

Themen-
Überblick:

Eigenschaften
Maße und Form
Mögliche Formänderungen
Der Aufbau
Die Schichten
Die Transparenz
Der Sauerstoffbedarf
Metabolismus

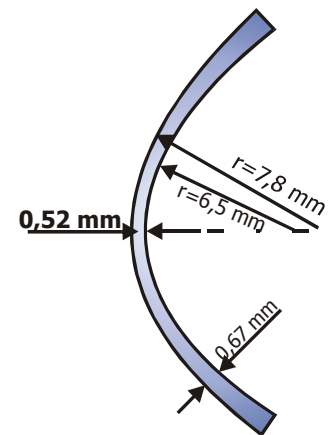
1.0 Eigenschaften der Hornhaut

- Sie ist transparent (frei von Pigmenten)
- Sie ist avaskulär (gefäßfrei)
- Sie übernimmt ca. 80 % der Brechkraft
- Sie ist eine nahezu unüberwindbare Barriere für pathogene Keime
- Sie ist ein idealer Filter für UV-B
(Zum Vergleich: Die Augenlinse filtert UV-A)



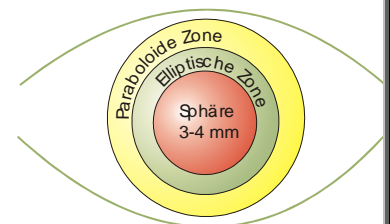
2.0 Größen und Maße der Hornhaut (Bron 1997)

- Durchmesser: Horizontal ca. 11,75 mm, vertikal ca. 10,6 mm
- (Pupille: ca. 3 bis 5 mm)
- Dicke: Zentral = 0,52 mm Peripher = 0,67 mm
- Radien: Frontfläche = 7,8 mm Rückfläche = 6,5 mm
- Brechzahl: $n = 1,376$ Brechwert: S' ca. 43 dpt
- Optische Zone: ca. 3-4 mm
- Astigmatismus: ca. 0,5 dpt (physiologisch)
- Zentraltorus: ca. 0,1 mm
- 80% der Augen sind HHA-Rectus 15% der Augen sind HHA-Inversus



2.1 Die Hornhautform und Größe:

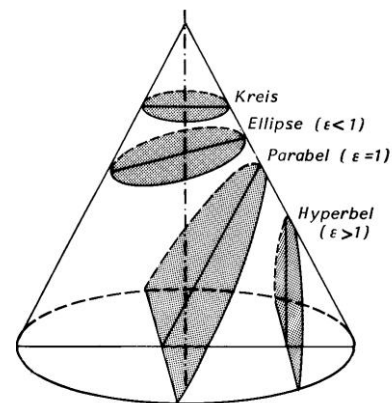
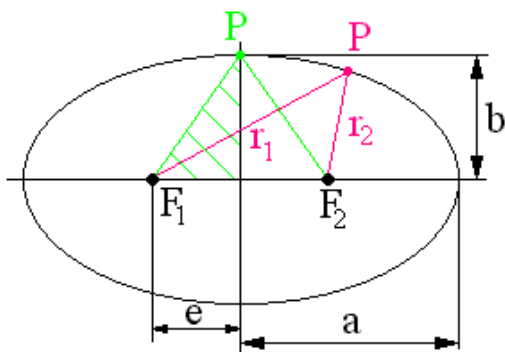
- Ein liegendes Oval.
- Volle Größe nach dem 6. Lebensmonat.
- Bei Frauen etwas kleiner
- Normale Größe ca. 10 bis 13 mm
- Mikrocornea < 10 mm
- Makrocornea > 13 mm



Der zentrale Bereich ist relativ sphärisch gekrümmt. Außerhalb der sphärischen Zone flacht die Hornhaut zunehmend ab.

Die Abflachung der Cornea ist nasal stärker ausgeprägt als temporal, superior stärker als inferior. D.h. Der Cornea-Scheitel (Apex) ist leicht nach außen und unten dezentriert. Die Flächengestalt wird mathematisch näherungsweise als ein Ellipsoid beschrieben. (Exzentrizität etwa 0,5)

Grundlageneinschub : Exzentrizität



e = lineare Exzentrizität also die Strecke von der Ellipsen-Mitte bis zum Brennpunkt.
 E = numerische Exzentrizität => Verhältnis von „ e “ zur Halbachse „ a “

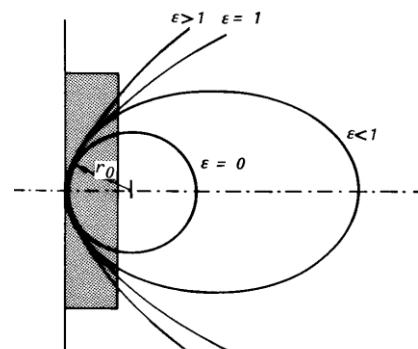
Def: Die numerische **Exzentrizität** ist das Maß für die Abweichung einer asphärischen Fläche von ihrem Scheitelkreis.

$$\epsilon_{HH30^\circ} = 2 \cdot \sqrt{1 - \frac{r_c^2}{r_s^2}}$$

Formel zur Berechnung der Hornhautexzentrizität in 30°

- r_c = gemittelter zentraler Vorderflächenradius
- r_s = gemittelter peripherer Sagittalradius (30°) (senkrecht zum HH-Meridian)

