

Ophthalmologie 2023 · 120:1238–1250  
<https://doi.org/10.1007/s00347-023-01919-0>  
Angenommen: 15. August 2023  
Online publiziert: 14. September 2023  
© The Author(s) 2023



# Moderne Hornhautdiagnostik als Schlüssel für die korrekte Einordnung der Erkrankung und optimale Therapieentscheidung

Tim Berger · Elias Flockerzi · Loay Daas · Loïc Hamon · Zaynab Khattabi · Maximilian Berger · Berthold Seitz

Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes (UKS), Homburg/Saar, Deutschland

## Zusammenfassung

Hornhauterkrankungen umfassen ein breites Spektrum unterschiedlicher Erscheinungsformen (entzündlich/nichtentzündlich), die für eine präzise Diagnose und gezielte Behandlung genau klassifiziert werden müssen. Neben der Anamnese und der Spaltlampenbiomikroskopie können zur Eingrenzung der Diagnose weitere gerätgestützte Untersuchungen durchgeführt werden. Die moderne Hornhautbildgebung bietet heute eine Vielzahl von Technologien wie Topographie, Tomographie, In-vivo-Konfokalmikroskopie und die Analyse der Biomechanik, mit denen sich verschiedene Pathologien zuverlässig klassifizieren lassen. Darüber hinaus hilft die Kenntnis der verfügbaren Untersuchungsmodalitäten bei differenzialdiagnostischen Überlegungen und erleichtert die Indikationsstellung für einen stadiengerechten mikrochirurgischen Eingriff.

### Schlüsselwörter

Korneale Topographie · Korneale Tomographie · Hornhautchirurgie · Hornhautbildgebung · Konfokalmikroskopie

Im klinischen Alltag ist eine differenzierte Beurteilung verschiedener kornealer Pathologien für ein zielgerichtetes Handeln unerlässlich. Heutzutage bietet die Hornhautdiagnostik ein breites Spektrum an Methoden und Technologien, die eine präzise Diagnosestellung und individuelle Therapieabwägung ermöglichen.

Die Anamnese und Spaltlampenbiomikroskopie bilden die Grundlage der Diagnosestellung, die durch weitere diagnostische Untersuchungen wie die korneale Topographie oder Tomographie ergänzt werden können.

In diesem Beitrag werden verschiedene Ansätze und Instrumente zur Diagnosestellung verschiedener Hornhauterkrankungen vorgestellt, um ein fundiertes Verständnis für spezifische Therapien zu schaffen und den Entscheidungsprozess einer gezielten und effektiven Behandlung zu unterstützen.

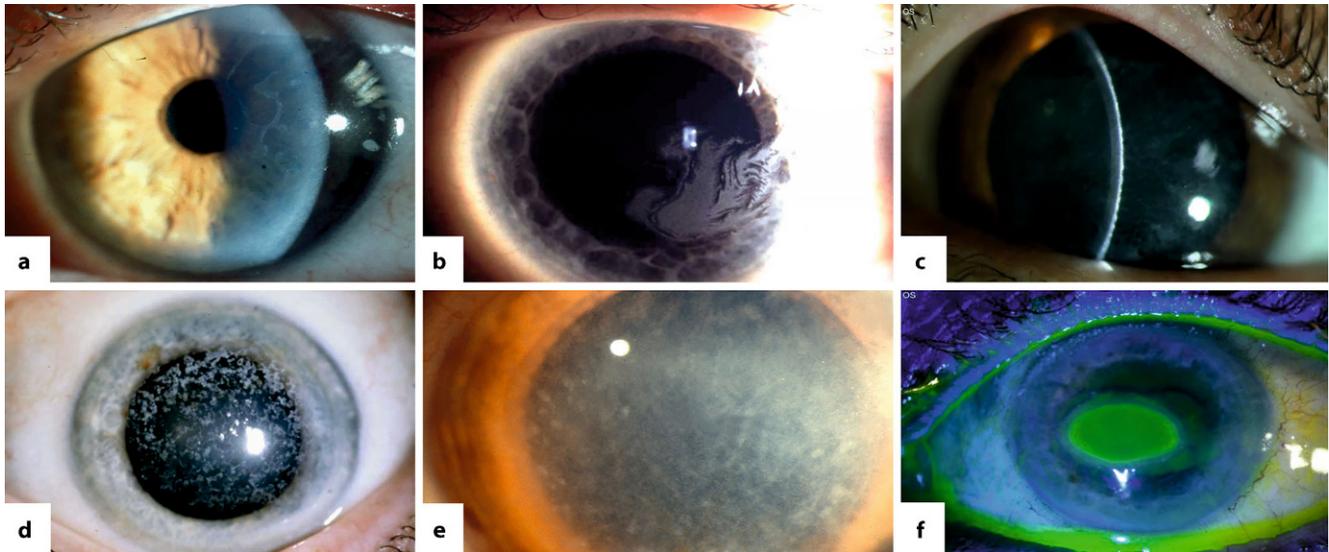
## Anamnese

Eine detaillierte Anamnese ist für eine präzise Diagnosestellung und eine angemessene Therapieentscheidung von entscheidender Bedeutung.

