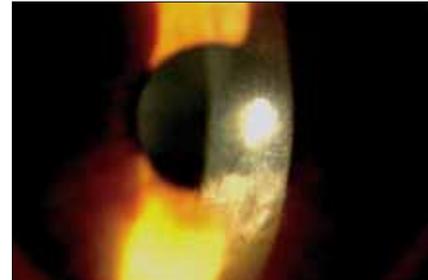


Abb. 67. Apikale Narbenbildung



Abb. 68. Dimple veiling

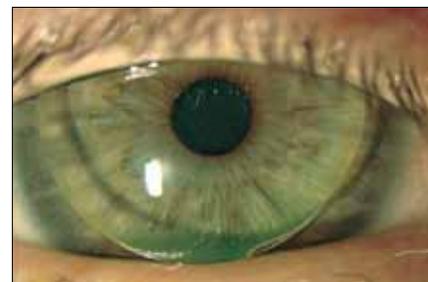


Abb. 69. Peripherie zu flach (dezentriert)

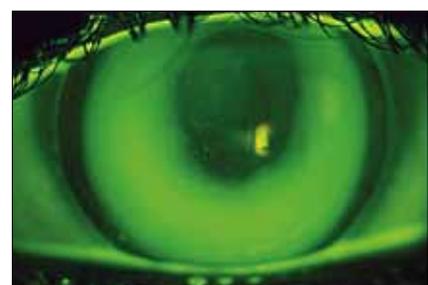


Abb. 70. Peripherie zu steil (nach unten dezentriert)

Beim Keratokonus werden ungewöhnlich hohe Aberrationen höherer Ordnung gemessen. Besonders die sphärische Aberration und die Koma reduzieren die Sehschärfe. Einige Patienten profitieren von der Anpassung von Kontaktlinsen mit asphärischer Vorderfläche.

### Dezentration

Wenn eine Kontaktlinse mit kleiner IOZ auf eine grossflächige Ektasie angepasst wird, ist die Sagittaltiefe zu gering und führt zu einer Dezentration der Kontaktlinse. Vergleichbar dezentrieren Kontaktlinsen mit zu flacher Peripherie oder hoher axialer Randabflachung nach oben und werden vom Oberlid gehalten. (Abb. 69). Der lockere Kontaktlinsensitz beeinträchtigt die Sehleistung und das physiologische Gleichgewicht. Kontaktlinsen mit einer geringen Randunterspülung und einer starken apikalen Überbrückung dezentrieren in Richtung des Apex nach unten und können zu einem inkompletten Lidschlag und Trockenheitssymptomen führen. (Abb. 70).

### Abdrücke auf der Kornea

Eine Kontaktlinse dezentriert dann, wenn die periphere Gestaltung der Kontaktlinse im Vergleich zur Hornhauttopometrie zu flach ist, oder aber wenn eine zu steile Peripherie die Kontaktlinse in ihrer Beweglichkeit einschränkt. Abdrücke entstehen meist beim Übernachts tragen der Kontaktlinsen, können aber auch bei Keratokonuspatienten beim Tagestragen durch eine reduzierte Tränenfilmmenge auftreten. Der wässrige Anteil des Tränenfilms ist reduziert und die Muzinschicht wirkt adhäsiv zwischen Kornea und Kontaktlinse. In solchen Fällen muss die Anpassung modifiziert werden. Benetzungstropfen sollen tagsüber appliziert werden, um die Kontaktlinse zu befeuchten und die Beweglichkeit zu erhöhen. (Abb. 71).

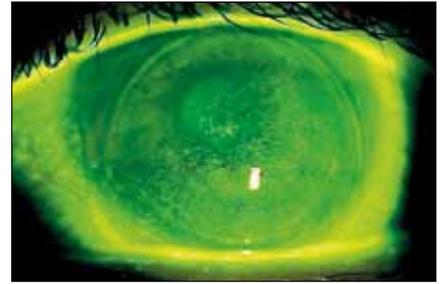


Abb. 71. Abdruck einer Kontaktlinse auf der Kornea

## 9. Literaturverzeichnis

- Al Mezaine HS, Al Amro SA, Kangave D, et al. Comparison between central corneal thickness measurements by oculus pentacam and ultrasonic pachymetry. *Int Ophthalmol* 2008;28:333–8.
- Aldave AJ, Yellore VS, Salem AK, et al. No VSX1 gene mutations associated with keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:2820–2.
- Ang M, Mehta JS, Arundhati A, Tan DT. Anterior Lamellar Keratoplasty Over Penetrating Keratoplasty for Optical, Therapeutic, and Tectonic Indications: A Case Series. *Am J Ophthalmol* 2008.
- Auffarth GU, Wang L, Volcker HE. Keratoconus evaluation using the Orbscan Topography System. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:222–8.
- Bahar I, Kaiserman I, Srinivasan S, et al. Comparison of three different techniques of corneal transplantation for keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2008;146:905–12.
- Betts AM, Mitchell LG, Zadnik K. Visual performance and comfort with the Rose K lens for keratoconus. *Optom Vis Sci* 2002;79:493–501.
- Bilgihan K, Ozdek SC, Sari A, Hasanreisoglu B. Microkeratome-assisted lamellar keratoplasty for keratoconus: stromal sandwich. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1267–72.
- Binder PS, Lindstrom RL, Stulting RD, et al. Keratoconus and corneal ectasia after LASIK. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2035–8.
- Brancati F, Valente EM, Sarkozy A, et al. A locus for autosomal dominant keratoconus maps to human chromosome 3p14–q13. *J Med Genet* 2004;41:188–92.
- Brennan NA, Efron N, Carney LG. Critical oxygen requirements to avoid oedema of the central and peripheral cornea. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1987;65:556–64.
- Burger D, Zadnik K. Keratoconus: Contact Lenses for Pre- and Post-Surgery. St. Louis, Missouri. Mosby, 1997;21-52.
- Cheng AC, Rao SK, Lau S, et al. Central corneal thickness measurements by ultrasound, Orbscan II, and Visante OCT after LASIK for myopia. *J Refract Surg* 2008;24:361–5.
- Colin J, Velou S. Current surgical options for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:379–86.
- Crews MJ, Driebe WT, Stern GA. The clinical management of keratoconus: a 6 year retrospective study. *CLAO J* 1994;20:194–7.
- Dao CL, Kok JH, Brinkman CJ, van M. Corneal eccentricity as a tool for the diagnosis of keratoconus. *Cornea* 1994;13:339–44.
- de Brabander, Chateau N, Marin G, et al. Simulated optical performance of custom wavefront soft contact lenses for keratoconus. *Optom Vis Sci* 2003;80:637–43.
- DeNaeyer GW, Breece R. Fitting techniques for a scleral lens design. *Contact Lens Spectrum* 2009;34–7.
- Donshik P, et al. The Use of Computerized Videokeratography as an aid in Fitting Rigid Gas Permeable Contact Lenses. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1996;XCIV:135–45.
- Dupps WJ, Wilson SE. Biomechanics and wound healing in the cornea. *Exp Eye Res* 2006;83:709–20.
- Edrington TB, Barr JT, Zadnik K, et al. Standardized rigid contact lens fitting protocol for keratoconus. *Optom Vis Sci* 1996;73:369–75.
- Edrington TB, Szczotka LB, Barr JT, et al. Rigid contact lens fitting relationships in keratoconus. Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study Group. *Optom Vis Sci* 1999;76:692–9.
- Edrington TB, Szczotka LB, Begley CG, et al. Repeatability and agreement of two corneal-curvature assessments in keratoconus: keratometry and the first definite apical clearance lens (FDACL). CLEK Study Group. Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus. *Cornea* 1998;17:267–77.

