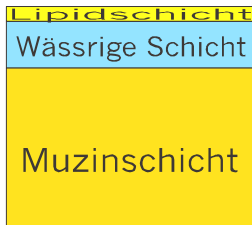




Praecornealer TF → Tränenflüssigkeit vor der Hornhaut  
Praeocularer TF → Tränenflüssigkeit vor dem Augapfel

© Rainer Billert, Dipl. Ing. (FH) AO, c/o Optonia

## 1.0 Der Aufbau des praecornealen Tränenfilms



Die Dicke ist stark schwankend je nach Verdunstung und Reizsekretion. Im Normalfall liegt sie bei ca. 40-45  $\mu\text{m}$  ( 0,045 mm ).

**Lipidschicht** (0,1 $\mu\text{m}$ )  
**wässrige Schicht** (6 – 10  $\mu\text{m}$ )  
**Mucinschicht** (30 – 40  $\mu\text{m}$ )

(Dr. Berke-Werte)

### 1.1 Die Mucinschicht (ca. 80% des TF)

Sie ist hochviskös und bewegt sich kaum. Sie kann durch Lidschläge bzw. Lidddruck nicht entfernt werden. Die Haftung der Schicht wird durch Mikrovilli an der Epithelaußenschicht und fest integriertem **Mucin 1** in den Zellmembranen gewährleistet.

Es sind 5 verschiedene Mucine bekannt. **Mucin 1** ist in den Zellmembranen verankert. Die anderen bilden die zähflüssige Schicht. Durch den hydrophilen Charakter der Mucine kann diese Schicht eine größere Menge Wasser aufnehmen. Aus diesem Grunde wird heutzutage die Mucinschicht als **Hydrogel** bezeichnet.



Zur Erinnerung:

Die Mikrovillis (Mikrozotten) vergrößern die Oberfläche und ermöglichen damit eine bessere Adhäsion (Haftung) der Tränenflüssigkeit an das Epithel der Hornhaut.

#### 1.1.1 Eigenschaften der Mucine

- Sie bestehen aus einem zentralen hydrophoben Protein (Eiweiß) und hydrophilen Saccharid-Seitenketten (Zucker).
- Mucin ist transparent, zähflüssig, quellfähig aber wenig löslich.
- Mucine besitzen Tensidcharakter.



*Def: Tenside sind oberflächenaktive Moleküle, die hydrophobe Flächen benetzbar (hydrophil) gestalten.*

- Mucine haben zwei unterschiedliche Oberflächeneigenschaften:  
Die Proteinseite ist hydrophob (wasserfeindlich - unpolar - lipophil).  
Die Polysaccharidseite ist hydrophil (wasserfreundlich - polar - lipophob).

#### 1.1.2 Aufgabe der Mucinschicht

- *Hydrophilisierung des ansonsten hydrophoben Hornhautepithels. (Verminderung der Oberflächenspannung)*
- *Gleitmittel für die Lider um berührungslose Lidschläge auf der Hornhaut und Bindehaut zu ermöglichen.*
- *Polsterwirkung zwischen Linse und Hornhaut.*

## 1.2 Die wässrige Schicht (ca. 20% des TF / $n=1,336$ )

Sie wird zu 90 % von der Haupttränendrüse und zum Teil von den Kraus- und Wolfringschen Drüsen gebildet und besteht aus Wasser, Salzen, Metaboliten, Proteinen, Abwehrzellen, etc.

### 1.2.1 Aufgaben der wässrigen Schicht

- Transportweg für Metabolite
- Fremdkörper abspülen
- Kontrolle der Bakterienflora
- Optische Glättung der Hornhaut

## 1.3 Die Lipidschicht ( $n \approx 1,5$ , Dicke $\approx 50$ Lipidmoleküle)

Sie besteht aus:

- Cholesterin **unpolar** in der äußersten Schicht
- Triglyceride **unpolar** in der äußersten Schicht
- Cholesterylester **unpolar/polar** in der mittleren Schicht
- Phospholipide **polar** in der untersten Schicht

Cholesterine und Triglyceride bilden die hydrophobe Außenfläche der Lipidschicht und schützen so vor Austrocknung und Tröpfcheninfektion. 17 verschiedene Phospholipide bilden die Unterseite und ermöglichen durch ihren hydrophilen Charakter die Ausbreitung der Lipidschicht auf der wässrigen Schicht.