Das zeitliche Auftreten einer kornealen Pathologie ist in jedem Fall so genau wie möglich zu erfragen, um genaue Informationen zu erhalten, ob eine Hornhauttrübung bereits bei der Geburt vorhanden war (kongenital) oder möglicherweise als Folge eines Traumas nach Verletzung oder Operation entstanden ist. Systemische Erkrankungen wie Diabetes mellitus oder Mukopolysaccharidose, Hauterkrankungen (z. B. Neurodermitis oder Rosazea), rheumato-logische Erkrankungen (z. B. rheumatoide Arthritis), neurologische Erkrankungen (z. B. Fazialisparese) sowie eine detaillierte Erfassung der lokal und systemisch (Amiodaron!) verabreichten Medikamente bilden



QR-Code scannen & Beitrag online lesen



**Abb. 1** ▲ Spaltlampenbiomikroskopische Fotografien verschiedener Hornhautpathologien. **a** Horizontale Ausdehnung einer Map-Dot-Fingerprint-Dystrophie mit breitem Spalt. **b** Horizontale Ausdehnung einer Lisch-Hornhautdystrophie durch indirekte Beleuchtung (sog. „sclerotic scatter“). **c** Sagittale Ausdehnung einer Thiel-Behnke-Hornhautdystrophie mit dünnem Spalt. **d, e** Beurteilung der Kornea zwischen den Trübungen. Bei fortgeschrittener granulärer Hornhautdystrophie (**d**) zeigt sich ein klarer Bereich zwischen den schneeflockenartigen Trübungen, wohingegen bei makulärer Dystrophie die Hornhaut „dazwischen“ diffus getrübt ist. **f** Neurotrophes Ulcus corneae mit zentralem ellipsoidem Defekt

einen wichtigen Bestandteil der initialen Befragung [28, 29]. Bei infektiösen Keratitiden ist es wichtig, nach der Verwendung von Kontaktlinsen (harte/weiche Kontaktlinsen, Tages- oder Monatslinsen) und der Dauer der Erkrankung zu fragen (*Pseudomonas* – schneller Verlauf vs. *Acanthamoeba* – langsamer Verlauf). Auch die Familienanamnese (z. B. Hornhautdystrophien) sowie die Berufsanamnese (z. B. Fremdkörperverletzungen, Verätzungen, landwirtschaftliche Berufe) sind für die weitere Beurteilung von Hornhautpathologien von wesentlicher Relevanz.

Weiterhin wird erfragt, ob ähnliche Symptome früher an demselben Auge aufgefallen sind und ob auch das kontralaterale Auge betroffen ist und aktuell ähnliche Symptome aufweist oder früher aufgewiesen hat. Im Hinblick auf die weitere (operative) Therapie ist zum einen die Lebensqualität als auch die beste Sehschärfe in der Vergangenheit (Amblyopie) zur Entscheidungsfindung heranzuziehen.

Folgende Symptome sind möglich:

- Schmerzen,
- Visusminderung (morphologisch bedingt, z. B. Trübung, und/oder funktionell bedingt, z. B. Irregularität der Oberfläche),

- Farbringe um Lichtquellen (bedingt durch Epithelödem z. B. beim akuten Glaukom),
- Photophobie,
- Epiphora,
- Blepharospasmus.

### Inspektion

Bei der Inspektion im Hinblick auf einen Herpes zoster wird auf die Kopfhaut (primäre/sekundäre Effloreszenzen) sowie auf das Vorhandensein eines Hutchinson-Zeichens (Effloreszenzen auf der Nasenspitze/dem Nasenrücken deuten auf eine Beteiligung des N. nasociliaris und damit auf eine okuläre Beteiligung hin) geachtet. Ebenso sollte auf weitere Hautveränderungen eingegangen werden, die beispielsweise in Verbindung mit Rosazea oder Neurodermitis auftreten können. Daneben werden die Lider und Zilien bezüglich Stellung (z. B. Ektropium, Entropium, Lagophthalmus, Trichiasis) und Blepharitis beurteilt. Eine Untersuchung im Abblick (z. B. Munson-Zeichen bei Keratokonus) oder in der Seitenansicht der Hornhaut (z. B. Keratoglobus) kann wegweisend sein.