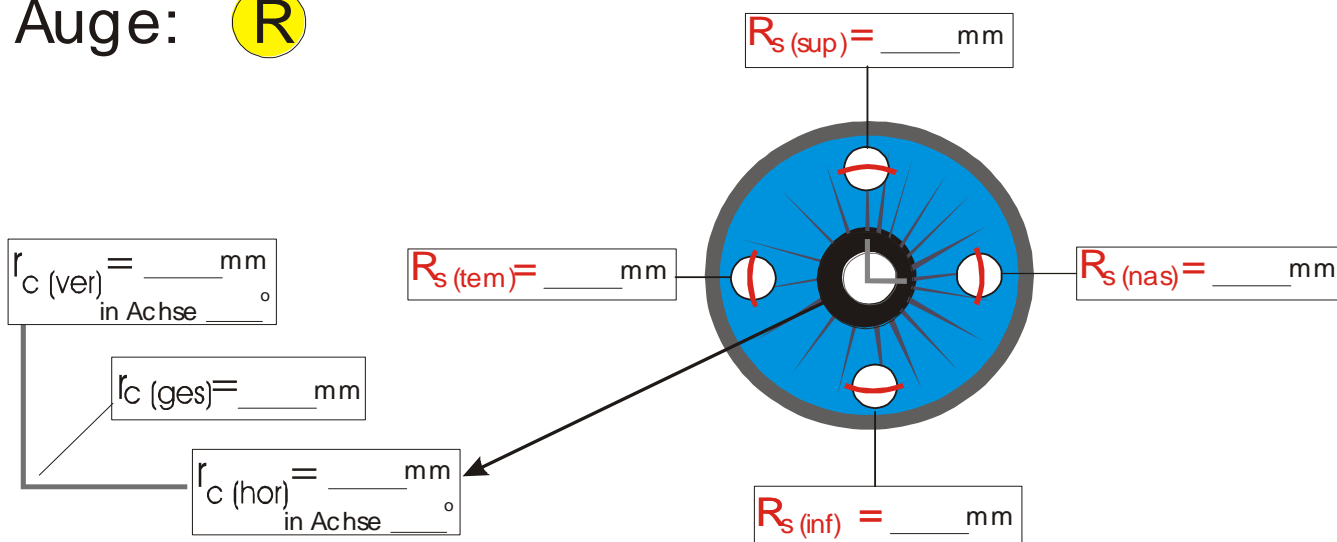
30° = Messwinkel für die Peripherradien



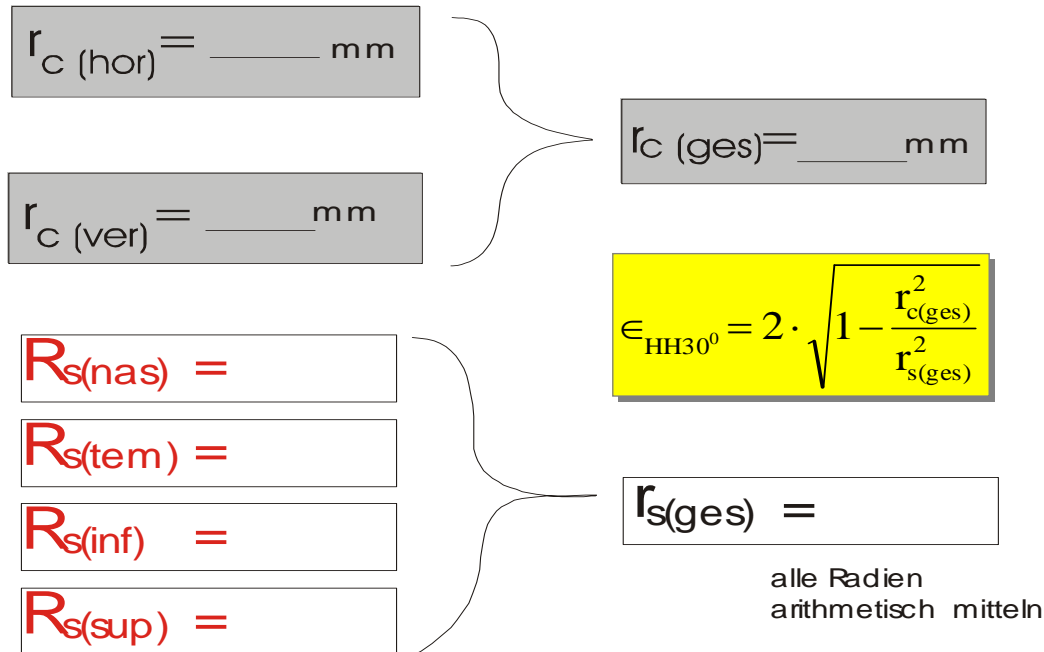
2.2 Formerfassung mit der Sagittalradienmessmethode (von Wilms)

Es werden 2 zentrale und 4 periphere Radien gemessen. Daraus wird mathematisch die Abflachung (Exzentrizität) berechnet.

Auge: **R**



Im zweiten Schritt wird die Abflachung (Exzentrizität) der Hornhaut berechnet.



2.3 Mögliche Formänderungen der Hornhaut.

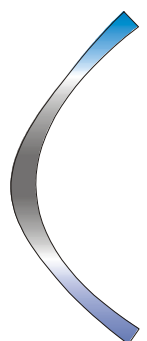
- Durch tageszeitliche Radienänderung von ca. 0,05 mm
- Schubweise Versteilung der Hornhaut bei Keratokonus ($r_c < 7.0$ mm)
- Hornhautödeme durch Hypoxie (Sauerstoffmangel)
Bei Weichlinsenträgern → flachere Form → leichte Hyperopie → kein Spectacle Blur
Bei Hartlinsenträgern → steilere Form → leichte Myopie → Spectacle Blur - Effekt
- Ortho-Keratologie: Durch Hartlinsentragen bewusst herbeigeführte Formänderung.
- Fehlsichtigkeitsänderung mit LASIK, PRK, radiäre Keratotomie, Intrastromale Ringe
- Zu flach oder zu steil angepasste Hartlinsen.

2.3.1 Spectacle Blur – Effekt

Def: **Spectacle Blur** ist der Effekt des Unscharfsehens nach dem Wechsel von den getragenen Hartlinsen auf die Korrektionsbrille. Ursache ist ein zentral begrenztes Hornhautödem (CCC).

Bildung:

- Tragen gering gasdurchlässiger Hartlinsen
- Hypoxie (Sauerstoffmangel) zentral unter der Linse
- Bildung eines zentralen Hornhautödems
- Versteilung der zentralen Hornhautradien
- Brechwertzunahme der Hornhaut (Myopisierung)
- Unscharf sehen in der Ferne nach dem Wechsel auf die Korrektionsbrille.