### 1.3.1 Aufgaben der Lipidschicht

- Verdunstungsschutz
- Kontaminationsschutz (Schutz vor Tröpfcheninfektion)
- Einfetten der Lidkanten
- Optische Funktion (Glatte Oberfläche)

## 1.4 Die Aufgaben der Tränenflüssigkeit

- Abtransport von Fremdkörpern und abgeschilferten Epithelzellen
- Reinigung der Bulbusoberfläche
- Ernährung der Hornhaut (Metabolite/Sauerstoff)
- Immunabwehr / Antimikrobielle Wirkung
- Austrocknungsschutz der Hornhaut und Bindehaut
- Optische Glättung der Hornhaut (Ausgleich von Unebenheiten)
- Erhaltung der Hornhaut-Transparenz

## 1.5 Die Inhaltsstoffe der Tränenflüssigkeit

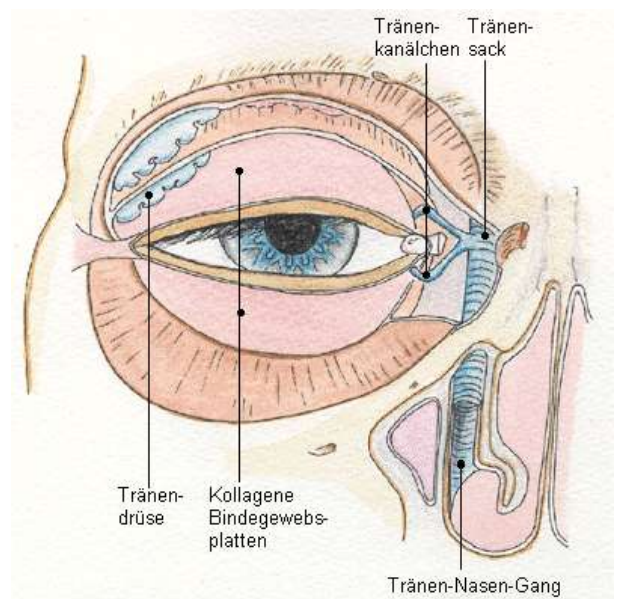
- Wasser: ca. 98 %
- Salze: ≈ 1 % (Na-Cl, K-Cl, Mg-, K-, Ca-Ionen, etc.)
- Lipide: Cholesterin, Cholesterylester, Triglyceride, Phospholipide, etc.
- Proteine:
  - Albumin<sup>(-)</sup> → Transportprotein für Metabolite
  - Lysozym<sup>(+)</sup> → bakterizide Wirkung
  - (Zusammen bilden sie ein Puffersystem und stellen den pH-Wert ein.)
  - (Lysozym verklumpt mit negativ geladenen Keimen → Abspülen mit TF)
  - Globuline → Antikörper (Ig<sub>G</sub>, Ig<sub>A</sub>, Ig<sub>M</sub>, Ig<sub>E</sub>)
  - Laktoferrin → bakterizide Wirkung
  - (Entzieht den Bakterien das notwendige Eisen für die Vermehrung)
- Mucine: neutrale und saure Mucopolysaccharide, Hyaluronsäure (auch in modernen Benetzungslösungen)
- Metabolite:
  - Anabolite: z.B. O<sub>2</sub>, Glukose, freie Aminosäuren
  - Katabolite: z.B. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, Milchsäure, Laktat, Harnstoff etc.
- abgeschilferte Epithelzellen
- Fremdstoffe aus der Luft

## 2.0 Die Tränendrüsen

### 2.1 Haupttränendrüse

#### *glandula lacrimalis*

Die Sekretion besteht hauptsächlich aus Wasser und Metaboliten (gelöste Salze, Proteine/Aminosäuren, Glucose) und stellt mit 90% den größten Anteil dar.