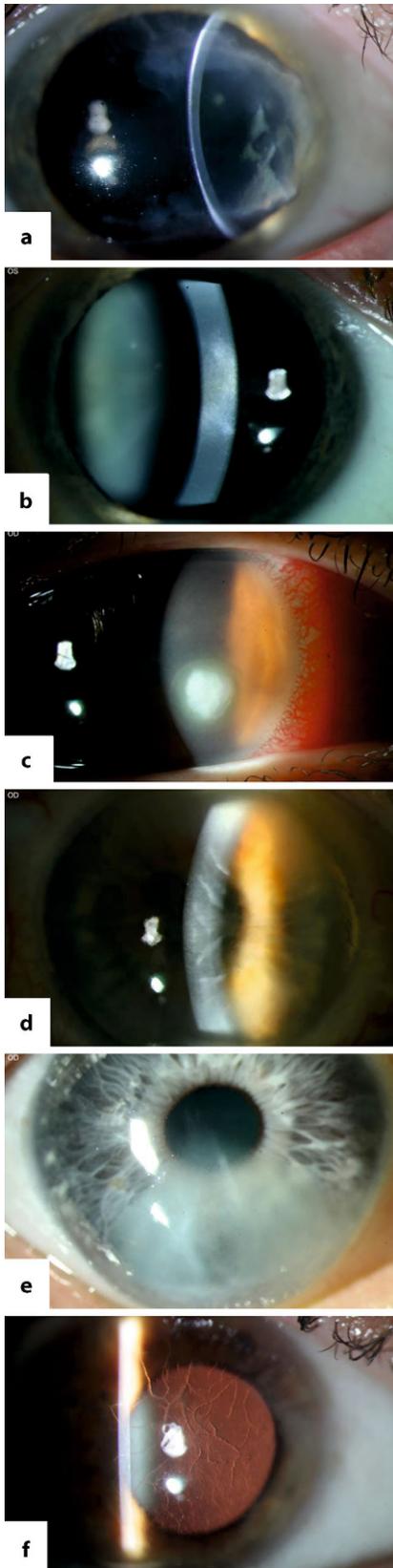
### Spaltlampenbiomikroskopie

Die Spaltlampenbiomikroskopie stellt noch immer den Goldstandard der augenärztlichen Untersuchung dar. Grundsätzlich sind immer beide Augen zu untersuchen – möglichst auch in Mydriasis, um beispielsweise diskrete Hornhautdystrophien besser zu erkennen.

Bei der Spaltlampenuntersuchung (Abb. 1) wird in direkter, indirekter und – wann immer möglich – in regredienter Beleuchtung bei weiter Pupille untersucht.

Es muss zum einen die horizontale Ausdehnung (Abb. 1a, b) der Läsion mit dem breiten, hellen Spalt untersucht werden. Die Trübung kann lokal begrenzt sein oder die ganze Hornhaut betreffen. Es kann auch eine Multifokalität auftreten. Das Trübungsmuster und die Trübungseinheit können variieren, und auch die Form sowie die Begrenzung der Trübung können unterschiedlich sein.

Zum anderen muss auch die sagittale Ausdehnung im dünnen, sehr hellen Spalt („Messerschnitt“, Abb. 1c) evaluiert werden. Hierbei ist zu unterscheiden, ob es sich um eine Auflagerung (z. B. Salzmann-Knoten, „Plus-Gewebe“), eine Läsion innerhalb einer normal dicken Horn-



**Abb. 2** ◀ Klassifikation von Hornhaut-„Trübungen“. **a** Auflagerungen (meist vor der Bowman-Lamelle): sog. „Pannus“. **b** Narbe (vaskularisiert oder avaskulär): meist multifokale Verdünnung. **c** Infiltrat: meist flauschig mit fokaler Verdickung (Differenzialdiagnose entzündliche nichtinfektiöse Hornhauterkrankungen). **d** Hornhaut-Endothel-Epithel-Dekompensation: geringe bis sehr starke Verdickung (mit oder ohne Descemet-Falten sowie Keratopathia bullosa). **e** Kornealer Hydrops („akuter Keratokonus“): Ruptur der Descemet-Membran führt zur extremen Verdickung. **f** Einlagerungen: oft normale Hornhautdicke (z. B. Dystrophien)

haut (z. B. Dystrophien) oder um eine abgesenkte Läsion (z. B. Hornhautnarben, „Minus-Gewebe“) handelt. Eine exakte Identifizierung der betroffenen Schicht(en) ist zur weiteren Einteilung notwendig. Ebenso sollte darauf geachtet werden, wie die Kornea „zwischen“ den Läsionen erscheint (▣ **Abb. 1d, e**).

Die Spaltlampenbiomikroskopie wird ergänzt durch Vitalfärbungen. Fluoreszein und Blaulicht werden zur Detektion von Epitheldefekten, „late fluorescein staining“ der kornealen Oberfläche bei Limbusstammzellinsuffizienz mit Konjunktivalisierung der Hornhaut (z.B. kongenitale Aniridie) und in der Keratoplastiknachsorge (Epitheldefekte, Fadenlockerungen: „lockere Fäden nehmen Farbe an“, Seidel-Probe) verwendet [41].

Die selten durchgeführte Vitalfärbung mit Bengalrosa eignet sich zum Nachweis abgestorbener/geschädigter Zellen. Dies geschieht beispielsweise zur Einordnung der epithelialen herpetischen Keratitis sowie der Keratitis filiformis bei schwerer Keratoconjunctivitis sicca.

Die Charakterisierung der Epitheldefekte lässt sich gut anhand der Ränder beurteilen. Während gut heilende Epitheldefekte eine polygonale Begrenzung aufweisen, findet sich bei schlecht und sehr langsam abheilenden Epitheldefekten meist eine runde oder ellipsoide Begrenzung („kleinster Umfang bei gegebener Fläche“, ▣ **Abb. 1f**).