- Ertan A, Kamburoglu G. INTACS implantation using a femtosecond laser for management of keratoconus: Comparison of 306 cases in different stages. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1521–6.
- Galin M, Berger R. Atopy and Keratoconus. *Am J Ophthalmol* 1958;45:904–6.
- Gasset AR, Lobo L. Dura-T semiflexible lenses for keratoconus. *Ann Ophthalmol* 1975;7:1353–7.
- Gemoules G. A novel method of fitting scleral lenses using high resolution optical coherence tomography. *Eye Contact Lens* 2008;34:80–3.
- Giasson CJ, Perreault N, Brazeau D. Oxygen tension beneath piggyback contact lenses and clinical outcomes of users. *CLAO J* 2001;27:144–50.
- Girard LJ, Soper JW. Indications for contact lenses or keratoplasty in keratoconus. *Ophthalmologica* 1965;150:161–6.
- Gonzalez-Meijome JM, Jorge J, de A, Parafita MA. Soft contact lenses for keratoconus: case report. *Eye Contact Lens* 2006;32:143–7.
- Gundel RE, Libassi DP, Zadnik K, et al. Feasibility of fitting contact lenses with apical clearance in keratoconus. *Optom Vis Sci* 1996;73:729–32.
- Haque S, Jones L, Simpson T. Thickness mapping of the cornea and epithelium using optical coherence tomography. *Optom Vis Sci* 2008;85:E963–E976.
- Haque S, Simpson T, Jones L. Corneal and epithelial thickness in keratoconus: a comparison of ultrasonic pachymetry, Orbscan II, and optical coherence tomography. *J Refract Surg* 2006;22:486–93.
- Hom MM. Another perspective on keratoconus contact lens fitting. *J Am Optom Assoc* 1986;57:886–8.
- Hood A. Advanced contact lens fitting: part 3 – hospital contact lens practice. *Optician* 1997;214:16–22.
- Hughes AE, Dash DP, Jackson AJ, et al. Familial keratoconus with cataract: linkage to the long arm of chromosome 15 and exclusion of candidate genes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44:5063–6.
- Hutchings H, Ginisty H, Le G, et al. Identification of a new locus for isolated familial keratoconus at 2p24. *J Med Genet* 2005;42:88–94.
- Kaluzny BJ, Fojt W, Szkulmowska A, et al. Spectral optical coherence tomography in video-rate and 3D imaging of contact lens wear. *Optom Vis Sci* 2007;84:1104–9.
- Kaluzny BJ, Kaluzny JJ, Szkulmowska A, et al. Spectral optical coherence tomography: a new imaging technique in contact lens practice. *Ophthalmic Physiol Opt* 2006;26:127–32.
- Karabatsas CH, Cook SD. Topographic analysis in pellucid marginal corneal degeneration and keratoglobus. *Eye* 1996;10 ( Pt 4):451–5.
- Kayazawa F, Nishimura K, Kodama Y, et al. Keratoconus with pellucid marginal corneal degeneration. *Arch Ophthalmol* 1984;102:895–6.
- Kenney MC, Chwa M, Atilano SR, et al. Increased levels of catalase and cathepsin V/L2 but decreased TIMP-1 in keratoconus corneas: evidence that oxidative stress plays a role in this disorder. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:823–32.
- Kohlhaas M, Spoerl E, Schilde T, et al. Biomechanical evidence of the distribution of cross-links in corneas treated with riboflavin and ultraviolet A light. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:279–83.
- Kok JH, van M. Piggyback lenses in keratoconus. *Cornea* 1993;12:60–4.
- Korb DR, Finnemore VM, Herman JP. Apical changes and scarring in keratoconus as related to contact lens fitting techniques. *J Am Optom Assoc* 1982;53:199–205.
- Krachmer JH, Feder RS, Belin MW. Keratoconus and related noninflammatory corneal thinning disorders. *Surv Ophthalmol* 1984;28:293–322.
- Krachmer JH. Eye rubbing can cause keratoconus. *Cornea* 2004;23:539–40.
- Kymionis G, Portaliou D. Corneal crosslinking with riboflavin and UVA for the treatment of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1143–4.

- Kymionis GD, Siganos CS, Tsiklis NS, et al. Long-term follow-up of INTACS in keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2007;143:236–44.
- Lawless M, Coster DJ, Phillips AJ, Loane M. Keratoconus: diagnosis and management. *Aust NZ J Ophthalmol* 1989;17:33–60.
- Lee BW, Jurkunas UV, Harissi-Dagher M, et al. Ectatic disorders associated with a claw-shaped pattern on corneal topography. *Am J Ophthalmol* 2007;144:154–6.
- Lee LR, Readshaw G, Hirst LW. Keratoconus: the clinical experience of a Brisbane ophthalmologist. *Ophthalmic Epidemiol* 1996;3:119–25.
- Lee R, Ahmed I. Anterior segment optical coherence tomography: Non-contact high resolution imaging of the anterior chamber. *Techniques in Ophthalmology* 2006;4:120–7.
- Leung KK. RGP fitting philosophies for keratoconus. *Clin Exp Optom* 1999;82:230–5.
- Li X, Rabinowitz YS, Tang YG, et al. Two-stage genome-wide linkage scan in keratoconus sib pair families. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:3791–5.
- Lim L, Wei RH, Chan WK, Tan DT. Evaluation of keratoconus in Asians: role of Orbscan II and Tomey TMS-2 corneal topography. *Am J Ophthalmol* 2007;143:390–400.
- Lu F, Simpson T, Fonn D, et al. Validity of pachymetric measurements by manipulating the acoustic factor of Orbscan II. *Eye Contact Lens* 2006;32:78–83.
- Mackie IA. Management of keratoconus with hard corneal lenses: The lens lid attachment technique. *Trans Ophthalmol Soc U K* 1977;97:131–5.
- Maguire LJ, Klyce SD, McDonald MB, Kaufman HE. Corneal topography of pellucid marginal degeneration. *Ophthalmology* 1987;94:519–24.
- Mandell RB. Contemporary management of keratoconus. *Int Contact Lens Clin* 1997;24:43–58.
- Mannis MJ, Zadnik K. Contact lens fitting in keratoconus. *CLAO J* 1989;15:282–9.
- Marsack JD, Parker KE, Applegate RA. Performance of wavefront-guided soft lenses in three keratoconus subjects. *Optom Vis Sci* 2008;85:E1172–E1178.
- Matsuda J, Hieda O, Kinoshita S. Comparison of central corneal thickness measurements by Orbscan II and Pentacam after corneal refractive surgery. *Jpn J Ophthalmol* 2008;52:245–9.
- Mazzotta C, Balestrazzi A, Traversi C, et al. Treatment of progressive keratoconus by riboflavin-UVA-induced cross-linking of corneal collagen: ultrastructural analysis by Heidelberg Retinal Tomograph II in vivo confocal microscopy in humans. *Cornea* 2007;26:390–7.
- McMonnies CW. Keratoconus fittings: apical clearance or apical support? *Eye Contact Lens* 2004;30:147–55.
- McMonnies CW. The evidentiary significance of case reports: eye rubbing and keratoconus. *Optom Vis Sci* 2008;85:262–9.
- Moezzi AM, Fonn D, Simpson TL, Sorbara L. Contact lens-induced corneal swelling and surface changes measured with the Orbscan II corneal topographer. *Optom Vis Sci* 2004;81:189–93.
- Nilforoushan MR, Speaker M, Marmor M, et al. Comparative evaluation of refractive surgery candidates with Placido topography, Orbscan II, Pentacam, and wavefront analysis. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:623–31.
- Norman C, Caroline PJ. Step-by-step approach to managing keratoconus patients with RGPs. *Contact Lens Forum* 1986;11:25–31.
- O'Donnel C, Codina CM. A hyper-Dk piggyback contact lens system for keratoconus. *Eye Contact Lens* 2004;30:44–8.
- Owen H, Watters GA. An evaluation of the keratoconic cornea using computerised corneal mapping and ultrasonic measurements of corneal thickness. *Ophthalmic Physiol Opt* 1996;16:115–23.
- Ozkurt YB, Sengor T, Kurna S, et al. Rose K contact lens fitting for keratoconus. *Int Ophthalmol* 2007.
- Paik DC, Wen Q, Braunstein RE, et al. Initial Studies Using Aliphatic Nitro Alcohols for Therapeutic Corneal Cross-linking. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008.

- Parker J, Ko WW, Pavlopoulos G, et al. Videokeratography of keratoconus in monozygotic twins. *J Refract Surg* 1996;12:180–3.
- Paul T, Lim M, Starr CE, et al. Central corneal thickness measured by the Orbscan II system, contact ultrasound pachymetry, and the Artemis 2 system. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1906–12.
- Rabinowitz Y, Dong L, Wistow G. Gene expression profile studies in human keratoconus cornea for NEIBank. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:1239–46.
- Rabinowitz YS, Garbus JJ, Garbus C, McDonnell PJ. Contact lens selection for keratoconus using a computer-assisted videophotokeratoscope. *CLAO J* 1991;17:88–93.
- Rabinowitz YS, Rasheed K, Yang H, Elashoff J. Accuracy of ultrasonic pachymetry and videokeratography in detecting keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:196–201.
- Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol* 1998;42:297–319.
- Raiskup-Wolf F, Spoerl E. Reply: Long-term results of collagen crosslinking with riboflavin and UVA in keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1617.
- Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, Stulting RD. Risk assessment for ectasia after corneal refractive surgery. *Ophthalmology* 2008;115:37–50.
- Rao SN, Raviv T, Majmudar PA, Epstein RJ. Role of Orbscan II in screening keratoconus suspects before refractive corneal surgery. *Ophthalmology* 2002;109:1642–6.
- Rose P. Improving a keratoconus lens design. *Contact Lens Spectrum* 2005;20:38–42.
- Shapiro MB, France TD. The ocular features of Down's syndrome. *Am J Ophthalmol* 1985;99:659–63.
- Showlin JP. Primary Eyecare: Contact lens “fits” over problem eyes. Vol. 3. 1984;67–9.
- Sindt CW. Basic scleral lens fitting and design. *Contact Lens Spectrum* 2008;23:32–6.
- Sonmez B, Doan MP, Hamilton DR. Identification of scanning slit-beam topographic parameters important in distinguishing normal from keratoconic corneal morphologic features. *Am J Ophthalmol* 2007;143:401–8.
- Sorbara L, Chong T, Fonn D. Visual acuity, lens flexure, and residual astigmatism of keratoconic eyes as a function of back optic zone radius of rigid lenses. *Cont Lens Anterior Eye* 2000;23:48–52.
- Sorbara L, Fonn D, Holden BA, Wong R. Centrally fitted versus upper lid-attached rigid gas permeable lenses: part I. design parameters affecting vertical decentration. *Int Cont Lens Clin* 1996;23:99–104.
- Sorbara L, Fonn D, Holden BA, Wong R. Centrally fitted versus upper lid-attached rigid gas permeable lenses: part II. a comparison of the clinical performance. *Int Cont Lens Clin* 1996;23:121–7.
- Sorbara L, Luong J. Contact lens fitting guidelines for the keratoconic patient using videokeratographic data. *Practical Optometry* 1999;10:238–43.
- Sridhar MS, Mahesh S, Bansal AK, et al. Pellucid marginal corneal degeneration. *Ophthalmology* 2004;111:1102–7.
- Steele C. Contact lens fitting today – fitting for the irregular cornea. *Optometry Today(UK)* 2005;45:32–9.
- Szczotka LB, Thomas J. Comparison of axial and instantaneous videokeratographic data in keratoconus and utility in contact lens curvature prediction. *CLAO J* 1998;24:22–8.
- Tabbara KF, Kotb AA. Risk factors for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology* 2006;113:1618–22.
- Tan BU, Purcell TL, Torres LF, Schanzlin DJ. New surgical approaches to the management of keratoconus and post-LASIK ectasia. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2006;104:212–20.
- Tang M, Shekhar R, Miranda D, Huang D. Characteristics of keratoconus and pellucid marginal degeneration in mean curvature maps. *Am J Ophthalmol* 2005;140:993–1001.
- Teng C. Electron microscope study of the pathology of Keratoconus: Part 1. *Am J Ophthalmol* 1963;55:18–47.
- Trimarchi F, Poppi E, Klersy C. [Deep lamellar keratoplasty]. *J Fr Ophtalmol* 2002;25:718–21.
- Tsubota K, Mashima Y, Murata H, Yamada M. A piggyback contact lens for the correction of irregular astigmatism in keratoconus. *Ophthalmology* 1994;101:134–9.