2.3.2 Ortho-Keratologie

Def: **Ortho-Keratologie** ist ein Verfahren zur Verringerung oder Beseitigung eines Brechungsfehlers der Augen durch Änderung der zentralen Hornhautkrümmung mittels einer besonders flach angepassten Hartlinse mit negativer Randgeometrie (versteilender Rand).



Diese Linsen werden in der Regel über Nacht getragen. Am Tage kann ohne Korrektionsmittel gesehen werden. Korrekturen sind für Myope bis ca. – 3.0 dpt sinnvoll.

Die Anpassung und folgende Kontrollen sollten sinnvollerweise mit einem Videokeratographen erfolgen.

2.3.3 Laserkorrekturen in der Übersicht

- Radiäre Keratotomie (Computer gesteuerte Schnitte)
- PRK - Photoablative Refraktive Keratektomie
- LASEK - Laser Epitheliale Keratomileusis (Epi-LASIK) oder auch ELSA (Excimer Laser Subepitheliale Ablation)
- LASIK - Laser in situ Keratomileusis
- Femto – Lasik (Femtosekundenlaser statt Mikrokeratom)

3.0 Der Hornhaut-Aufbau



←Epithel

←Basalmembran

←Bowmansche Membran

←Stroma (Parenchym oder Substantia propria)

Die Hornhaut besteht aus der gleichen Faserart wie die Sklera, ist aber regelmäßig strukturiert.

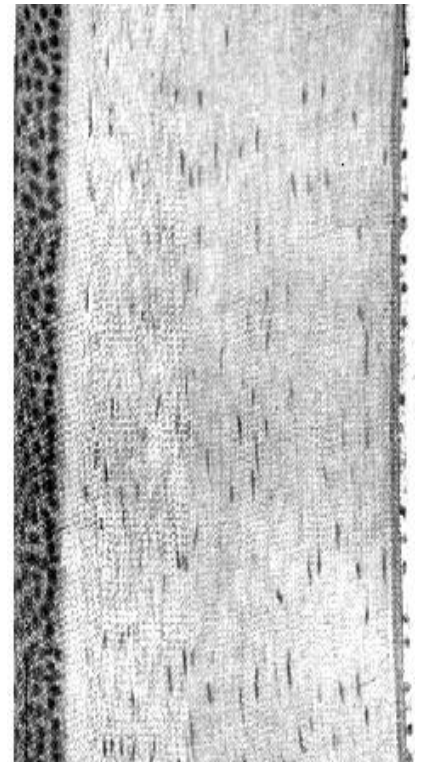
(Voraussetzung für Transparenz)

Sie ist besonders widerstandsfähig gegen äußeren Druck.

Sie ist avasculär und muss deshalb über das Kammerwasser bzw. Tränenfilm ernährt werden. (Metabolite)

←Descemetische Membran

←Endothel



4.0 Die Hornhaut - Schichten

4.1 Das Epithel

Das Epithel unterteilt sich in drei Lagen mit unterschiedlichen Zellformen.



←Schuppenartige Deckzellen

←Polygonale Flügelzellen

←Hochprismatische Basalzellen (Mitoseschicht)

Die **Basalzellen** betreiben Mitose (Zellteilung) und ermöglichen dadurch einen kontinuierlichen Zellaustausch im Epithel.

Die neu gebildeten Zellen werden in die äußere Schicht geschoben, wobei sie in der Form zunehmend flacher werden. Täglich wird eine Lage dieser Schuppen in die Tränenflüssigkeit abgeschilfert. Der gesamte Erneuerungsprozess ist innerhalb einer Woche abgeschlossen. („Turnover“)

Die **Flügelzellen** verkörpern ein Zwischenstadium im Zellwanderungsprozess.

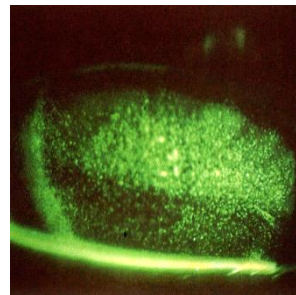
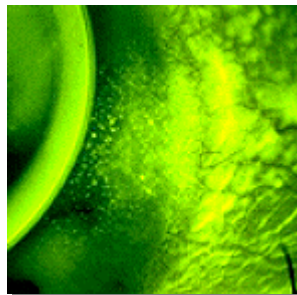
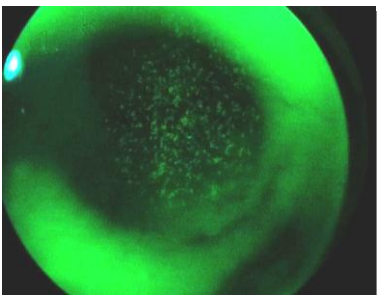
Die Deckzellen haben an der Außenfläche Mikrozotten (so genannte Mikrovilli). Diese Ausstülpungen dienen der Oberflächenvergrößerung und fördern die Adhäsion des Tränenfilms an die Hornhaut.

Zwischen den **Deckzellen** befinden sich bandförmige Zellverbindungen (Zonulae occludentes), die mit ihrer Barrierefunktion einen kontrollierten Stoffaustausch zwischen Hornhaut und Tränenfilm ermöglichen und das Eindringen von Keimen ausschließen. Alte Deckzellen werden aus dem Zellverband gelöst und durch den Lidschlag lebend in die Tränenflüssigkeit abgeschilfert.

4.1.1 Epithelveränderungen

a) Stippen

Def: **Stippen** sind zerstörte Epithelzellen. (Sie sind mit Fluorescein anfärbbar.)



Mögliche Ursachen für Stippen

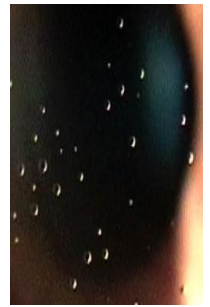
- Abtrocknung der Hornhaut durch Benetzungsschwierigkeiten.
- Mechanisch durch leichte Abschürfung. (z.B. durch zu flache Hartlinsenanpassung)
- Hypoxie/Acidose durch gering gasdurchlässige Linsen.
- Toxische oder allergische Reaktion durch Pflegemittelsubstanzen
(Konservierungsstoff; Enzyme; etc.)

b) Mucinballs (präcorneale Anlagerungen auf das HH-Epithel)

Sie bestehen wahrscheinlich aus Lipiden, Mucinen und Zellresten und sind dabei mit Fluorescein anfärbbar.