Grundsätzlich werden bei jeder Untersuchung auch die Bindehaut (Follikel?, Papillen?) und die Fornices oben und unten (Symblepharon?) mitbeurteilt. Die Spaltlampenphotografie (am besten digital – zum chronologischen Vergleich), der Schirmer-Test I (Reizsekretion) oder II (basale Sekretion) und die Break-up-Time zur Diagnostik

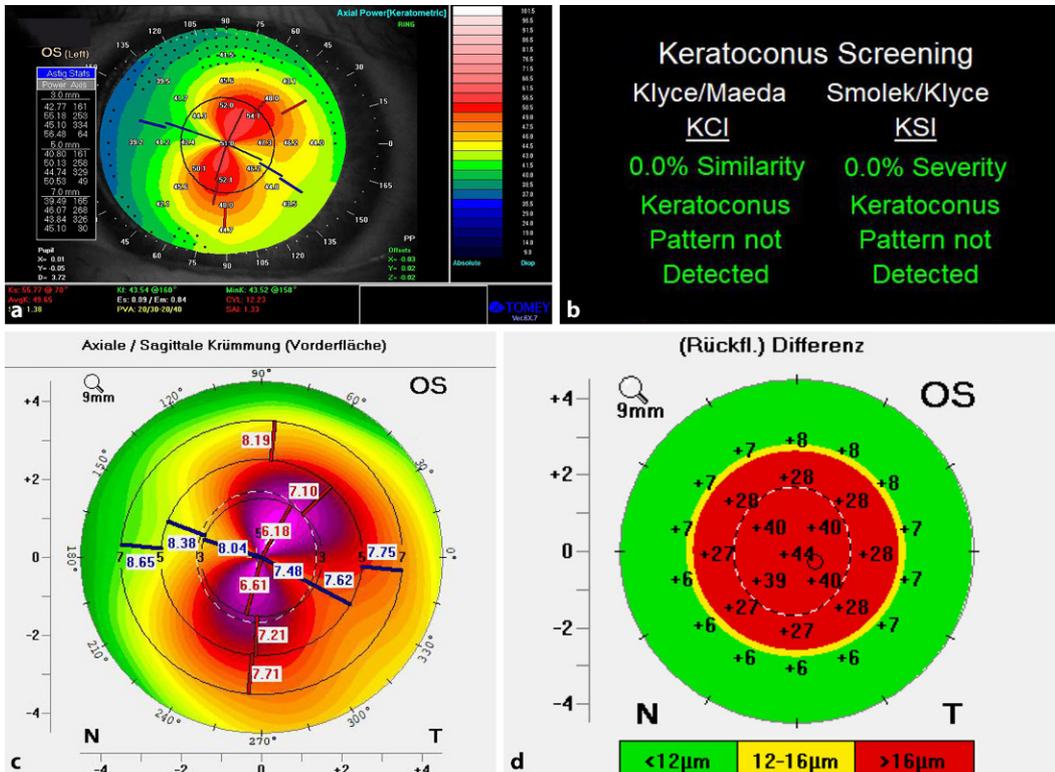
Tab. 1 Gerätegestützte Untersuchungsmethoden
Placido-basierte Topographie
Hochauflösende Scheimpflug-Tomographie
Spiegelmikroskopie (inklusive Endothelzellzahl und -morphologie)
Optische Kohärenztomographie (OCT) des Vorderabschnitts
In-vivo-Konfokalmikroskopie
Corneal Visualization Scheimpflug Technology (CORVIS ST) mit „Homburg Biomechanical E-Staging“ [18, 19]

der Keratoconjunctivitis sicca sowie die Ästhesiometrie nach Luneau zur qualitativen und quantitativen Prüfung der Hornhautsensibilität ergänzen die initiale Untersuchung.

**Diagnostisch wegweisende Befunde**

Eine Einteilung verschiedener „Hornhauttrübungen“ ist in ▣ **Abb. 2** zusammengefasst.

Bei jeder Hornhautpathologie muss zunächst entschieden werden, ob ein entzündliches (infektiös vs. nichtinfektiös) oder nichtentzündliches Geschehen vorliegt. Definitionsgemäß gehen nichtentzündliche Keratopathien primär mit einem „weißen Auge“ ohne konjunktivale Injektion und ohne Vorderkammerreizzustand einher, und es finden sich zunächst keine kornealen Neovaskularisationen. Pathogenetisch kann es sich bei nichtentzündlichen Keratopathien um kongenitale (z. B. Dermoide), genetisch bedingte/hereditäre (z. B. Dystrophien), ektaische (z. B. Keratokonus), degenerative (z. B. Salzmannsche noduläre Degeneration), neoplastische (z. B. korneale intraepitheliale Neoplasie) oder traumatisch bedingte Krankheitsbilder (akzidentell, iatrogen oder Selbstschädigung) handeln. Die infektiösen Keratopathien sind in absteigender Häufigkeit meistens entweder bakteriell, viral (besonders Herpes-Viren), fungal oder parasitär (besonders durch Akanthamoeben) bedingt. Bei den nichtinfektiösen entzündlichen Keratopathien dominieren Krankheitsbilder wie die immunologisch bedingten Randulzera (z. B. rheumatischer Genese) oder die Limbusstammzellinsuffizienz [3, 16].