- Tyynismaa H, Sistonen P, Tuupanen S, et al. A locus for autosomal dominant keratoconus: linkage to 16q22.3–q23.1 in Finnish families. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:3160–4.
- Visser ES, Visser R, van Lier HJJ, Otten HM. Modern scleral lenses, Part I: Clinical features. *Eye Contact Lens* 2007;33:13–20.
- Visser ES. Advanced contact lens fitting: part 5 – the scleral contact lens – clinical indications. *Optician* 1997;214:15–20.
- Wang Y, Rabinowitz YS, Rotter JL, Yang H. Genetic epidemiological study of keratoconus: evidence for major gene determination. *Am J Med Genet* 2000;93:403–9.
- Ward MA, Artunduaga G, Thompson KP, et al. Phototherapeutic keratectomy for the treatment of nodular subepithelial corneal scars in patients with keratoconus who are contact lens intolerant. *CLAO J* 1995;21:130–2.
- Wasserman D, Itzkowitz J, Kamenar T, Asbell P. Corneal topographic data: its use in fitting aspheric contact lenses. *CLAO J* 1992;18:83–5.
- Wei RH, Lim L, Chan WK, Tan DT. Evaluation of Orbscan II corneal topography in individuals with myopia. *Ophthalmology* 2006;113:177–83.
- Winkler T. Corneo-scleral rigid gas permeable contact lens prescribed following penetrating keratoplasty. *Int Cont Lens Clin* 1998;25:86–8.
- Wollensak G, Sporn E, Reber F, et al. Corneal endothelial cytotoxicity of riboflavin/UVA treatment in vitro. *Ophthalmic Res* 2003;35:324–8.
- Wollensak G. Crosslinking treatment of progressive keratoconus: new hope. *Curr Opin Ophthalmol* 2006;17:356–60.
- Woodward E. The role of rigid contact lenses in the management of keratoconus. *J Brit Contact Lens Assoc* 1991;14:211–7.
- Zadnik K, Barr JT, Edrington TB, et al. Baseline findings in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998;39:2537–46.
- Zadnik K, Barr JT, Steger-May K, et al. Comparison of flat and steep rigid contact lens fitting methods in keratoconus. *Optom Vis Sci* 2005;82:1014–21.
- Zadnik K, Mutti DO. Contact lens fitting relation and visual acuity in keratoconus. *Am J Optom Physiol Opt* 1987;64:698–702.
- Zadnik K. Meet the challenge of fitting the irregular cornea. *Rev Optom* 1994;131:77–83.

# Aetiologie und Genetik

Die genauen Ursachen für das Auftreten des Keratokonus sind immer noch nicht bekannt. Folgende Faktoren werden aber mit dem Keratokonus assoziiert:

- Augenreiben
- Tragen von Kontaktlinsen
- Allergien/atopische Leiden
- Down Syndrom
- Bindegewebsschwächen
- Hereditäre Faktoren

Rabinowitz (1998) beschreibt, dass 80% der Keratokonuspatienten in den Augen reiben, während dies bei der übrigen Bevölkerung nur bei 58% zu beobachten ist. In derselben Veröffentlichung findet man, dass 44% der Keratokonuspatienten und 36% der restlichen Bevölkerung unter Allergien leiden. Gleichermassen leiden 15% der Keratokonuspatienten im Vergleich zu 12% der restl. Bevölkerung unter Gelenkproblemen. 10% der Bevölkerung mit Keratokonus haben eine auffällige Familienanamnese im Vergleich zu 0,50% der restl. Bevölkerung.

Mit dem Keratokonus werden 9 verschiedene Chromosomen assoziiert. Viele Faktoren weisen darauf hin, dass der Keratokonus hereditäre Komponenten aufweist:

- Bilateralität (96% der Fälle)
- auffällige Hornhauttopometrie (Videokeratometrie)
- Familienanamnese (in 10 bis 23% der Fälle)
- Anhäufung in Familien
- Studien bei eineiigen Zwillingen
- Segregationsanalyse (Verhältnis = Anzahl der Individuen bei Geschwistergruppen, bei denen im Durchschnitt die Krankheit ausbricht.)
- Gen-Verbindungs und Expressionsstudien

Lysyl Oxidase (LOX) spielt eine Rolle bei der Kollagenvernetzung und kann bei Veränderungen mit dem Keratokonus assoziiert sein. Eine Untersuchung zur Genexpression zeigt, dass Aquaporin 5 (ein Gen, das verantwortlich für den Wassertransport ist und einen Effekt auf die Wundheilung hat) beim Keratokonuspatienten im Epithel unterdrückt wird. Dies war der erste Gendefekt, der mit dem Keratokonus identifiziert wurde.

In anderen Studien wird beschrieben, dass Umwelteinflüsse zur Entwicklung eines Keratokonus beitragen können. Kontrovers wird diskutiert, ob die Aetiologie des Keratokonus in einem Defekt im Epithel oder im Stroma liegt. Falls der Defekt im Basalepithel, gefolgt vom Stroma oder umgekehrt zu suchen ist, sind eventuell beide Schichten betroffen.

Kenney et al. (*IOVS* 2005) beschrieben, dass oxidativer Stress der Hornhaut die Verdünnung verursacht. Dieser Stress führt zur Apoptose und mechanischer Instabilität. Die Aktivierung diverser Enzyme stört Heilungsprozesse bei Entzündungen und stromalen Trübungen. Parallelen hierzu findet man in Veröffentlichungen zum Keratokonus post Lasik bei Dupps, Randlemann, Binder und Rabinowitz und Tabbara, wo der operative Eingriff den oxidativen Stress der Hornhaut verursacht, in dem eine Ansammlung abnormaler antioxidativer Enzyme wie Dioxide, Peroxyde, Stickoxide zu einer abnormen Zellaktivität und einer Hornhautverdünnung führen.

Wahrscheinlicher ist das Zusammenspiel multipler Gene, die alle in einem gemeinsamen Pfad die Krankheit triggern, sobald sie mit anderen mechanischen Faktoren in Zusammenhang gebracht werden.

# Operative Therapie des Keratokonus

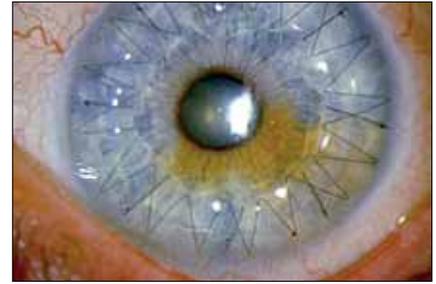


Abb. 1. PKP mit Fäden

### Perforierende Keratoplastik (PKP)

Mit einer Häufigkeit von 26% ist dies die meist angewandte Operation bei Keratokonuspatienten. In 80–90% der Fälle ist diese Operation erfolgreich. Hierbei wird das betroffene Hornhautgewebe in allen Schichten in einem Bereich von 8,00 mm entfernt und durch eine Spenderhornhaut ersetzt. Die Spenderhornhaut wird durch eine doppelte Naht mit der Wirtshornhaut verbunden. (Abb. 1), wodurch meist ein regelmässiger Astigmatismus induziert wird. Nach ca. 6 Wochen kann der Patient mit Kontaktlinsen zur Korrektur des Astigmatismus versorgt werden. Die Retransplantationsrate liegt bei 18%, meist aufgrund von praeoperativen Neovaskularisationen. (Abb. 2)

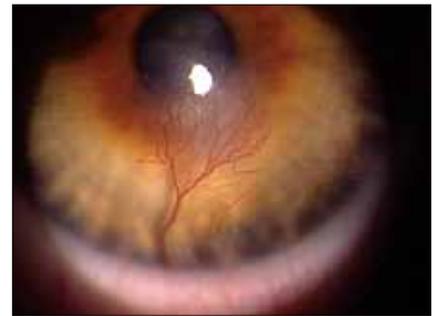


Abb. 2. Neovascularisation und Keratokonus

### Lamelläre Keratoplastik

#### Tiefe lamelläre Keratoplastik (DALK)

Bei dieser Operationstechnik werden über 90% der Wirtshornhaut entfernt, wobei das Endothel erhalten bleibt. Die Spenderhornhaut wird nach der Entfernung der Descemet Membran in ihrer gesamten Dicke transplantiert. Der Vorteil ist der Erhalt des eigenen Endothels, geringeren postoperativen Astigmatismen, früherer Nahtentfernung, verbunden mit geringeren Risiken zur Transplantatsabstossung. Leider induziert die dickere Spenderkornea eine Transplantatsstufe und es können sich postoperative Trübungen und Vernarbungen im Interface zwischen Stroma des Spenders und des Empfängers entwickeln, die die maximal erreichbare Sehschärfe limitieren.