Aussehen: Kleine runde transparente Kügelchen unter einer getragenen Linse.

Ursache: Wahrscheinlich das Bewegungsverhalten und die Materialeigenschaft der Linse. Häufig bei Silikonhydrogelen oder anderen hochgasdurchlässigen Linsen. Sie sind nicht spürbar, können aber das Sehvermögen reduzieren.



c) Erosionen (Stippen, Läsion, Erosio Corneae)

Def: **Läsion** ist eine oberflächliche Epithelschürfung mit dem Aussehen einer flächenhaften Stippung.

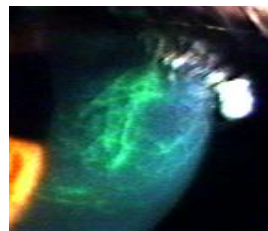
Def: **Erosio Corneae** ist eine tiefgehende Hornhautschürfung mit Stromabeteiligung.

Die **Erosio corneae** ist erkennbar an losgerissenen Epithelresten um einen zentralen transparenten Bereich. Dieser trübt nach kurzer Zeit ein, da sich hier ein Ödem bildet. Infektionsgefahr! → Augenarzt konsultieren.

Eine Fluo-Anfärbung lässt den Farbstoff schnell ins Stroma einfließen. Dort breitet er sich in kurzer Zeit als diffuser rundlicher Fluo-Fleck aus. (Wie Tinte auf einem Löschpapier)



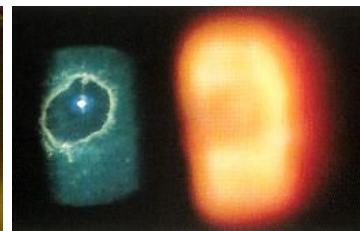
Bogenförmige Läsion



Fremdkörperspuren



Schnittverletzung



Erosio corneae

Ursachen für Erosionen

Defekter Linsenrand, Verschmutzte Linsenoberfläche, Verkanten beim Linsenaufsetzen, Fingernagelspur, Fremdkörper, Schnittverletzung

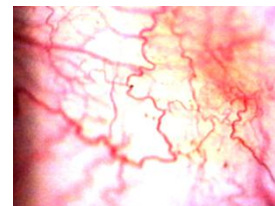
d) Fremdkörperinfiltrate



Metallpartikel durch Flexen, oder Polieren



Glaspartikel,

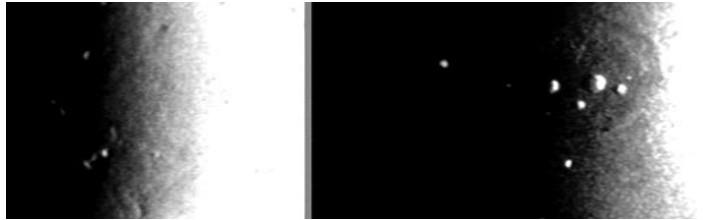
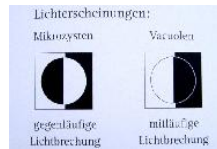


organische Partikel

Hinweis: Fremdkörper sollten immer vom Augenarzt entfernt werden.

e) Epithelblasen

Mikrozysten
Vacuolen



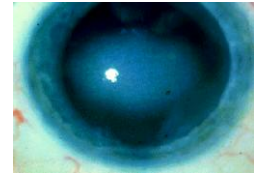
Def: **Mikrozysten** sind Epithelblasen mit Zelltrümmern gefüllt. Sie sind im reflektierten Licht von Vacuolen durch eine Bildvertauschung des abgebildeten Hintergrundes (Iris) unterscheidbar.

Ursachen: Sauerstoffmangel (Hypoxie), reduzierter Hornhautstoffwechsel (Metabolismus)

Def: **Vacuolen** sind Epithelblasen, die vermutlich mit Gas gefüllt sind. Ihnen fehlt die typische Bildvertauschung der Mikrozysten.

f) Epithel-Ödem

Man unterscheidet in Epithelödem und Stromaödem. Es kann alleine oder gleichzeitig mit einem Stromaödem auftreten.



Def: Ein **Epithel-Ödem** ist eine vermehrte Wassereinlagerung in die epitheliale Zellschicht. Dies kann inter- oder intrazellulär erfolgen.

Def: **Interzelluläres Epithel-Ödem** ist eine Wassereinlagerung zwischen die Epithelzellen.

Def: **Intrazelluläres Epithel-Ödem** ist eine vermehrte Wassereinlagerung in die Epithelzellen.

Ursachen: Hypoxie/Acidose, Trauma, Metabolismusstörung oder oberflächliche Keratitis

Kennzeichen: Glanzlose Hornhaut, Auftreten von Mikrozysten und Vacuolen

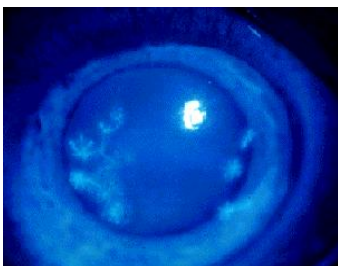
g) Keratitis

Def: **Keratitis** ist eine Hornhautentzündung aufgrund einer Infektion mit pathogenen Keimen.



Ulkus: Massive Form der Keratitis mit Substanzverlust, ein so genanntes Hornhaut-Geschwür.

Ursache: Unbehandelte bakterielle Infektion. Beispielhafte Erreger sind Kokken oder Pseudomonas aeruginosa.

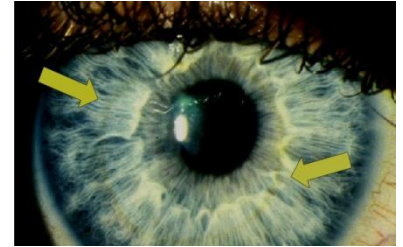


Keratitis dendritica: Epitheliale Entzündungsform mit typisch astförmigen Läsionen.