**Abb. 3** ◀ Topo- und tomographische Analyse eines zentralen Keratokonus. **a, b** Placido-basierte Hornhauttopographie (TMS-5, Tomey Corp., Nagoya, Japan). Es zeigt sich ein hoher, zentral regulärer Astigmatismus (a). Gerätespezifische Keratokonus-Indizes (**b**) sind jedoch unauffällig und erkennen den zentralen Keratokonus nicht. **c, d** Scheimpflug-Tomographie (OCULUS Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Deutschland): In der sagittalen Krümmungskarte der Vorderfläche liegt eine sanduhrförmige Konfiguration vor. Die Diagnose lässt sich in diesem Fall über eine pathologische Rückflächenelevation und eine auffällige Biomechanik (nicht gezeigt) stellen. Die Tomographie ist in diesem Fall der Topographie deutlich überlegen

## Gerätgestützte Bildgebung der Hornhaut

In den letzten Jahren hat sich die Diagnostik des vorderen Augenabschnitts stetig weiterentwickelt, sodass heutzutage eine Vielzahl an apparativen Verfahren zur Verfügung steht. Dennoch müssen sämtliche Befunde der Funktionsdiagnostik immer in Zusammenschau mit der Anamnese und Spaltlampenbiomikroskopie interpretiert werden [22].

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten gerätgestützten Untersuchungsmethoden der Hornhaut (▣ Tab. 1) näher betrachtet.

## Korneale Topo- und Tomographie

Bei der Placido-basierten Topographie wird die Hornhautbrechkraft anhand einer Reihe von konzentrischen Ringen bestimmt, die auf die Hornhautvorderfläche projiziert werden. Nachteil ist ein Fehlen von Ringen im Hornhautzentrum (Kamera in der Untersuchungsachse) und teilweise im nasalen Bereich (Nasenschatten), weshalb fehlende Krümmungswerte durch die Gerätesoftware kalkuliert werden. Ebenso ist die Untersuchungsmethode

stark abhängig vom Tränenfilm und liefert allein keine Informationen über die Hornhaurückfläche und -dicke [36].

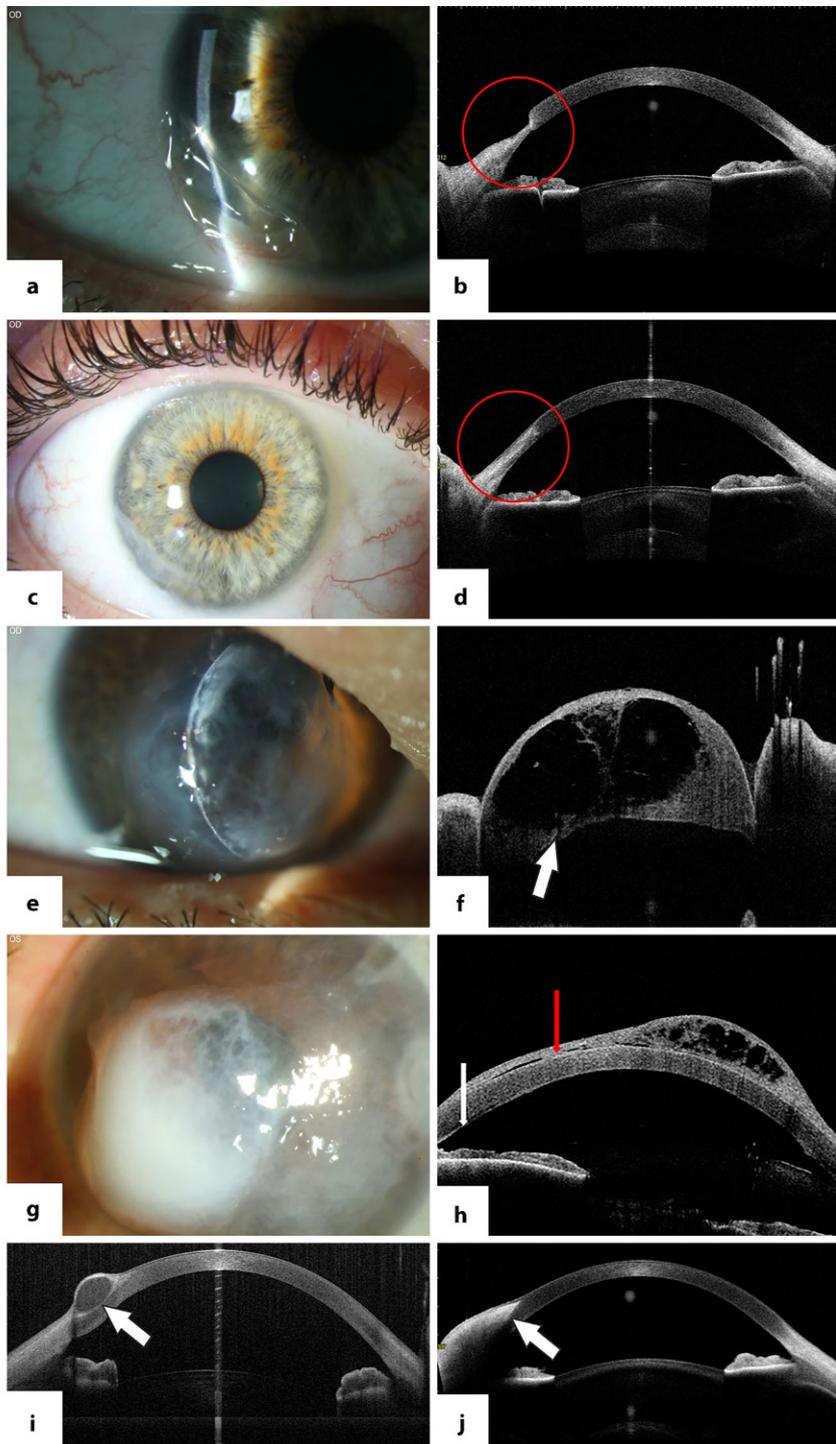
Die Scheimpflug-Tomographie bietet neben der Darstellung der Vorderfläche auch Daten der Rückfläche und eine vollständige Analyse der Hornhautdicke. Diese zusätzlichen Informationen verbessern die Erkennung subklinischer Hornhautektasien (▣ Abb. 3).