#### Lamelläre Keratoplastik unterschiedlicher Dicke

Das Ziel dieser Operation ist eine Wiederherstellung der normalen Hornhautdicke. Die Wirtskornea wird auf 200 µm reduziert und die Spenderhornhaut auf 400 µm. Anschliessend wird die gleiche Technik wie bei der tiefen lamellären Keratoplastik angewandt. In vielen Fällen resultierten viel bessere Ergebnisse im Vergleich zur DALK, so dass die Autoren dieser Veröffentlichungen diese Technik als zu prüfende Alternative beschreiben. (Tan et al, 2006).

#### Intralamelläre Keratoplastik

Unter Verwendung eines Mikrokeratomes wird bei der Wirtshornhaut ein Flap von 9 mm freigelegt. Mit einem Trepan wird die Spenderhornhaut in einem Durchmesser von 7,0 bis 7,50 mm ausgeschnitten und in das Stroma der Wirtshornhaut eingenäht. Diese Operationstechnik wird als intralamelläre Gewebeeinpflanzung beschrieben. Nach 6 Monaten kann durch eine PRK oder eine LASIK der Astigmatismus korrigiert werden.

Andere Methoden beschreiben die Ausbildung einer 10 mm grossen lamellären Tasche in der Wirtshornhaut. Anschliessend wird eine 9 mm, 200–300 µm dicke Gewebeschicht der Spenderhornhaut in diese Stromatasche eingepflanzt. Leider ist diese Technik mit Ablagerungen im Interface, geringen Oedemen und einem Anstieg oder einer Abnahme der Hornhautdicke von 100–200µm verbunden.

#### INTACS®

INTACS® sind korneale Implantate aus Polymethylmetacrylat (PMMA) mit einer Bogenlänge von 150°. (Abb. 3). Unter Verwendung eines Intralase® Lasers werden mechanische Tunnels präpariert, in die die INTACS® eingeführt

werden. Um der bestehenden Asymmetrie zwischen oberer und unterer Hornhauthälfte zu begegnen und um die Kornea inferior abzuflachen, werden Segmente verschiedener Stärke implantiert. (z.B. im unteren Segment mit einer Dicke von 0,45 mm und einer Krümmung von 8,10 mm, im oberen Segment mit einer Dicke von 0,25 mm und einer Krümmung von 6,80 mm).

INTACS® haben eine hohe Erfolgsrate:

- bei Keratokonus im frühen oder mittleren fortgeschrittenem Stadium mit einer Dezentration des Apex inferior (auch bei PMD)
- Hornhautradien  $< 54,00D$  (6,25 mm), mit einem sphärischen Äquivalent  $< -5,00$  dpt
- wenn die Inzision im steilsten Meridian vorgenommen wird
- bei minimaler Narbenbildung im Bereich der Sehachse

INTACS® können wieder entfernt und ersetzt werden, der Eingriff ist wenig invasiv. Durch die Abflachung der Hornhautradien kann die unkorrigierte Sehschärfe verbessert werden. Nachteilig ist eine, durch die Implantate mögliche, korneale Distorsion und daraus entstehende irreguläre Astigmatismen, die die Versorgung mit Kontaktlinsen erschweren.

### Kollagenvernetzung

Mit einem jüngst entwickelten Verfahren zur Quervernetzung der Hornhaut, steht nun erstmals ein Verfahren zur Verfügung, das durch biomechanische Verfestigung der Hornhaut in der Lage ist, die Progression des Keratokonus aufzuhalten. Durch 0,1% Riboflavinlösung und einer Bestrahlung mit UV-A Licht werden im Kollagen intrafibrillär neue chemische Bindungen erzeugt

und somit das Hornhautgewebe verfestigt. Diese Technik wird bei Keratokonus im Anfangs- oder frühen fortgeschrittenem Stadium, bei einem Minimum einer zentralen Hornhautdicke von 400  $\mu\text{m}$  angewandt. Der Eingriff erfolgt ambulant unter lokaler Anästhesie und dauert ca. 1 h.

Nach Durchführung einer Abrasio des Epithels in einem Durchmesser von 9,00 mm wird während 30 Minuten Riboflavin aufgetropft, im Anschluss wird die Hornhaut für weitere 30 Minuten mit UV-A Licht bestrahlt. Nach dieser Behandlung wird unter der Gabe von Antibiotika eine Verbandslinse aufgesetzt, so dass das Epithel wieder abheilen kann.

Auch wenn dies eine einmalige Behandlung ist, so kann sich die mechanische Verfestigung lockern und eine erneute Kollagenvernetzung indizieren. Die Mehrheit der Studien wurde an Schweine- und Kaninchenaugen durchgeführt. Aus diesen Studien wurde ersichtlich, dass der Cross-linking-Effekt nicht homogen über das behandelte Areal auftritt und dass der Versteifungseffekt sich aufgrund der UV Licht Absorption auf die vorderen 200-300  $\mu\text{m}$  der Hornhaut konzentriert. Langzeitergebnisse bei Menschen versprechen Erfolg: 50-60% der behandelten Keratokonuspatienten, wiesen einen Anstieg der Sehschärfe von mehr als einer Visusstufe auf, jedoch war nur bei 20-29% der Patienten dieser Visusanstieg über die nächsten drei Jahre postoperativ konstant. In der konfokalen Mikroskopie wurde deutlich, dass es ca. 6 Monate Zeit benötigt, bis sich postoperative stromale Oedeme komplett zurückbilden und Keratozyten wieder gebildet werden. Das tiefe Stroma bei 350  $\mu\text{m}$  erscheint durch diesen Eingriff nicht beeinflusst und die Endotheldichte und -morphologie bleiben unbeeinträchtigt. Die Hornhaut von Tieren, die eine Dicke unter 400  $\mu\text{m}$  messen, zeigten nach dem Eingriff eine endotheliale Zytotoxizität, so dass darauf zu schliessen ist, dass dünne Hornhäute nicht von diesem Eingriff profitieren.



Abb. 3. INTACS, Weisslicht

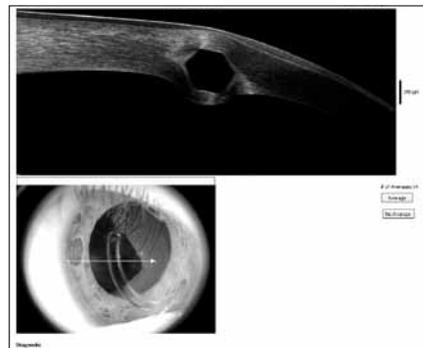


Abb. 4. Querschnittsaufnahme (RTVue) von INTACS®

# Diagnose des Keratokonus unter Verwendung des Orbscan II

Orbscan II ist ein Messinstrument, das nach dem Spaltprojektionsverfahren arbeitet und sowohl die Hornhautvorderfläche als auch die –rückfläche analysiert. Nach der Messung wird die Sphäre (Referenzkrümmung) berechnet, die sich am besten an die mittlere Peripherie der Hornhautoberfläche annähert (Null Evaluation) und berechnet basierend auf dieser Null Evaluation die Höhendaten unter- oder oberhalb dieser Referenzkrümmung in  $\mu\text{m}$ . (Abb. 1) Relativ zu dieser Referenzkrümmung werden die Höhendaten basierend auf der Interpretation folgender Indizes ausgewertet und katalogisiert. Die Auswertung zeigt anschließend, ob die Hornhautparameter im Normbereich oder abnorm sind:

- Dünnsste Hornhautstelle  $<470 \mu\text{m}$
- Unterschied in der zentralen (7 mm) Pachymetrie und der dünnsten Stelle  $>100 \mu\text{m}$
- Die dünnste Hornhautstelle befindet sich in einem Radius von 2,50 mm um das Zentrum
- Flachster Hornhautradius im Zentrum (7 mm)  $<7,45 \text{ mm}$
- Irreguläre, asymmetrisch tangentielle Darstellung
- Unterschiede von mehr als 3 dpt der axialen Stärke in der zentralen 3 mm Zone
- Radius der besten Sphäre  $<6,14 \text{ mm}$
- Im Bereich von 5 mm ist die maximale Vorwölbung über  $50 \mu\text{m}$
- Verzerzte Asymmetrie der Darstellung der Hornhautvorder- und -rückfläche
- Das Maximum der Höhendaten der Hornhautvorderfläche korrespondiert ( $\pm 1 \text{ mm}$ ) mit dem Maximum der Höhendaten der Hornhautrückfläche, oder dem Maximum des vorderen tangentialen Radius oder dem Minimum der Hornhautdicke.
- Das Verhältnis vom Radius der besten Sphäre der Vorderfläche zu Radius der besten Sphäre der Rückfläche ist grösser als 1,2 mm

Untersuchungen zeigen, dass der beste Indikator für einen Keratokonus die Vorwölbung der Hornhautrückfläche um mehr als  $40\text{--}50 \mu\text{m}$  ist.