Ursache: Herpes Simplex Infektion (rezidivierend=wiederkehrend)

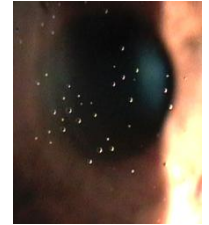
h) Fleischer'scher Ring

Bräunliche Ring-Ablagerung um die Kegelspitze bei Keratokonus dritten Grades.



i) Hornhaut-Dellen (dimple veiling)

Ursachen: Luftblasen, Fremdkörper oder Zellreste, die durch den Auflagendruck von Hartlinsen in das Epithel geprägt werden. Häufig ist eine steile Anpassung schuld. Die Dellen sind bei Fluo-Färbung besonders mit hell leuchtender Tränenflüssigkeit aufgefüllt. Das Epithel bleibt intakt, nach Absetzen der Linse bilden sich die Dellen schnell zurück.



4.1.2 Regeneration des Epithels (Turnover)

Im Regelfall erneuert sich das Epithel durch eine hohe Mitoserate (Zellteilungsrate). Der Fachbegriff **Turnover** bedeutet, dass alle Zellen des Epithels innerhalb einer Woche ausgetauscht werden.

Oberflächliche Abschürfungen heilen in wenigen Stunden durch Verschieben benachbarter Zellen. Tiefgehende Schürfungen (bis ins Stroma) schließen sich meist innerhalb eines Tages und hinterlassen dabei Narben, die manchmal getrübt bleiben.

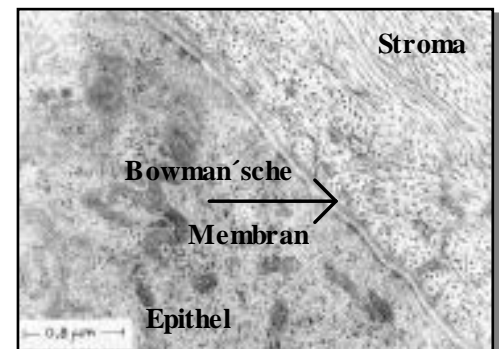
4.2 Die Bowman'sche Membran

Sie besteht aus horizontal verlaufenden Kollagenfibrillen und erscheint **strukturlos** im Mikroskop.

Die Dicke ist ca. 10 Mikrometer.

Sie besteht aus den gleichen Kollagenfasern wie das Stroma und ist **sehr widerstandsfähig** gegenüber Verletzungen, Druck und Keiminfiltrationen.

Sie ist **nicht regenerativ**, dh. nach Verletzung entstehen Narben, die manchmal getrübt bleiben. Heute zählt sie zur stromalen Schicht.



4.2.1 Veränderungen der Bowman'schen Membran

Narben in der Membran und oberen Stromaschicht (subepithelial)



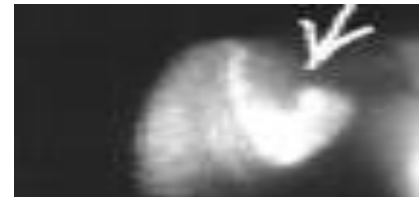
Nubecula

(geringe Trübung)



Makula

(mittlere Trübung)

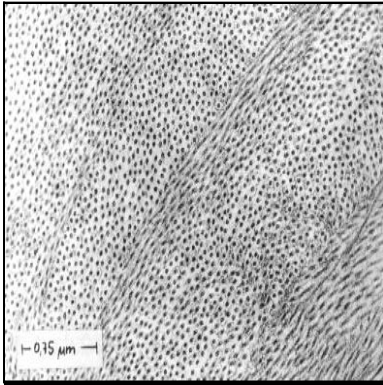


Leukoma

(lichtdichte-maximale Trübung)

Merke: Narben reichen meist bis ins Stroma hinein, zählen auch zu Stromaveränderungen.

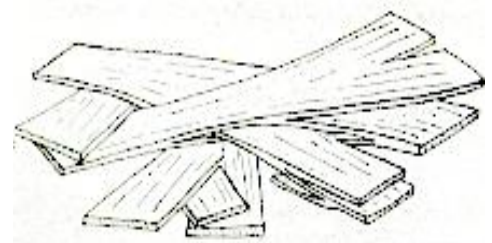
4.3 Das Stroma (0,4 – 0,45 mm)



Das Stroma besteht aus ca. **200 bis 250 Kollagenschichten** (Schichtdicke ca. 2,5 μm), diese werden Lamellen genannt. **Lamellen** bestehen aus regelmäßig angeordneten Kollagenfibrillen gleicher Richtung. (Ø 25nm / **Fibrillenabstand ca. 60nm**) Die Fibrillen verlaufen horizontal, vertikal und ein geringerer Anteil in schräger Richtung. Die Fibrillen sind eingelagert in eine **Kittsubstanz**, den so genannten **Glykosaminoglykanen** (*Keratansulfat, Chondroitin-4-Sulfat*). Durch ihre hydrophile Eigenschaft binden sie große Mengen Wasser im Stroma. Am Limbus geht das Stroma in die Sklera über. Diese besteht aus dicht gepackten ungeordneten Kollagenfibrillen ohne Muzineinbettung.

Das Stroma besteht aus:

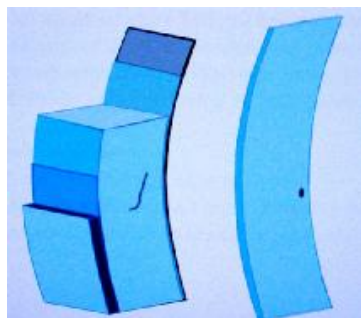
- 75 % Wasser
- 15 % Kollagen (transparentes Gerüsteiweiß)
- 5 % Keratozyten (Kollagenbildende Stromazellen)
- 3 % Leukozyten und Makrophagen
(Weiße Blutkörperchen + Fresszellen)
- 1 % Glykosaminoglykane
(Zucker-Eiweiß-Verbindung → Kittsubstanz)
- 1 % Salze (NaCl , KCl, etc.)



4.3.1 Stromaveränderungen

a) Striae

Def: **Striae** sind vertikale Linientrübungen im hinteren Stromabereich.