Die optische Kohärenztomographie (OCT) des vorderen Augenabschnitts (VA-OCT) ist ein berührungsloses Bildgebungsverfahren, das hochauflösende Bilder des vorderen Augenabschnitts sowie seiner anatomischen Strukturen liefert und eine genaue morphologische Klassifizierung von Hornhauterkrankungen ermöglicht (▣ Abb. 4). Einen besonderen Stellenwert bietet die VA-OCT in der präoperativen Tiefenlokalisierung verschiedener Pathologien sowie in der postoperativen Nachsorge (▣ Abb. 5) wie beispielsweise nach hinterer lamelläarer Keratoplastik zur Detektion einer Transplantatdehiszenz. Des Weiteren hilft die sterile Spendertomographie in Homburg seit 2018 dabei, die Transplantation von Spendergewebe mit Dicken- und Krümmungsanomalien (z. B. Keratokonus

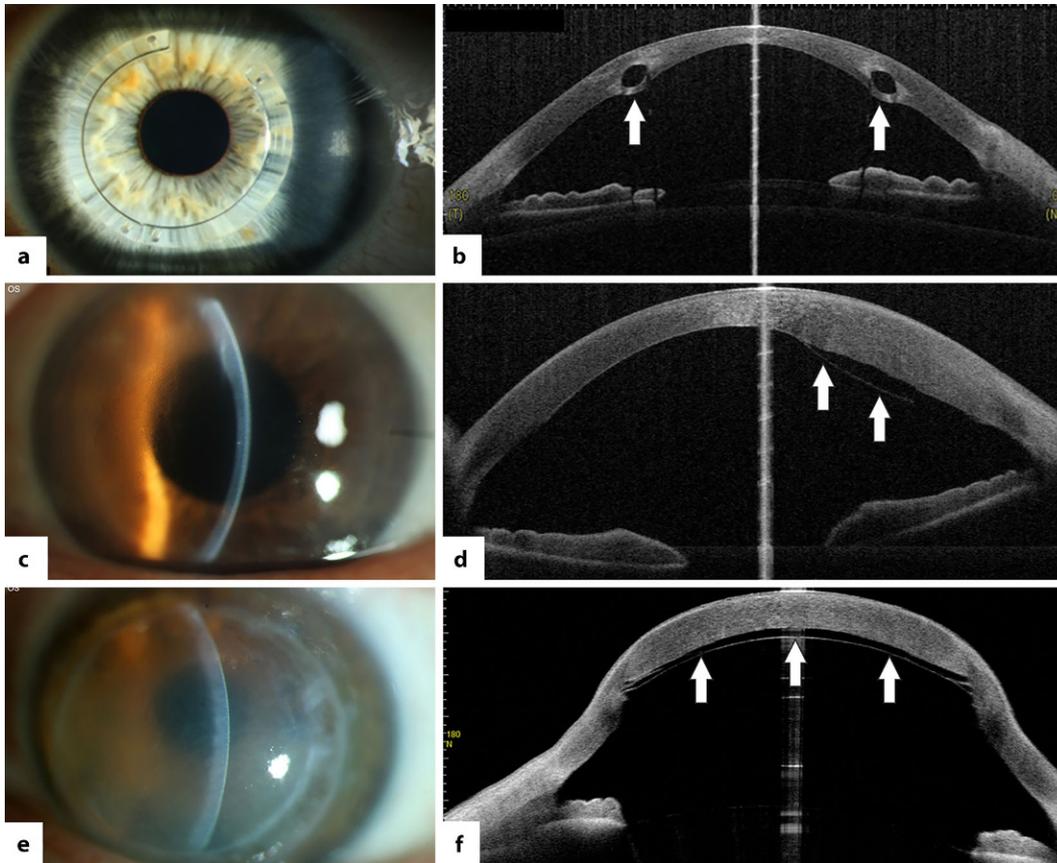
oder Zustand nach refraktiver Chirurgie) zu verhindern [26, 27, 35].