Abb. 1. Orbscan II Darstellung der Höhendaten mit bester Sphäre

# Die Anpassung von Semi- und Minisklerallinsen

Kontaktlinsen mit grossem Gesamtdurchmesser (14,50 bis 18,20 mm) lassen sich am besten unter Kenntnis der Sagittaltiefe der Hornhaut anpassen. Das Visante OCT erlaubt eine genaue Vermessung der Sagittaltiefe bei jedem Hornhautdurchmesser. Auch mit der Weiterentwicklung moderner Hornhauttopographen kann die Sagittaltiefe der Hornhaut vermessen werden. Die Messung hilft in der Auswahl der ersten Messlinsen, speziell bei Patienten mit fortgeschrittenem Keratokonus oder bei postoperativen Versorgungen. Bei Kontaktlinsen, bei denen die Sagittaltiefe nicht angegeben ist, kann diese manuell über den Gesamtdurchmesser, die numerische Exzentrizität und die Basiskurve berechnet oder in Tabellen abgelesen werden. Bei der Anpassung dieser Kontaktlinsen ist darauf zu achten, dass vor dem Einsetzen Fluoreszein mit unkonservierter Kochsalzlösung in die Wölbung der Kontaktlinse eingebracht werden muss.

### Bestimmung der Sagittaltiefe

Wenn die Sagittaltiefe der Kontaktlinse geringer ist, als die Sagittaltiefe der Hornhaut, wird eine Flachanpassung induziert. (Abb. 1). Eine ausgeprägte Flachanpassung mit starkem Abstehen des Kontaktlinsenrandes verursacht Luftblasen im Randbereich. (Abb. 2) Wird hingegen die Sagittaltiefe der Kontaktlinse grösser als die Sagittaltiefe der Hornhaut gewählt, so ist eine Steilanpassung mit eingeschlossener Luftblase zu beobachten. (Abb.3) Die Reduktion der Sagittaltiefe der Kontaktlinse führt zu einer homogenen Auflagefläche mit leichter zentraler Überbrückung, jedoch ohne zentrale Luftblasen. (Abb. 4).

### Anpassung der Peripherie

In der mittleren Peripherie der Kontaktlinse im Bereich des Limbus sollte die Kontaktlinse leicht überbrücken. Eine zu starke limbale Auflage führt zu mechanischer Belastung, Erosio und reduziertem Tragekomfort. Eine zu grosse Überbrückung schliesst Luftblasen ein und kann in diesem Bereich zu Austrocknungserscheinungen führen. Die mittlere Kontaktlinsenperipherie muss daher je nach Symptomen modifiziert werden. Eine verbesserte Auflage kann auch durch Änderungen des Gesamtdurchmessers erzielt werden.

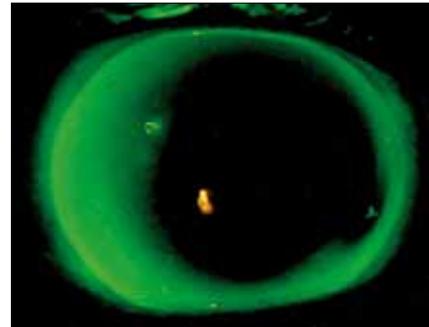


Abb. 1. Flachanpassung (Sagittaltiefe KL < Sagittaltiefe HH)

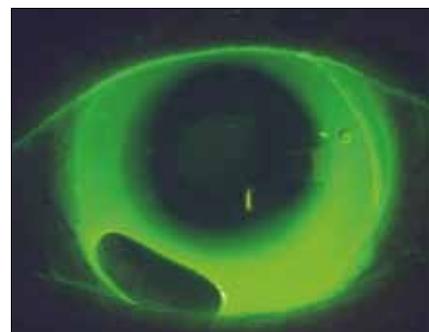


Abb. 2. Flachanpassung mit peripherer Luftblase



Abb. 3. Steilanpassung mit zentraler Luftblase (Sagittaltiefe KL > Sagittaltiefe HH)

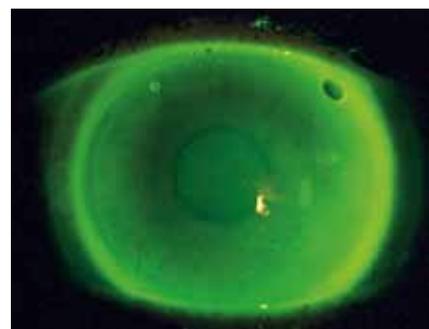


Abb. 4. Ideale Auflage

### **Sklerale Auflagezone**

Die sklerale Zone der Kontaktlinse muss auf der Konjunktiva aufliegen, um den Tragekomfort und die Bewegung sicher zu stellen. Dabei sollte sie weder zu eng aufliegen und Abdrücke erzeugen, noch zu stark abstehen. Mit einem Kontaktlinsensauger (DMV) ist dann die Kontaktlinse leicht vom Auge abnehmbar. Bei einer zu engen skleralen Auflage können konjunktivale Blutgefäße abgeklemmt werden. Sichtbare Abdrücke und Schwellungen nach Kontaktlinsenabnahme sind dann beobachtbar. In diesen Fällen muss die Peripherie abgeflacht werden, jedoch kann eine zu flache Peripherie ein Fremdkörpergefühl induzieren.

# Anpassfälle

## Anpassfall: zentraler Konus mit kleiner Ektasie (frühes Stadium)

Patient SP, 17 Jahre, subjektive Symptome: Visusreduktion, die besonders nachts bemerkt wird, kürzlich Gläserwechsel der Brille. Der Patient ist allergisch und verwendet gelegentlich Benetzungstropfen. Familienanamnese ist unauffällig, der Patient nimmt keine anderen Medikamente.

### Objektiv:

**HVID:** 11 mm, PA = 10 mm, Pupillendurchmesser (photopisch) = 1,78 mm

**BUT:** OU 9 sec.

**Skioskopie:** Scherenreflex, irregulärer Astigmatismus, Veränderung der Achsen und Stärke des Astigmatismus seit der letzten Skioskopie.

**Sehschärfe:** korrigiert 6/7,5<sup>-2</sup>

**Spaltlampenmikroskopie:** Hornhaut, Konjunktiva, Lider und Wimpern:

Symptome	präsent	nicht präsent
Munson`sches Zeichen		■
Fleischer`sche Ring	■	
Vogtsche Spaltlinien		■
Subepitheliale Fibrillen	■	
Prominente Hornhautnerven	■	
Hornhautnarben		■
Zentrale Verdünnung der HH	■	
Neovaskularisation		■
Konjunktivale Hyperämie	■	
Hornhautstippen, zentral		■
Hornhautstippen, peripher		■
Blepharitis	■	
Dysfunktion der Meibom`schen Drüsen	■	

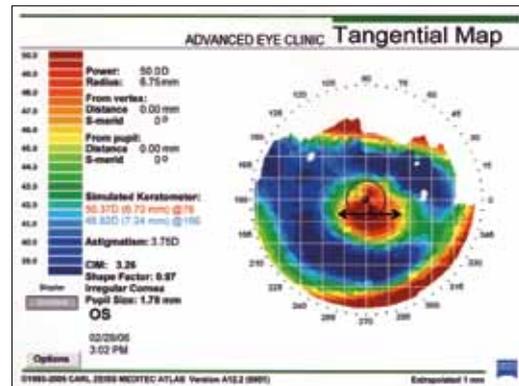


Abb. 1: Topometrie

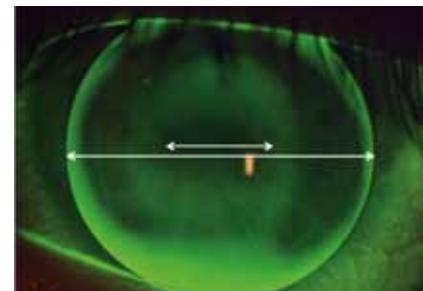


Abb. 2: Fluoreszeinbild

### Videokeratograph:

Sim K (dpt, mm)	46,62 (7,24) @166/50,37 (6,7) @076
Hornhautastigmatismus (dpt)	-3,75 x 166
Mittelwert der zentralen Hornhauradien	(D, mm) 48,50 (6,96)
Steilster Sim K	(D) 50,00
Durchmesser der Ektasie an der steilsten Stelle (mm)	2
Durchmesser der Ektasie (mm)	4,5
Q, e und p Werte*	0,97, 0,98, 0,03

\*Q (Asphärität) = e<sup>2</sup>, e = Exzentrizität, p (shape factor) = 1-Q

## Anpassung

### Schritt 1: Bestimmung der Innenoptikzone (IOZ) und des Kontaktlinsendurchmessers (Dt)

Bei diesem Patient liegt ein Keratokonus in frühem Stadium mit kleiner Ektasie vor. Durch die Progression des Keratokonus und die Versteilung der zentralen Radien wird der Durchmesser der Ektasie kleiner. Bei dieser Form des Keratokonus kommen Kontaktlinsen mit variabler IOZ zum Einsatz, um diese bei kleiner werdender Ektasie entsprechend anzupassen. Dadurch korreliert die Sagittaltiefe der Kontaktlinse bei Parameteränderungen mit dem Durchmesser der IOZ.