Ursache: Hypoxie/Acidose erzeugt ein Ödem, dass ab einer Quellungsstufe von 5 % zu Linientrübungen führen kann. Typisches Ödemzeichen.

(Zum Vergleich: Kann auch bei Keratokonus durch Überdehnung der Hornhaut entstehen.)

b) Descemetsche Falten

Es sind Membran-Falten, die das Aussehen von gleichmäßig angeordneten Linien mit einer leichten Schattenkontur haben. Sie werden mit der spiegelnden Beleuchtung dargestellt.

Ursachen: Hornhautquellung >12% durch Hypoxie/Acidose, nach Augen-OP's oder fortgeschrittenem Keratokonus.



c) Stromaödem

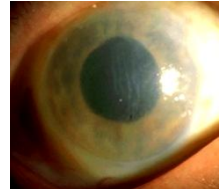
Def: Das **Stromaödem** ist eine global geschwollene Hornhaut durch unkontrolliertes Eindringen von Kammerwasser. Das Ödem wird sichtbar als gleichmäßige diffuse Trübung ab einer Quellungsgrad von mehr als 20%.

Ursache: Lang anhaltende Hypoxie/Acidose mit ATP-Mangel, die zu einer Störung der Ionenpumptätigkeit des Endothels führt. Die Folge ist eine mangelnde Entwässerung (Dehydratation).

Entwicklung des Stromaödems

Hypoxie veranlasst die Hornhaut vermehrt ATP (Adenosintriphosphat) über die anaerobe Glykolyse herzustellen. Dieser gering effiziente Weg führt zu schnellem Glukosemangel.

Bei fehlender Glukose oder Glykogen (Speicherform in der HH) kann keine weitere Energie hergestellt werden. Daraufhin versagt die Ionenpumptätigkeit (Entwässerung) des Endothels und einfließendes Kammerwasser wird dann nur unzureichend abgepumpt. Die Hornhaut schwillt an – ein Ödem entsteht. Ab 20 % Quellung trübt sich die Hornhaut sichtbar ein. Diese Trübung wird historisch als „Sattlerscher Schleier“ bezeichnet.



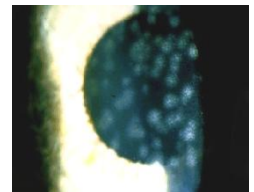
d) Stromainfiltrate

Leukozyteninfiltrationen

Def: **Leukozyteninfiltrationen** sind lokal begrenzte Infiltrate von weißen Blutkörperchen mit dem Aussehen einer weißlichen Trübung im Stroma.

Aussehen: Sichtbare lokale HH-Trübungen mit randständiger Bindehautrötung.

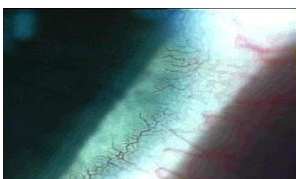
Ursachen: 90% der Fälle entstehen durch bakterielle Infektionen der Hornhaut, die leicht zum Ulkus (Geschwür) führen können. Möglich sind auch Immunreaktionen auf Fremdkörperinfiltrate oder lokale mechanische Defekte der Hornhaut.



Vascularisation / Neovascularisation / Pannus

Def: **Vascularisation** ist eine Einsprossung von Blutgefäßen aus dem Randschlingennetz in die Hornhaut. **Neovascularisation** ist eine weiterführende Gefäßneubildung.

Ursachen: Tagelange Hypoxie durch zu lange KL-Tragezeiten (selten durch Anpassfehler) oder durch entzündliche Vorgänge in der Hornhaut.



Def: **Pannus** ist die flächenhafte Infiltration von vaskulärem Bindegewebe in das HH-Stroma.

Arcus Senilis (Greisenbogen)

Def: *Arcus senilis* ist eine degenerativ grauweiße bogenförmige Cholesterin-Kalk-Einlagerung im peripheren Bereich der Hornhaut. Die Trübung ist ca. 1 mm vom Limbus entfernt.

Ursache: Altersbedingte (degenerative) Erscheinung. In jungen Jahren meist durch hohe Blutfettwerte hervorgerufen. (Hypercholesterinämie)



e) Keratokonus

Def: *Keratokonus* ist eine krankheitsbedingte kegelförmige Vorwölbung der Hornhaut. Sie wird steiler und verformt sich irregulär. (Myopisierung – irregulärer Astigmatismus)

Ursache: Genetisch bedingte, durch einen Auslöser hervorgerufene zentrale Stromaverdünnung auf Grund eines fehlgesteuerten Abbaus von Kollagenfibrillen. Die Hornhaut verliert durch diesen Prozess an Festigkeit und wird dann durch den Kammerwasserdruck nach vorne ausgedehnt.

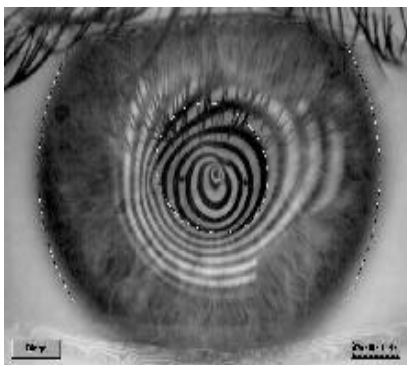


Die Entwicklung ist unperiodisch schubweise im Altersbereich zwischen 14 und 40 Jahren. Nach häufigen Schüben kann es zur Ruptur der Hornhaut kommen. Deshalb wird in solchen Fällen die Hornhaut durch ein Transplantat ersetzt (Keratoplastik).