## Spiegelmikroskopie des Hornhautendothels

Die Spiegelmikroskopie (▣ Abb. 6) ist ein nichtinvasives diagnostisches Verfahren, das eine In-vivo-Bewertung des Hornhautendothels im gesunden Zustand und bei verschiedenen Erkrankungen ermöglicht. Die morphologische Analyse der Endothelzellen wird durch Polymegalismus (Variation der Zellfläche einzelner Zellen), Pleomorphismus (Abweichung von der Hexagonalität), Zelldichte (Zellen/mm<sup>2</sup>) und Zellfläche ± Standardabweichung (µm<sup>2</sup>) charakterisiert. Die eher qualitative als quantitative Endothelzellanalyse im Rahmen der Spiegelmikroskopie (Endothelbild anschauen!) spielt unter anderem eine wichtige Rolle bei der Beurteilung des Risikos der kornealen Dekompensation nach Kataraktchirurgie bei fortgeschrittener Cornea guttata. Keineswegs macht es hier jedoch Sinn, die reine Anzahl der Endothelzellen automatisiert bestimmen zu lassen. Verlässliche Kriterien für die Progression einer Fuchs-Endotheldystrophie sind dagegen der bestkorrigierte Visus, die



**Abb. 4 ▲** Beispielhafte Verwendung der VA-OCT (optische Kohärenztomographie des vorderen Augenabschnitts, Casia2, Tomey Corp., Nagoya, Japan). **a–d** Präoperativer klinischer (**a**) und kohärenztomographischer (**b**) Befund einer schweren peripheren ulzerativen Keratitis (*roter Kreis*) bei rheumatoider Arthritis. Nach Amnionmembrantransplantation als Triple-Graft zeigt sich sowohl klinisch (**c**) als auch kohärenztomographisch (**d**) eine stromale Integration der Membranen (*roter Kreis*). **e, f** Klinischer (**e**) und kohärenztomographischer (**f**) Befund bei akutem Keratokonus. Die Lokalisation des Descemet-Risses (*Pfeil*) sollte vor operativer Versorgung mit der VA-OCT festgestellt werden. **g, h** Massiver Salzmann-Knoten, der klinisch einem akuten Keratokonus ähnelt (**g**). In der VA-OCT (**h**) lässt sich der Salzmann-Knoten als Auflagerung (*roter Pfeil*) gut abgrenzen bei sonst normaler Hornhaut (*weißer Pfeil*). **i, j** Stromale Epithelimplantationszyste nach Fingernagelverletzung (**i**, *weißer Pfeil*) und solides Limbusdermoid (**j**, *weißer Pfeil*). Die VA-OCT ist präoperativ vor Resektion zur Bestimmung der Tiefenausdehnung unerlässlich



**Abb. 5** ◀ VA-OCT (optische Kohärenztomographie) des vorderen Augenabschnitts zur postoperativen Verlaufskontrolle. **a, b** Keratokonushornhaut nach Implantation intrakornealer Ringsegmente (ICRS, Intacs-SK, Addition Technology, Des Plaines, IL, USA) (a). Postoperative Kontrolle der korrekten Positionierung der ICRS (typischerweise in der 6- bis 7-mm-Zone in 80 %iger Tiefe, Pfeile) (b). **c, d** Verlaufskontrolle nach DMEK („Descemet membran endothelial keratoplasty“) mit kranialer Verdickung (c). Kohärenztomographischer Befund (d) mit Transplantatdehizensz kranial im Bereich der Verdickung (Pfeile). **e, f** Diffuse Hornhaut-Endothel-Epithel-Dekompensation (Pfeile) nach perforierender Keratoplastik 30 Jahre zuvor (e). Kohärenztomographisch sichtbare Descemetolyse aufgrund einer ausgeprägten Transplantatdehizensz (f)

Zunahme der zentralen Pachymetrie und der Unterschied des Visus am Morgen und am Abend [47]. Die Endothelmikroskopie in Hornhautbanken nimmt inzwischen auch eine wichtige Bedeutung bei der Erkennung von Transplantaten mit Cornea guttata ein [32, 33].

### In-vivo-Konfokalmikroskopie

Die In-vivo-Konfokalmikroskopie (■ **Abb. 7**) hat ihren klinischen Stellenwert im Wesentlichen bei der In-vivo-Diagnostik der Akanthamöben- oder Pilzkeratitis. Neben klassischen Diagnosemethoden wie einem direkten Erregernachweis (z. B. mikroskopisch, Kultur, Polymerasekettenreaktion) bietet die In-vivo-Konfokalmikroskopie eine sinnvolle Ergänzung, die zu einer schnellen empirischen Therapieeinleitung beitragen kann. Die In-vivo-Konfokalmikroskopie sollte vor einem diagnostischen oder therapeutischen Hornhautscraping durchgeführt werden.

Besonders bei therapierefraktären infektiösen Keratitiden ist eine Vorstellung in einem Hornhautzentrum mit Möglich-

keit der In-vivo Konfokalmikroskopie angeraten, um eine zügige Diagnose zu stellen und eine effektive, erregereadaptierte Therapie einzuleiten [4, 5, 11, 24]. Auch in der Keratoplastiknachsorge ist die In-vivo-Konfokalmikroskopie zur Erkennung von frühen infektiösen Rezidiven geeignet [9, 12].

Bei nichtentzündlichen Hornhauterkrankungen (z. B. Darstellung des subbasalen Nervenplexus bei Keratokonus oder neurotropher Keratopathie) kann die In-vivo-Konfokalmikroskopie ebenfalls eingesetzt werden, nimmt jedoch nur eine untergeordnete Rolle ein [8, 17].