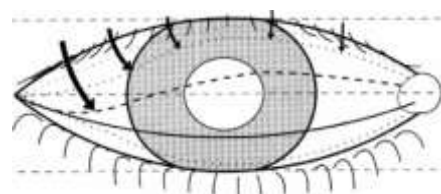


## 2.2 Nebendrüsen (akzessorische Drüsen)

Krausesche Drüsen	→	wässrige Schicht
Wolfringsche Drüsen		wässrige Schicht
Henlesche Krypten	→	Mucinschicht
Becherzellen (Goblet-)		Mucinschicht
Manzsche Drüsen		Mucinschicht
Zeissische Drüsen	→	Talg für Wimpernfettung
Mollsche Drüsen	→	Schweißdrüsen
Meibomsche Drüsen	→	Lipidschicht

## 2.3 Tränenvolumen und Verteilung

- Gesamtmenge am Auge ~ 7  $\mu$ l
- Praecornealer TF ~ 1  $\mu$ l
- Tränenmenisken ~ 4  $\mu$ l
- Verteilung durch Lidschläge (asymmetrischer Lidschluss)
- Abfluss über Tränenpünktchen und Tränennasengang in den Rachen.
- Lidschlagfrequenz (10 bis 12 mal/min)
- Lidschlag (kein Schließen) - Lidschluss (mit Schließen des Lides)



## 2.4 Tränenfilm – Kennzahlen

- pH – Wert ca. 7,3 (auf 10 Mill. Wassermoleküle 1  $H_3O^+$ )
- Temperatur ca. 35°
- Osmotischer Druck ca. 0,9 % NaCl-Lösung entsprechend
- Brechzahl  $n=1,336$

## 2.5 Tränenprobleme

**Nasses Auge** (Hypersekretion): I.d.R. die Folge eines trockenen Auges.

**Trockenes Auge** (Hyposekretion/Benetzungsprobleme)

**Symptome:** Brennen, Jucken, Fremdkörpergefühl, Müde Augen, Visusminderung, Zwang zum Blinzeln

**exogene Ursachen:**

- Umwelteinflüsse
  - Zugluft, Gebläse
  - Trockene Luft (Klimaanlage)
  - Nikotindämpfe
  - Staub und partikelreiche Luft
  - Bildschirmarbeit (Office-Eye-Syndrom)
- Kosmetika, Cremes
- KL-Pflegemittel

### endogene Ursachen:

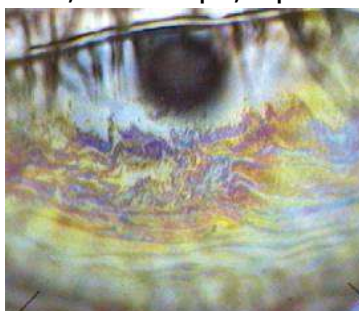
- Allergien (Symptome: Jucken, Brennen, tränende Augen)
- Ernährung
  - Trinkverhalten (Tee, Kaffee, zu wenig Wasser)
  - starker Alkoholgenuss
  - zu fettes und übermäßig salziges oder süßes Essen
  - Eiweißmangel oder Überschuss, Vitamin-A-Mangel (B6 und C)
  - Kalium- und Zink-Mangel
- Hormonale Störungen (Schwangerschaft, Schilddrüse, etc.)
- höheres Alter
- Krankheiten
  - Infektionen: Schnupfen, Grippe, etc.
  - Hautekzeme
  - Sicca-Syndrom (Keratoconjunctivitis sicca)
  - Sjögren-Syndrom (Sicca-Syndrom + Rheumatoide Arthritis )
  - Diabetes mellitus
- Schwund von Drüsengewebe
  - Atrophie (Rückbildung von Organen/Gewebe durch Ernährungsmangel)
  - Verätzung, Verbrennung
  - angeboren
- Medikamenteneinnahme
  - Hormone, Kontrazeptiva (Pille)
  - Psychopharmaka
  - Beta-Blocker (Rezeptoren hemmende Wirkung auf Organe)
  - Abführmittel
  - Schlafmittel
  - Kortison
- Lidschlussinsuffizienz
- Schlafmangel

## 2.6 Aufreißen des Tränenfilms (Stabilität)

Die Dicke des Tränenfilms nimmt natürlicherweise durch Verdunstung ab. Die Geschwindigkeit der Verdunstung ist abhängig von der Lufttemperatur, Feuchtigkeit und Lidschlagfähigkeit. In den ersten 5 Sekunden nach einem Lidschlag verdunstet ca. 20 %, nach 30 Sekunden sogar 50% der Ausgangsmenge.

Wird der Tränenfilm durch kleine Defekte an der Epithel/Mucinschicht besonders dünn, so kommt es zu einer Vermischung der Lipid- und Mucinschicht. Ab einem gewissen Zeitpunkt löst sich die benetzende Struktur auf dem Epithel auf und wird hydrophob. Eine Trockenstelle entsteht (dry spot).