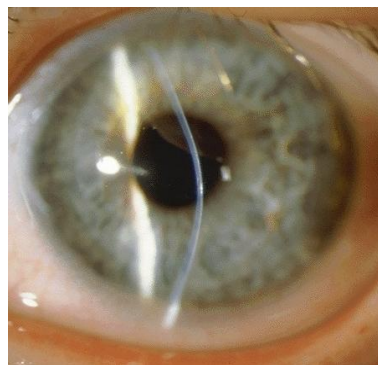
Anzeichen:

Häufige Fehlsichtigkeitsänderungen (Sphäre schubweise negativer und Cylinder in wechselnder Größe und Achslage)

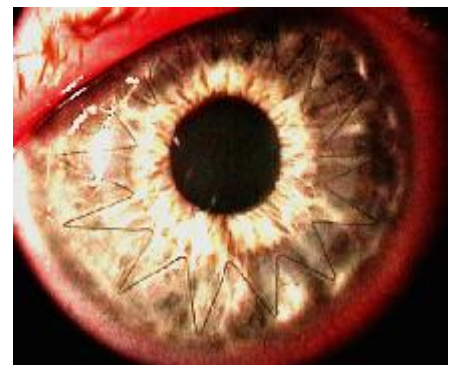
Visus mit Brillen-Korrektur wird von mal zu mal geringer. Achslage des Cylinders lässt sich nicht genau ermitteln. Bei starker Ausprägung des Keratokonus ist die zentrale Verdünnung und sehr geringe Randkrümmung der Hornhaut im optischen Schnitt sichtbar. Mögliche Begleitzeichen sind Striae, Descemet'sche Falten, zentrale Narben. Bei rückwärtiger Ruptur trübt sich die Hornhaut spontan bleibend ein.



Videokeratographenbild



Keratokonus im opt. Schnitt



Keratoplastik

f) Subepitheliale Narben (obere Stromaschicht)



Nubecula
(geringe Trübung)



Makula
(mittlere Trübung)



Leukoma
(lichtdichte-maximale Trübung)

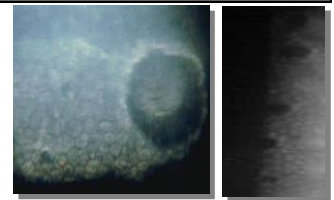
4.4 Descemet'sche Membran (6 bis 12 μm)

Sie ist wie beim Epithel eine Basalmembran (Grundhäutchen), auf der eine festverbundene einlagige Schicht Endothelzellen aufliegt. Im Gegensatz zum Epithel ist das Endothel untrennbar mit der Membran verbunden. Sie besteht aus Kollagen, Glykoproteinen und sauren Proteoglykanen. Sie wird im Alter bis zu 12 μm dick und dadurch geringer wasserdurchlässig. (Das Endothel synthetisiert über Jahre neue Schichten.) Sie ist widerstandsfähig gegen den Kammerwasserdruck.

4.4.1 Veränderungen der Descemetsche Membran (6 bis 12 μm)

a) Hassal-Henlesche Körper

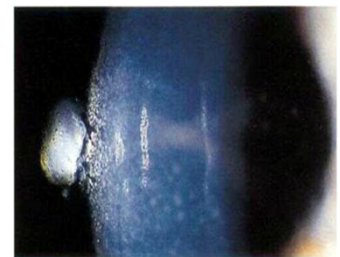
Def: **Hassal-Henlesche Körper** sind lokale Verdickungen der Descemet'schen Membran, die zum Erscheinungsbild *Cornea Guttata* bzw. *Guttae* führen. (Spiegelnde Beleuchtung)



b) Descemetsche Falten

Es sind Membran-Falten, die das Aussehen von gleichmäßig angeordneten Linien mit einer leichten Schattenkontur haben. Sie werden mit der spiegelnden Beleuchtung dargestellt.

Ursachen: Hornhautquellung >12% durch Hypoxie/Acidose, nach Augen-OP's oder fortgeschrittenem Keratokonus.



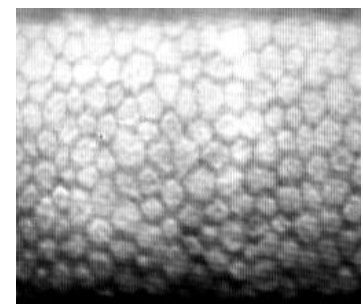
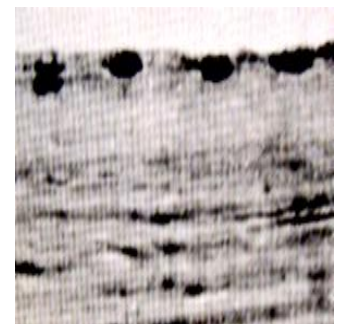
4.5 Das Endothel (5 μm)

Das Endothel ist eine einlagige Zellschicht als Grenze zum Kammerwasser. Die Schicht wird altersbedingt dünner (von 10 μm auf 4 μm). Die Zellen verlieren dabei ihre typische sechseckige Gestalt (Polymegethismus).

Sie sind über Haftplatten mit der Membran verbunden.

Das Endothel ist 7-mal wasserdurchlässiger als das Epithel, dadurch werden über die Kammerwasserseite fast alle Metabolite aufgenommen und auch wieder abgegeben. Die passive Wasseraufnahme wird durch Entwässern mit der „Ionenpumpe“ (auch „osmotische Pumpe“) ausgeglichen.

Während des Lebens reduziert sich die Zellanzahl auf ca. die Hälfte. Bei Zellverlusten flachen die benachbarten Zellen ab und schließen rosettenartig die entstandene Lücke. Die Zellanzahl kann aber auch durch jahrelange Hypoxien oder durch Augen-OP's rapide abnehmen, so dass die Ionenpumptätigkeit nicht mehr ausreicht und die Hornhaut dauerhaft eintrübt.



4.5.1 Veränderungen des Endothels

a) Polymegethismus



Def: **Polymegethismus** ist die Änderung der typischen endothelialen Zellgröße.

b) Polymorphismus



Def: **Polymorphismus** ist eine Änderung der typischen endothelialen Zellform.

c) Guttæ



Def: **Guttæ** sind Endothelausstülpungen in Richtung Kammerwasser.

Ursachen: Ständiges überlanges Tragen von nicht ausreichend gasdurchlässigen Linsen und Teil eines degenerativen Prozesses.