Keratokonuserform	Durchmesser der Ektasie	IOZ	Dt
Keratokonus im Anfangsstadium	4,00 bis 5,00 mm	7,4 bis 8,1 mm	9,4 bis 9,6 mm

Verwendete Messlinsen (s. Tabelle 2, S. 13)

Keratokonuserform	Durchmesser der Ektasie	IOZ	Dt
Keratokonus im Anfangsstadium	4,0 mm	5,5 mm	9,4 mm

### Schritt 2: Bestimmung des Rückflächenradius r0

Die Bestimmung des Rückflächenradius erfolgt über zwei Parameter: die Höhe des Hornhautastigmatismus (Tabelle A) und die Grösse der IOZ (Tabelle B).

Zur Umrechnung mm in dpt ist folgende Formel anzuwenden:  $\frac{337,5}{\text{mm od } D} = D \text{ od mm}$

(S. Anhang F: Umrechnungstabelle Keratometerwerte)

#### Tabelle A: Hornhautastigmatismus

$\Delta r$ (dpt)	r0 (dpt) (Dt 9,4 mm)
-0,25 dpt bis -3,75 dpt	flacher HH Radius (dpt) - 0,609 x ( $\Delta r$ )
-4,00 dpt bis -7,50 dpt	flacher HH Radius (dpt) - 0,491 x ( $\Delta r$ )*
-7,75 dpt bis -16,75 dpt	flacher HH Radius (dpt) - 0,354 x ( $\Delta r$ )

\*Mittelwert für IOZ 7,40 mm

**Tabelle B: Grösse der IOZ**

Variable IOZ	r0 (mm)
3,0–3,7 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) –0,4 mm
3,8–4,9 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) –0,35 mm
5,0–6,1 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) –0,3 mm
6,2–7,3 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) –0,2 mm
7,4–8,0 mm	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm)
> 8,1 BOZD	Mittelwert der zentralen HH Radien (mm) + 0,2 mm

Bei einem Gesamtdurchmesser Dt von 9,40 mm, einer sphärischen IOZ von 7,40 mm und zentrischem Sitz der Kontaktlinse wird r0 bei diesem Design berechnet wie folgt:

$\Delta r$ (dpt)	r0 (dpt) (Dt 9,4 mm/IOZ 7,4 mm)
–3,75 dpt	Mittelwert der zentralen HH Radien = 48,50D (6,96 mm)

### Schritt 3: Auswahl der Messlinse

S. Tabelle 2, S. 13: bei diesem Design passt sich die IOZ nicht nur an den Gesamtdurchmesser der Kontaktlinsen Dt, sondern auch an den Rückflächenradius r0 an. Bei steiler werdendem r0 wird der Durchmesser der IOZ grösser. Die ausgewählte Kontaktlinse hat einen kleineren Durchmesser der IOZ (5,50 mm anstatt 7,40 mm), dafür muss der Rückflächenradius r0 angepasst werden (6,96–0,3 mm) = 6,66 mm. In Anlehnung an Tabelle B.

r0	IOZ	periphere radiale Randabflachung	Stärke
6,66 mm	5,50 mm	“Standard”	–6,00 dpt

### Schritt 4: Kontaktlinsensitz

Der Kontaktlinsensitz wird mit dem Lidschlag auf eine gute Zentrierung und Beweglichkeit geprüft. Das Fluoreszeinbild muss unter Verwendung von blauem Licht im Beleuchtungsstrahlengang und einem Gelbfilter im Beobachtungsstrahlengang beurteilt werden. (s. Flussdiagramm auf S. 27.) In diesem Beispiel ist das zentrale Sitzverhalten optimal, die periphere Auflage der Kontaktlinse aufgrund der hohen Exzentrizität der Hornhaut zu eng. Die axiale Randabflachung der Kontaktlinse öffnet nicht ausreichend, so dass keine gute Unterspülung gewährleistet wird.

	Parameter der ersten Messlinse	Modifizierte Parameter
<b>r0</b>	6,66	keine Modifikation
<b>IOZ</b>	5,50	keine Modifikation
<b>Dt</b>	9,40	keine Modifikation
<b>Peripherie</b>	(axiale Randabflachung) “Standard”	um zwei Stufen flacher

### Schritt 5: Überrefraktion, Bestimmung der endgültigen Kontaktlinsenstärke

Um die endgültige Kontaktlinsenstärke zu bestimmen wird über die eingesetzte Messlinse eine Überrefraktion durchgeführt. Zur Bestimmung der objektiven Überrefraktion kann ein Autorefraktometer eingesetzt werden, der kleine Restastigmatismen aufzeigt. Diese sind mit dem Skiaskop schwer zu bestimmen. Die objektive Messung des Autorefraktometers ist ein

guter Startwert für die subjektive Überrefraktion. Anschliessend setzt man aus den erhaltenen Autorefraktometerwerten das best-sphärische Glas (BSG) in die Messbrille ein und gleicht sphärisch ab. Umgerechnet auf den HSA 0 ergibt dieses ermittelte BSG den Wert, der zur Kontaktlinsestärke addiert werden muss.

<b>Stärke der Messlinse</b>	-6,00 dpt
<b>objektive Überrefraktion (Autorefraktometer) (sphäro-zylindrische Kombination)</b>	-4,00/-1,25 x 152°
<b>BSG</b>	-5,00
<b>BSG (HSA 0)/Visus</b>	-4,75 dpt 6/6
<b>Definitive KL-Stärke = Stärke der Messlinse + BSG (HSA 0)</b>	-10,75 dpt

### Schritt 6: Bestellung der definitiven Kontaktlinse

Die Bestellung der definitiven Kontaktlinse enthält folgende Parameter:

Definitives KL Designs: <b>formstabil</b> <input type="checkbox"/> sphärisch <input type="checkbox"/> asphärisch <input type="checkbox"/> mehrkurvige								
Hersteller:					KL-Bezeichnung:			
	r0	SCR/W	PCR/W	Dt	IOZ	Stärke	MD	Farbe
<b>R</b>								
<b>L</b>	6,66	Flat #2	Flat #2	9,4	5,5	-10,75	0,14	blau
Zusätzliche Parameter: _____ Minustragrand _____ verblenden _____ medium _____								
Bemerkungen: _____ Um dieselbe Sagittaltiefe zu erhalten, wird aufgrund der flacher gewählten Peripherie r0 um 1/10 mm steiler gewählt (6,55 mm). Dabei muss die Stärke auf -11,25 dpt umgerechnet werden.								

### Schritt 7: Abgabe der Kontaktlinse und Kontrolltermine

Um die Kornea optimal mit Sauerstoff zu versorgen wurde die Kontaktlinse aus einem hochsauerstoffdurchlässigen Material bestellt. Eine Plasmabehandlung der Kontaktlinsenoberfläche steigert den Tragekomfort. Der Patient soll regelmässig Nachbenetzungstropfen anwenden. Bei der Kontaktlinsenabgabe muss der Sitz und die Sehleistung mit Kontaktlinse kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass die selben Ergebnisse wie bei der Anpassung erreicht werden. Eine Nachkontrolle nach zwei Wochen zeigte bei diesem Patienten optimale Ergebnisse. Keratokonuspatienten müssen in den ersten Tragemonaten häufigeren Kontrollen unterzogen werden, damit die Stabilität der Sehschärfe und des Kontaktlinsensitzes überprüft werden können. Nach drei Monaten muss bei der Nachkontrolle besonders auf das Sitzverhalten und die physiologische Reaktion des Auges auf die Kontaktlinse geachtet werden. Nach sechs Monaten muss erneut eine Pachymetrie und eine Topometrie durchgeführt werden.

## Anpassfall: ovaler Keratokonus, fortgeschrittenes Stadium

Patient JS, 49 Jahre, stellte sich mit folgenden subjektiven Symptomen vor: Visusreduktion, vor allem nachts; mit dem kürzlich verordneten Brillenrezept konnte er keine Verbesserung seiner Sehleistung feststellen. In der Anamnese bestätigte der Patient, Allergiker zu sein und verwendet gelegentlich Augentropfen, da er Symptome von Trockenheit der Augen verspürt. Die weitere Anamnese (Augen-, Eigen- und Familienanamnese) war unauffällig. Der Patient nimmt keine weiteren Medikamente.

### Objektive Messungen

**HH-Durchmesser:** 11,0 mm, PA = 10 mm, Pupillendurchmesser (photopisch) = 3,34 mm

**BUT:** 8 sec. (OU)

**Skioskopie:** Scherenreflex, irregulärer Astigmatismus, Veränderung der Achsen und Stärke des Astigmatismus seit der letzten Skioskopie.