Die Stabilität des Tränenfilms (optimale Benetzung) wird mit dem BUT-Test oder Reflexmethoden geprüft. Z.B. NIBUT-Test, Tearskope, Ophthalmometer-Testmarkenabbildung



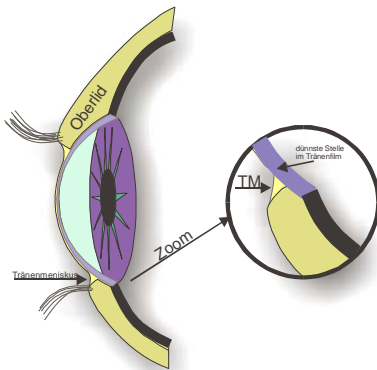
## 3.0 Kontrolle des Tränenfilms

**Ziel:** Mit Hilfe der Tränenteste lassen sich Kontaktlinsen-Empfehlungen bezüglich des Linsenmaterials, der Reinigungsintensität, des Austauschintervalls und der Nutzungsdauer geben.

### 3.1 Quantitätsteste

**Ziel:** Messung der Basissekretion (ohne Reizung) Voraussetzung: Noninvasive Teste

#### 3.3.1 Tränenmeniskusmessung (TM)



Tränenmeniskusmessung mit der Spaltlampe und Messokular bei diffuser Beleuchtung oder horizontalem Spaltlicht. (Gering invasiver Test) Kleiner Beleuchtungswinkel ca. 10°

#### **Auswertung:**

Normal ist ca. 0,2 bis 0,3 mm

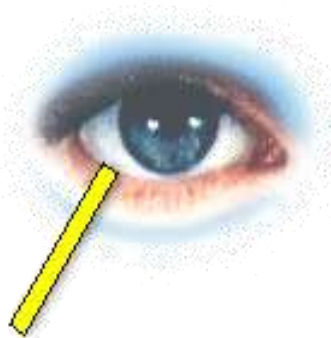
TM: 0,2–0,3 mm (normale Menge) → Harte / Weiche

TM: < 0,2 mm (geringe Menge) → Hartlinsenvorteil

TM: > 0,3 mm (höhere Menge) → Weichlinsenvorteil

**Hinweis:** Der Tränenmeniskus sollte im Bereich der unteren Cornea gleichmäßig sein.

#### 3.3.2 Schirmer-Test I



Vom Augenarzt Schirmer (1903 – ältester Test)  
Test I ohne Lokalanästhetikum  
Test II mit Lokalanästhetikum

#### **Methode:**

Ein Fließpapierstreifen wird an der Falz geknickt und temporal ins Unterlid eingehängt. Nach 5 Minuten wird die durchfeuchtete Strecke gemessen.



**Auswertung:** Normal ist 15 – 20 mm

Feuchtstrecke  $\geq$  10 mm → Hartlinseneignung

Feuchtstrecke  $\geq$  20 mm → Weichlinseneignung

Feuchtstrecke < 5 mm → Trockenes Auge  
d.h. keine Linseneignung



**Wertung:** Ziel der Messung ist die grobe Abschätzung der Basissekretionsmenge und die Sekretionsfähigkeit bei Reizung. Leider verfälscht die einsetzende Reizsekretion das Messergebnis und ist daher nur bedingt aussagefähig. (besonders invasiver Test)

### 3.3.3 Kurihashi-Test (Baumwollfadenmethode)



#### **Methode:**

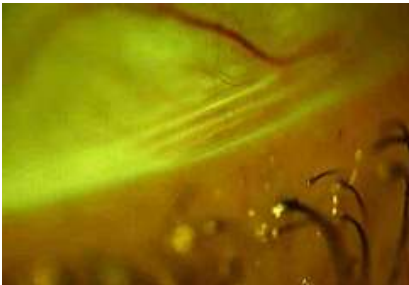
Ca. 3 mm des Fadenendes werden mit 10%iger Fluo-Lösung angefärbt. Das angefärbte Fadenende wird in den Bindehautsack des Probanden eingelegt. Der Klient schließt 10 Sekunden die Augen und dann wird der Faden entfernt und die Befeuchtungsstrecke gemessen.