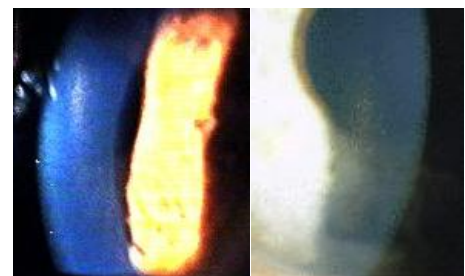
Bei älteren Personen sind diese Erscheinungen normal, bei jungen KL-Trägern sind sie ein Warnzeichen für eine KL-Unverträglichkeit.

d) Krukenbergspindel

Def: **Krukenbergspindel** ist eine Ablagerung von Irispigmenten auf die Hornhaurückfläche bei gestörtem Kammerwasserabfluss (Glaukom).

Ursache: Enger Kammerwinkel oder Abflussstörung im Schlemm'schen Kanal. Dies führt zu Kammerwasserüberdruck (Glaukom)

Eine Krukenbergspindel sieht bei mikroskopischer Betrachtung aus, wie viele kleine scharfkantige Sandkörnchen auf der Hornhaut-Rückfläche in vertikaler Richtung liegend. (Optimale Darstellung in regredienter Beleuchtung)



5.0 Hornhaut - Physiologie

5.1 Hornhauttransparenz

Die Transparenz der Hornhaut ist zu erklären aufgrund der regelmäßigen Struktur des Stromas, die durch den relativen Wassermangels (Deturgeszenz) der Hornhaut erhalten wird.

Haberich erklärt die geordnete Gitterstruktur mit der **Kausalkette** (Turgor, Permeabilität und Metabolismus). Ohne Störung einer dieser Faktoren bleibt die Hornhaut in einem deturgeszenten Zustand und erhält damit die Transparenz.

Maurice erklärt die Transparenz damit, dass die Kollagenfibrillen als Beugungsgitter so eng nebeneinander liegen und deshalb keine Lichtbeugung bzw. Lichtstreuung erzeugen können. (Abstand der Kollagenfibrillen ist kleiner als die sichtbaren Licht-Wellenlängen)

5.2 Sauerstoffbedarf der Hornhaut

Normale Sauerstoffmenge (offenes Auge) → ca. 21 % (**EOP-Wert** – prozentualer O₂-Anteil)
Minimale Sauerstoffmenge für eine gesunde Cornea ist ca. 10-13%.

Das entspricht einem **Sauerstoffpartialdruck** (O₂-Teildruck aus dem gesamten Luftdruck) von 207 hPa bei geöffnetem Auge. Bei geschlossenem Auge ca. 73 hPa. Dies reicht zur O₂-Versorgung nicht aus, deshalb ist über Nacht mit einem 4% igen Ödem zu rechnen.

Forderungen für Linsentragen

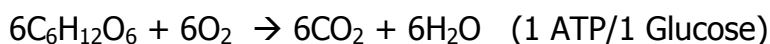
(nach Holden und Merz)

1. DK/t: > 24 x 10⁻⁹ für tägliches Tragen mit geringer Hornhautquellung
 2. DK/t: > 34 x 10⁻⁹ für tägliches Tragen ohne Hornhautquellung
 3. DK/t: > 87 x 10⁻⁹ Anforderung für vT-Tragen (EW) ohne HH-Quellung
- moderne Untersuchungen nach Bonnet fordern > 125 x 10⁻⁹ (cm·mlO₂) / (sec·ml· mmHg)

DK/t (früher DK/L) = O₂-Durchlässigkeit eines Materials bezogen auf die mittlere Dicke.

6.0 Metabolismus

6.1 Pentosephosphatzyklus (Baustoffwechsel)



6.2 Die Glykolyse (Energistoffwechsel)

1. Schritt: anaerob (Gärung)

Glukose → Brenztraubensäure (Pyruvat) → Milchsäure (+2 ATP)

85% der Milchsäure wird als Endprodukt meist in Form von Laktat ausgeschieden.

2. Schritt: *aerob (Gärung)*

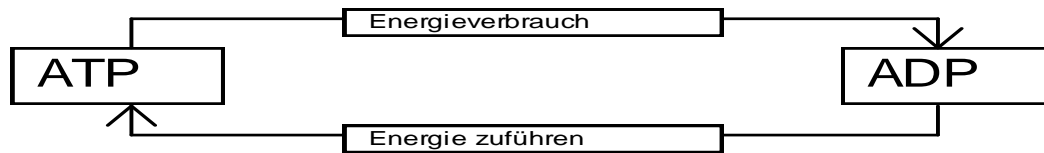
15% der Milchsäure wird mit O₂ weiter verstoffwechselt.

Milchsäure / Brenztraubensäure + O₂ → CO₂ + H₂O (+ 36 ATP)

Als Energieträger dienen die Adenosinphosphatverbindungen.

Adenosindiphosphat (ADP) = energieärmer

Adenosintriphosphat (ATP) = energiereicher



6.3 Kontaktlinse und Glykolyse

Sinkt die Sauerstoffaufnahme der Hornhaut, so wird zu wenig Energie über den aeroben Weg hergestellt. Diese Energielücke muss mit einer beschleunigten anaeroben Glykolyse ausgeglichen werden.

Vergleich: 1 Glukosemolekül mit O₂ → 38 ATP

1 Glukosemolekül ohne O₂ → 2 ATP

Dies führt schnell zu Glukosemangel und ATP-Mangel.

Die Hornhaut wird nicht mehr genügend entwässert und beginnt folglich an zu quellen.

6.4 Folgen des beschleunigten anaeroben Metabolismus

Subjektiv:

- Sandgefühl / Vermehrte Tränen
- Halo-Sehen
- Photophobie
- Kontrastverlust / Visusverlust

Objektiv:

- Testmarkenbilder verzerrt
- Hornhaut erscheint matt
- Striae, Descemetsche Falten
- Trübung / Sattlerscher Schleier
- Visuseinbuße

6.5 Was kann der Anpasser dagegen unternehmen

- Gasdurchlässiges Material verwenden
- Für gute Beweglichkeit sorgen
 - Linsensitz auf Tendenz flach einstellen.
 - Mit Kalotten den Randbereich flacher polieren und den Bevel vergrößern
- Tragedauer reduzieren
- Pausen z.B. am Mittag verordnen