**Visus cc:** korrigiert 6/7,5<sup>-2</sup>

**Spaltlampenmikroskopie:** Hornhaut, Konjunktiva, Lider und Wimpern:

Symptome	präsent	nicht präsent
Munson'sches Zeichen	■	
Fleischer'sche Ring	■	
Vogtsche Spaltlinien	■	
Subepitheliale Fibrillen	■	
Prominente Hornhautnerven	■	
Hornhautnarben		■
Zentrale Verdünnung der HH	■	
Neovaskularisation		■
Konjunktivale Hyperämie	■	
Hornhautstippen, zentral	■	
Hornhautstippen, peripher		■
Blepharitis		■
Dysfunktion der Meibom'schen Drüsen	■	

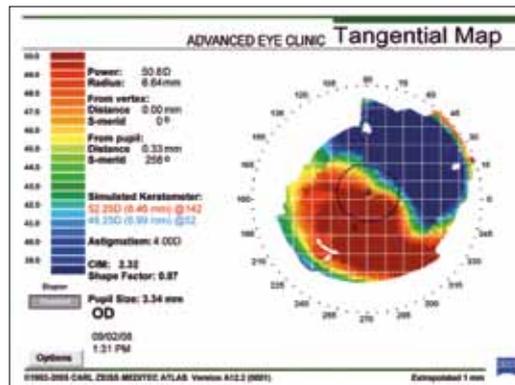


Abb. 3: Hornhauttopographie

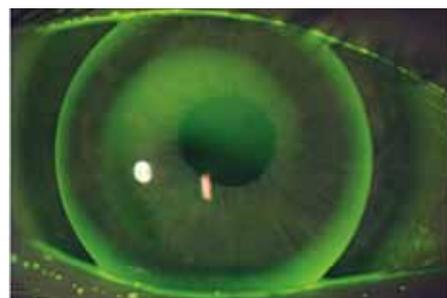


Abb. 4: Fluoreszeinbild

### Hornhauttopometrie:

Sim K (dpt, mm)	48,25 (6,99) @052 / 52,25 (6,46) @142
Hornhautastigmatismus (dpt)	-4,00 x 052
Mittelwert der zentralen Hornhautradien	(D, mm) 50,25 (6,7)
Steilster Sim K	(D) 54,00
Durchmesser der Ektasie an der steilsten Stelle (mm)	5,5
Durchmesser der Ektasie (mm)	6
Q, e und p Werte*	0,87, 0,93, 0,07

\*Q (Asphärität) = e<sup>2</sup>, e = Exzentrizität, p (shape factor) = 1-Q

## Anpassung

### Schritt 1: Bestimmung der Innenoptikzone (IOZ) und des Kontaktlinsendurchmessers (Dt)

Bei diesem Patienten liegt ein ovaler Keratokonus in fortgeschrittenem Stadium vor. Wenn dieser Keratokonustyp fortschreitet (versteilt), wird der Durchmesser der Ektasie grossflächiger. Messlinsen mit einer fixen IOZ sind für diese Konusform geeignet, sofern der Durchmesser der IOZ gross und vom Rückflächenradius unabhängig ist. Durch die Anpassung der Grösse der IOZ an die Konusform resultiert eine gute Passform.

Keratokonusform		Durchmesser der Ektasie	IOZ	Dt
Oval	fortgeschritten	6,1 bis 8,0 mm	8,10 bis 9,40 mm	10,2 bis 11,2 mm

Zur Anpassung wird eine mehrkurvige Kontaktlinse mit Dt 10,40 mm und IOZ 8,40 mm gewählt.

### Schritt 2: Bestimmung des Rückflächenradius r0

Die Bestimmung des Rückflächenradius erfolgt über zwei Parameter: die Höhe des Hornhautastigmatismus (Tabelle C) und die Grösse der IOZ (Tabelle D).

Zur Umrechnung mm in dpt ist folgende Formel anzuwenden:  $\frac{337,5}{\text{mm od D}} = \text{D od mm}$

(S. Anhang F: Umrechnungstabelle Keratometerwerte)

#### Tabelle C: Hornhautastigmatismus

$\Delta r$ (dpt)	r0 (dpt) (Dt 9,4 mm)
-0,25 dpt bis -3,75 dpt	flacher HH Radius (dpt) - 0,609 x ( $\Delta K$ )
-4,00 dpt bis -7,50 dpt	flacher HH Radius (dpt) - 0,491 x ( $\Delta K$ )*
-7,75 dpt bis -16,75 dpt	flacher HH Radius (dpt) - 0,354 x ( $\Delta K$ )

\* durchschnittlicher HH-Radius mit einer IOZ von 7,40 mm

**Tabelle D: Grösse der IOZ**

Fixe IOZ/Dt	r0 (mm)
5,25–6,5/8,5–8,8 mm	Mittelwert der zentralen HH-Radien (mm) – 0,2 mm
7,2–7,5/9,2–9,6 mm	Mittelwert der zentralen HH-Radien (mm)
7,6–8,1/9,8–10,1 mm	Mittelwert der zentralen HH-Radien (mm) + 0,15 mm
8,2–8,6/10,2–10,7 mm	Mittelwert der zentralen HH-Radien (mm) + 0,2 bis 0,3 mm
8,7–9,4/10,8–11,4 mm	Mittelwert der zentralen HH-Radien (mm) + 0,4 mm

In diesem Beispiel wird r0 wie folgt berechnet:

$\Delta r$ (dpt)	r0 (dpt) (Dt 9,4 mm/IOZ 7,40 mm)
-4,00 dpt	Mittelwert der zentralen HH-Radien = 50,25 D (6,7 mm)

Die ausgewählte Kontaktlinse hat eine grössere IOZ (8.40mm). Dadurch muss der Rückflächenradius angepasst werden.

$\Delta r$ (dpt)	BOZR (D) (9,4LD/7,4 BOZD)	r0 angepasst
-4,00 dpt	Mittelwert der zentralen HH-Radien = 50,25 D (6,7 mm)	Mittelwert der zentralen HH-Radien + 0,25 mm (6,7 + 0,25) = 6,95 mm

### Schritt 3: Auswahl der Messlinse

	Dt 10,2–10,6																	
<b>r0</b>	7,94	7,76	7,58	7,42	7,18	7,11	7,03	6,96	6,89	6,82	6,75	6,68	6,62	6,55	6,49	6,37	6,25	6,14
<b>IOZ</b>	<b>8,20</b>	<b>8,20</b>	<b>8,20</b>	<b>8,20</b>	<b>8,20</b>	<b>8,20</b>	<b>8,40</b>	<b>8,40</b>	<b>8,40</b>	<b>8,40</b>	<b>8,40</b>	<b>8,40</b>	<b>8,60</b>	<b>8,60</b>	<b>8,60</b>	<b>8,60</b>	<b>8,60</b>	<b>8,60</b>
<b>r1</b>	8,94	8,76	8,58	8,42	7,98	7,91	7,83	7,76	7,69	7,62	7,55	7,48	7,42	7,50	7,40	7,30	7,25	7,20
<b>d1</b>	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,80	8,80	8,80	8,80	8,80	8,80	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
<b>r2</b>	10,15	10,10	10,00	9,80	8,98	8,91	8,83	8,76	8,69	8,62	8,55	8,48	8,42	8,55	8,40	8,30	8,25	8,20
<b>d2</b>	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,20	9,20	9,20	9,20	9,20	9,20	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
<b>r3</b>	11,50	11,40	11,30	11,00	10,18	10,11	10,03	9,96	9,89	9,82	9,75	9,68	9,62	9,65	9,55	9,35	9,35	9,25
<b>d3</b>	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,80	9,80	9,80	9,80	9,80	9,80	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>Bevel-radius</b>	12,15	12,15	12,10	12,00	11,68	11,61	11,53	11,46	11,39	11,32	11,25	11,18	11,12	11,00	11,00	10,85	10,80	10,75
<b>Bevel-radius</b>	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60
<b>AEL</b>	0,245	0,266	0,287	0,303	0,310	0,319	0,349	0,361	0,373	0,386	0,400	0,415	0,457	0,486	0,501	0,538	0,591	0,644

In obiger Tabelle sind alle Parameter am Beispiel einer mehrkurvigen Kontaktlinse mit fixer IOZ, die sich nur nach dem Gesamtdurchmesser anpasst (r0 bleibt gleich) aufgelistet. Sobald der Gesamtdurchmesser der KL grösser wird, steigt auch der Durchmesser der IOZ. Die axiale Randabflachung wird mit steiler werdender Hornhaut und grösser werdenden Exzentrizitäten ebenfalls grösser. Parameter der Messlinse:

r0	IOZ/Dt	Periphere Randabflachung	Stärke
6,95	8,4/10,4	0,36	-8,00 dpt

### Schritt 4: Kontaktlinsensitz

Der Kontaktlinsensitz wird durch den Lidschlag auf eine gute Zentrierung und Beweglichkeit beurteilt. Das Fluoreszeinbild muss unter Verwendung von blauem Licht im Beleuchtungsstrahlengang und einem Gelbfilter im Beobachtungsstrahlengang beurteilt werden. In

diesem Beispiel ist das zentrale Sitzverhalten optimal, die periphere Auflage der Kontaktlinse zu eng. Die axiale Standardrandabflachung der Kontaktlinse erlaubt keine ausreichende Randunterspülung. Die Kontaktlinse wird mit einer um 0,20 mm höheren Randabflachung bestellt.