#### **Auswertung:**

Feuchtstrecke > 10 mm → normale Tränensekretion

Feuchtstrecke < 10 mm → mangelnde Tränensekretion

### 3.3.4 LIPCOF – Lidkanten-parallele-conjuntivale-Falten (Höh, 1995)



**Methode:** Spaltlampe mit schmalen Spalt auf temporalen Unterlid-Bindehautübergang einstellen. Die Sichtbarkeit der Falten wird erhöht mit einer Fluorescein-Färbung.

#### **Auswertung:**

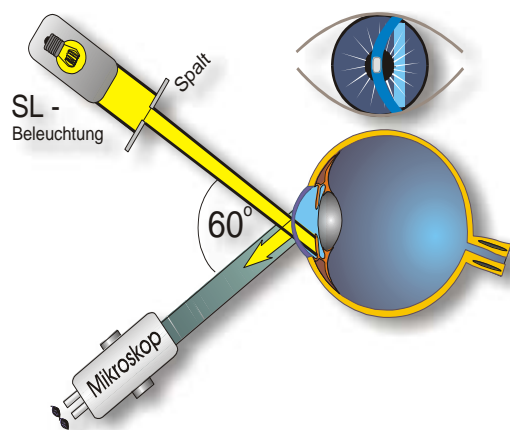
- Grad 0 → keine Falten
- Grad 1 → einzelne Falten bis 0,2 mm
- Grad 2 → mehrere Falten bis 0,2 mm
- Grad 3 → mehrere Falten über 0,2 mm

Grad 2 und 3 führen zu reduziertem KL-Tragekomfort und Trockenheitsgefühl.

Hilfe: Nachbenetzungsmittel anwenden, verkürzte Tragezeit

## 3.2 Qualitätsteste

### 3.2.1 Spiegelnde Beleuchtung



#### Einstellablauf:

- Optische Scheibe zentral auf die Hornhaut einstellen
- Gerät arretieren
- Beobachtungs- und Beleuchtungswinkel auf 30°
- Beleuchtungsstärke reduzieren
- Spaltbreite auf 3-4 mm erhöhen.
- Reflexbild mittig justieren.
- Vergrößerung 24X

#### Auswertung:

Oberflächenbeschaffenheit und Fließverhalten der Tränenflüssigkeit nach einem Lidschlag kontrollieren.

Wenig Blasen ohne Interferenz	→ normale Lipidmenge
Viele Blasen / Schlieren + Interferenz	→ hohe Lipidmenge
Keine Blasen / keine Interferenz	→ geringe Lipidmenge

#### Interpretation:

Hohe und geringe Lipidmengen erzeugen eine höhere Verdunstungsrate, was die Bildung von Trockenstellen begünstigt. Hohe Lipidmengen führen zu einer schlechteren Verschmutzung von Linsen.

Leicht visköse Blasenbewegung	→ normaler Mucingehalt
Stark visköse Blasenbewegung	→ hoher Mucinanteil
Schnelle Blasen/Partikel-Bewegung	→ geringer Mucinanteil

#### Interpretation:

Der Mucinanteil erzeugt bei normaler Menge eine stabile Benetzung und ein Feuchtigkeitskissen um die getragene Kontaktlinse. Bei geringem Mucinanteil sind Linsen in der Regel spürbarer. Bei hohem Anteil meist gering beweglich. Es kann zum Verkleben der Linsen an der Cornea führen.

#### Interferenzkontrolle:

##### Methode:

Mattglas vorschalten und Spaltbreite sowie Helligkeit reduzieren bis Strukturen grau oder farbig im Spiegelbezirk erscheinen.

##### Interpretation:

grau-weiß → geringe Lipidmenge, hellgelb → noch normal, rot bis blau → hohe Lipidmenge (je mehr blau desto höher)

##### Bilder:



Glatter Spiegelreflex



Viele Blasen im Spiegelreflex



Interferenz

### 3.2.2 Der BUT – Test (Break-UP-Time oder TAZ Tränenaufreisszeit–Test)



#### Einstellablauf:

- Der Tränenfilm wird mit Fluorescein angefärbt.
- Spaltlampe einstellen auf Blaulicht, Maximalspalt (direkt fokal), 6 fach und maximale Helligkeit
- Beobachtung durch ein Gelbfilter

#### Methode: Zeitmessung (BUT/TAZ):

Nach drei Lidschlägen wird der Proband aufgefordert, solange wie möglich die Augen aufzuhalten. Es wird die Zeit gemessen, bis erstmalig eine dunkle Stelle im Tränenfilm gesehen wird.