	Parameter der ersten Messlinse	Modifizierte Parameter
<b>r0</b>	6,95	keine Modifikation
<b>IOZ</b>	8,4	keine Modifikation
<b>Dt</b>	10,4	keine Modifikation
<b>periphere Randabflachung</b>	0,36	0,56

### Schritt 5: Überrefraktion, Bestimmung der endgültigen Kontaktlinsenstärke

Um die endgültige Kontaktlinsenstärke zu bestimmen, muss über die eingesetzte Messlinse eine Überrefraktion durchgeführt werden. Zur Bestimmung der objektiven Überrefraktion kann ein Autorefraktometer eingesetzt werden, der kleine Restastigmatismen aufzeigt. Diese sind mit dem Skiaskop schwer zu bestimmen. Die objektive Messung des Autorefraktometers ist ein guter Startwert für die subjektive Überrefraktion. Anschliessend setzt man aus den erhaltenen Autorefraktometerwerten das best-sphärische Glas (BSG) in die Messbrille ein und gleicht sphärisch ab. Umgerechnet auf den HSA 0 ergibt dieses ermittelte BSG den Wert, der zur Kontaktlinsenstärke addiert werden muss.

<b>Stärke der Messlinse</b>	-8,00 dpt
<b>objektive Überrefraktion (Autorefraktometer) (sphäro-zylindrische Kombination)</b>	-6,00/-1,75 x 032
<b>BSG</b>	-7,00
<b>BSG (HSA 0)/Visus</b>	-6,25D 6/6 HCVA
<b>Definitive KL-Stärke = Stärke der Messlinse + BSG (HSA 0)</b>	-14,25 D

### Schritt 6: Bestellung der definitiven Kontaktlinse

Die Bestellung der definitiven Kontaktlinse enthält folgende Parameter:

Definitives KL Designs: <input checked="" type="checkbox"/> formstabil <input type="checkbox"/> sphärisch <input type="checkbox"/> asphärisch <input type="checkbox"/> mehrkurvige										
Hersteller:					KL-Bezeichnung:					
	r0	SCR/W			PCR/W	Dt	IOZ	Stärke	MD	Farbe
<b>R</b>	6,95	8,0/0,2, 9,76/0,2, 10,96/0,3			12,25/0,3	10,4	8,4	-14,25	0,16	blau
<b>L</b>										
Zusätzliche Information: _____ Minustragrand _____ verblenden _____ medium _____ Add dot OD _____										
Bemerkungen: _____ AEL = 0,561 _____										

### Schritt 7: Abgabe der Kontaktlinse und Kontrolltermine

Um die Kornea optimal mit Sauerstoff zu versorgen, wurde die Kontaktlinse aus einem hochsauerstoffdurchlässigen Material bestellt. Eine Plasmabehandlung der Kontaktlinsenoberfläche steigert den Tragekomfort. Der Patient soll regelmässig Nachbenetzungstropfen anwenden. Bei der

Kontaktlinsenabgabe muss der Sitz und die Sehleistung mit Kontaktlinse kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass die selben Ergebnisse wie bei der Anpassung erreicht werden. Eine Nachkontrolle nach zwei Wochen zeigte bei diesem Patienten optimale Ergebnisse. Keratokonuspatienten müssen in den ersten Tragemonaten häufigeren Kontrollen unterzogen werden, damit die Stabilität der Sehschärfe und des Kontaktlinsensitzes überprüft werden können. Nach drei Monaten muss bei der Nachkontrolle besonders auf das Sitzverhalten und die physiologische Reaktion des Auges auf die Kontaktlinse geachtet werden. Nach sechs Monaten muss erneut eine Pachymetrie und eine Topometrie durchgeführt werden.

## Anhang F: Umrechnungstabelle Radien in dpt

Zur Umrechnung von mm in dpt gilt folgende Formel:  $\frac{337,5}{\text{mm od D}} = \text{D od mm}$

### mm in dpt

mm	dpt	mm	dpt
4,70	71,81	6,65	50,75
4,75	71,05	6,70	50,37
4,80	70,31	6,75	50,00
4,85	69,59	6,80	49,63
4,90	68,88	6,85	49,27
4,95	68,18	6,90	48,91
4,75	71,05	6,95	48,56
4,80	70,31	7,00	48,21
4,85	69,59	7,05	47,87
4,90	68,88	7,10	47,54
4,95	68,18	7,15	47,20
5,00	67,50	7,20	46,88
5,05	66,83	7,25	46,55
5,10	66,18	7,30	46,23
5,15	65,53	7,35	45,92
5,20	64,90	7,40	45,61
5,25	64,29	7,45	45,30
5,30	63,68	7,50	45,00
5,35	63,08	7,55	44,70
5,40	62,50	7,60	44,41
5,45	61,93	7,65	44,12
5,50	61,36	7,70	43,83
5,55	60,81	7,75	43,55
5,60	60,27	7,80	43,27
5,65	59,73	7,85	42,99
5,70	59,21	7,90	42,72
5,75	58,70	7,95	42,45
5,80	58,19	8,00	42,19
5,85	57,69	8,05	41,93
5,90	57,20	8,10	41,67
5,95	56,72	8,15	41,41
6,00	56,25	8,20	41,16
6,05	55,79	8,25	40,91
6,10	55,33	8,30	40,66
6,15	54,88	8,35	40,42
6,20	54,44	8,40	40,18
6,25	54,00	8,45	39,94
6,30	53,57	8,50	39,71
6,35	53,15	8,55	39,47
6,40	52,73	8,60	39,24
6,45	52,33	8,65	39,02
6,50	51,92	8,70	38,79
6,55	51,53	8,75	38,57
6,60	51,14	8,80	38,35

### dpt in mm

dpt	mm	dpt	mm	dpt	mm
38,00	8,88	49,00	6,89	60,00	5,63
38,25	8,82	49,25	6,85	60,25	5,60
38,50	8,77	49,50	6,82	60,50	5,58
38,75	8,71	49,75	6,78	60,75	5,56
39,00	8,65	50,00	6,75	61,00	5,53
39,25	8,60	50,25	6,72	61,25	5,51
39,50	8,54	50,50	6,68	61,50	5,49
39,75	8,49	50,75	6,65	61,75	5,47
40,00	8,44	51,00	6,62	62,00	5,44
40,25	8,39	51,25	6,59	62,25	5,42
40,50	8,33	51,50	6,55	62,50	5,40
40,75	8,28	51,75	6,52	62,75	5,38
41,00	8,23	52,00	6,49	63,00	5,36
41,25	8,18	52,25	6,46	63,25	5,34
41,50	8,13	52,50	6,43	63,50	5,31
41,75	8,08	52,75	6,40	63,75	5,29
42,00	8,04	53,00	6,37	64,00	5,27
42,25	7,99	53,25	6,34	64,25	5,25
42,50	7,94	53,50	6,31	64,50	5,23
42,75	7,89	53,75	6,28	64,75	5,21
43,00	7,85	54,00	6,25	65,00	5,19
43,25	7,80	54,25	6,22	65,25	5,17
43,50	7,76	54,50	6,19	65,50	5,15
43,75	7,71	54,75	6,16	65,75	5,13
44,00	7,67	55,00	6,14	66,00	5,11
44,25	7,63	55,25	6,11	66,25	5,09
44,50	7,58	55,50	6,08	66,50	5,08
44,75	7,54	55,75	6,05	66,75	5,06
45,00	7,50	56,00	6,03	67,00	5,04
45,25	7,46	56,25	6,00	67,25	5,02
45,50	7,42	56,50	5,97	67,50	5,00
45,75	7,38	56,75	5,95	67,75	4,98
46,00	7,34	57,00	5,92	68,00	4,96
46,25	7,30	57,25	5,90	68,25	4,95
46,50	7,26	57,50	5,87	68,50	4,93
46,75	7,22	57,75	5,84	68,75	4,91
47,00	7,18	58,00	5,82	69,00	4,89
47,25	7,14	58,25	5,79	69,25	4,87
47,50	7,11	58,50	5,77	69,50	4,86
47,75	7,07	58,75	5,74	69,75	4,84
48,00	7,03	59,00	5,72	70,00	4,82
48,25	6,99	59,25	5,70	70,25	4,80
48,50	6,96	59,50	5,67	70,50	4,79
48,75	6,92	59,75	5,65	70,75	4,77

## Anhang G: Umrechnungstabelle Visusstufen

Snellen (ft.)	Snellen (m.)	LogMar	Dezimal (MAR)
20/200	6/60	1,0	0,1
20/160	6/48	0,9	0,125
20/100	6/30	0,8	0,2
20/80	6/24	0,7	0,25
20/70	6/23	0,6	0,28
20/63	6/18	0,5	0,32
20/50	6/15	0,4	0,4
20/40	6/12	0,3	0,5
20/32	6/9	0,2	0,64
20/25	6/7,5	0,1	0,8
20/20	6/6	0,0	1,0



**Centre for Contact Lens Research**

School of Optometry, University of Waterloo

200 University Avenue West

Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1

519 888-4742

<http://cclr.uwaterloo.ca>