#### BUT-Auswertung:

$BUT < 5 \text{ sec}$	→	für Linsen ungeeignet
$BUT > 10 \text{ sec}$	→	für Hartlinsen geeignet
$BUT > 20 \text{ sec}$	→	für Weichlinsen geeignet

#### Interpretation:

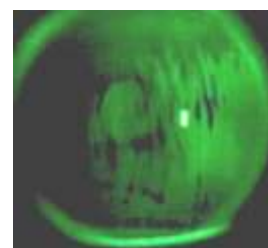
Die Helligkeit des leuchtenden Fluoresceins ist gekoppelt mit der Schichtdicke der Tränenflüssigkeit. Je dicker die Tränenflüssigkeit desto heller, je dünner desto geringer ist die Leuchtkraft.

#### Stabiler Tränenfilm:

Der Flüssigkeitsfilm erscheint lange Zeit nach einem Lidschlag gleichmäßig hell (grün-gelb). → Optimaler Tränenfilm.

#### Destabiler Tränenfilm:

Der Flüssigkeitsfilm zeigt frühzeitig Bereiche mit unterschiedlicher Helligkeit (Fluoreszenz). Erscheinen Bereiche schwarz, so handelt es sich um so genannte Trockenstellen „dry spots“.



### 3.3.3 Der NIBUT – Test (Non-Invasiv-Break-UP-Time Test)



**Methode:** Ein beleuchtetes Kreuzgitter in einer Halbschale wird als Objekt auf den Tränenfilm abgebildet. Das Gitterbild wird nach einem Lidschlag auf Abbildungslücken überprüft. Zeitmessung bis zum ersten Bildausfall bzw. Trockenstelle.

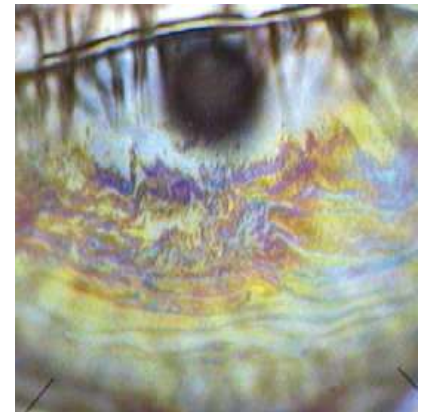
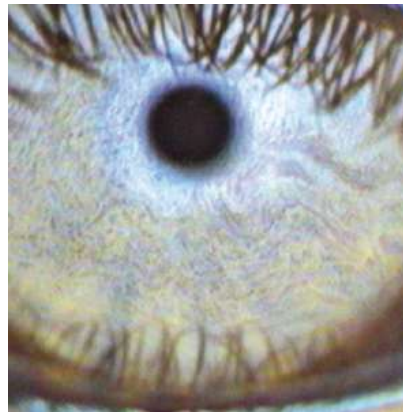
**Auswertung:** siehe BUT-Test

### 3.3.4 Interferenzmustertest mit Tearskope



**Methode:** Eine matte beleuchtete Halbschale wird auf den Tränenfilm abgebildet.

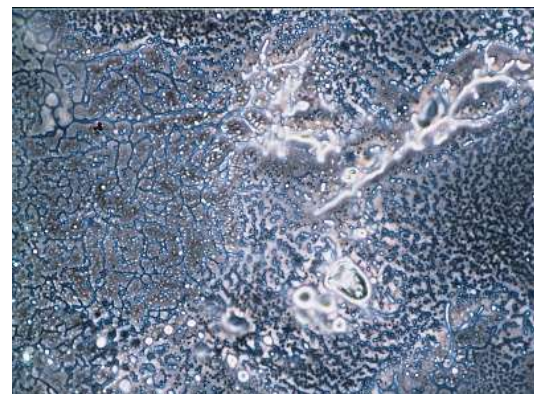
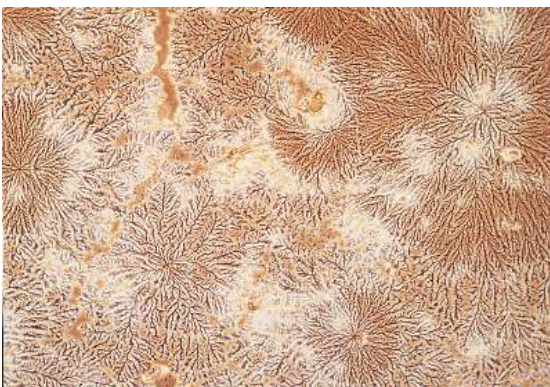
**Auswertung:** siehe Spiegelnde Beleuchtung / Interferenzmuster



Zunehmende Interferenz von links nach rechts → erhöhte Lipidmenge

### 3.3.5 Farntest nach Maidowsky

**Methode:** Mit einer Pipette wird eine definierte minimale Menge Tränenflüssigkeit vom Tränenmeniskus entnommen und auf einen Glas-Objektträger appliziert. Eine Wärmelampe verdampft die Flüssigkeit, so dass ein getrocknetes kristallines Muster übrig bleibt.



**Auswertung:**

Ruhiges Farnmuster → stabiler TF

kaum Muster erkennbar → instabiler TF

**7 Punkt Kaltlichtleuchte** → vergleichbar mit Spiegelnder Beleuchtung

## 4.0 Tränenflüssigkeit und Kontaktlinsen

Für den Sitz und Komfort einer Kontaktlinse hat der Tränenfilm als Gleit- und Schutzfilm eine ganz wesentliche Bedeutung. Unter der Kontaktlinse dient er quasi als Puffer und verteilt den Auflagedruck der Linse. Wird der Tränenfilm zu dünn, reibt besonders die formstabile Linse direkt auf dem empfindlichen Hornhautepithel, der oberen Deckschicht der Hornhaut. Es kommt zu feinen, punktförmigen Rauigkeiten, bei stärkerem Scheuern sogar zu oberflächlichen Abschürfungen.

### 4.1 Tränen austausch unter Kontaktlinsen

Kontaktlinsen behindern die natürliche Tränenzirkulation/Tränen austausch an der Hornhaut.

#### *Mögliche Folgen sind:*

- Eingeschränkter Hornhautstoffwechsel
- Veränderte Sekretionsrate
- Veränderter pH-Wert (bei Überschuss → basischer)
- Veränderter Salzgehalt (bei Überschuss → geringer)
- geringere Viskosität → höhere Linsenbeweglichkeit
- Mechanische Reize führen zu Lipidüberschuss → Ablagerungen auf der KL

### 4.2 Trockene Augen und Kontaktlinsen

#### *Trockene Augen sind erkennbar an:*

- Rötung der Bindehaut
- Bindehaut und Hornhaut wirken glanzlos
- schmaler Tränenmeniskus
- zähe TF-Bewegung
- vermehrt Bindehautfalten an unterer Lidkante
- Hornhautstippen (Keratitis punctata superficialis)
- Zellreste im Tränenfilm

Kontaktlinsen sind bei trockenen Augen nur bedingt tragbar. Meist ist die Stundenzahl auf 4 bis 6 Stunden pro Tag begrenzt.

Benetzungslösungen (Tränenersatzmittel) helfen für eine gewisse Zeit.

**Empfehlung:** Gering wasserhaltige Weichlinsen, PVA-haltige Weichlinsen, Benz-Material oder Hartlinsen mit gut benetzendem FSA-Material.

#### Ältere Benetzungsmittel enthalten zur Behandlung:

- |                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| • Methylcellulose (MC)                | → dickflüssig    |
| • Hydroxyethylcellulose (HEC)         | → dickflüssig    |
| • Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) | → dickflüssig    |
| • Polyvinylalkohol (PVA)              | → dünnflüssig    |
| • Polyvinylpyrrolidon (PVP)           | → dünnflüssig    |
| • Hyaluronsäure                       | → naturidentisch |

Wichtig: Benetzungslösungen sind unkonserviert augenschonender!

#### *Tipps:*

1. Der Betroffene sollte eine Lidrandhygiene ausführen. D.h. säubern der Lidkante von Schuppen und Krusten mit Lidreinigungspads, Wattestäbchen oder Baby-Shampoos.
2. Nur wasserlösliche, konservierungsmittelfreie sowie fett- und duftstofffreie Kosmetika verwenden. Natürliche Präparate sind am besten.