### Biomechanik der Hornhaut

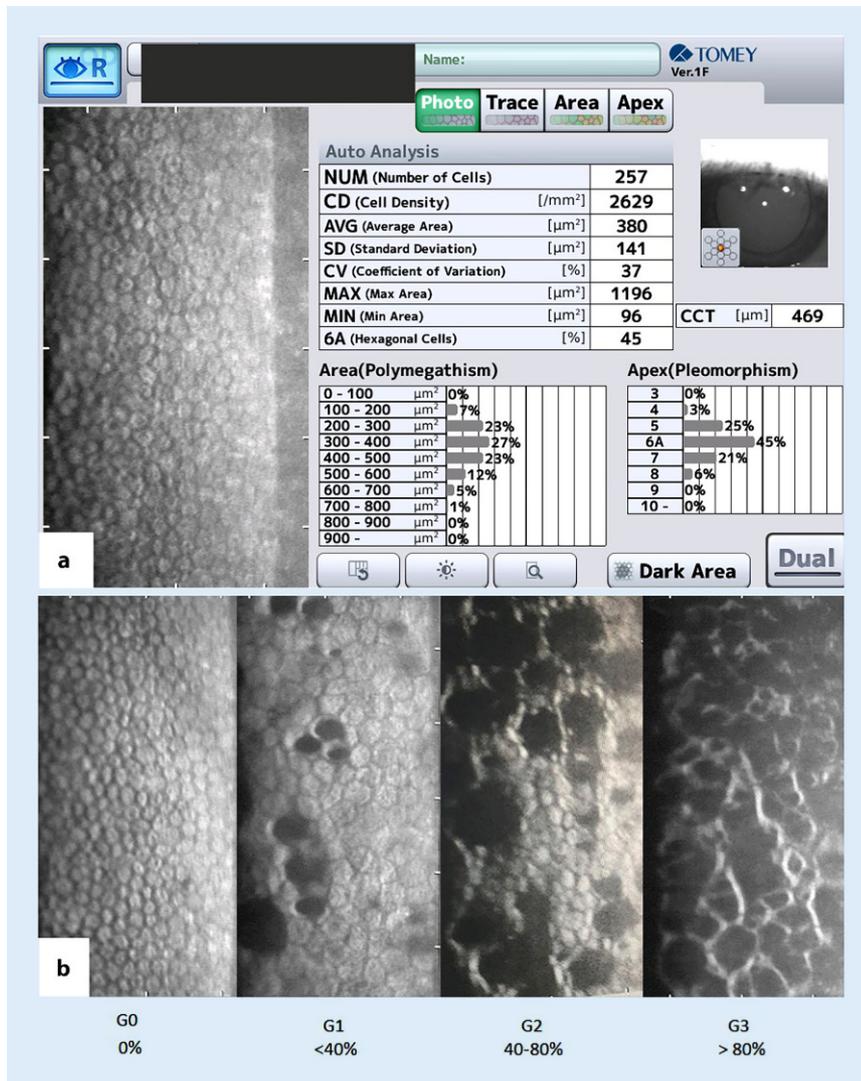
Für die moderne Keratokonusdiagnostik ist insbesondere bezüglich Frühstadiendiagnose und Beurteilung der Progression eine Zusammenschau aus Topographie, Tomographie (hochauflösende Scheimpflug-Bildgebung und VA-OCT) sowie „Corneal Visualisation Scheimpflug Technology“ (Corvis ST, OCULUS Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Deutschland) (■ **Abb. 8**) (inklusive „Hom-

burg Biomechanical E-Staging“) [18–20, 23, 38] unerlässlich. Das Corvis ST ist in der Lage, die Hornhautverformung nach Applikation eines standardisierten Luftstoßes zu messen, und kann nachweislich biomechanische Anomalien in ektatischen Frühstadien detektieren. Der Corvis Biomechanische Index (CBI) umfasst eine Reihe von 6 verschiedenen Parametern und ist zur Unterscheidung zwischen ektatischen und gesunden Hornhäuten geeignet. Der Tomographische Biomechanische Index (TBI), der tomographische Parameter der Pentacam® (OCULUS Optikgeräte, Wetzlar, Deutschland) mit den biomechanischen Parametern durch Regressionsformeln kombiniert, gewährleistet eine noch bessere Erkennung.

### Stadiengerechte Therapie, basierend auf differenzierter Hornhautdiagnostik

#### Grundlegendes

Die Indikation und Wahl des Operationsverfahrens wird im Allgemeinen auf



**Abb. 6** ▲ Spiegelmikroskopie des Hornhautendothels. **a** Regelgerechte Endothelzellaufnahme mit automatisierter Analyse der Zellzahl und Morphologie. **b** Einteilung der Cornea guttata in Abhängigkeit der betroffenen Fläche (G0–G3)

Grundlage der Spaltlampenbiomikroskopie und der Zusammenschau der gerätegestützten Diagnostik getroffen. Neben einer klaren Definition der Patientenerwartungen ist die individuelle Hornhautpathologie selbst für die chirurgische Entscheidungsfindung am wichtigsten.

Es muss besonders betont werden, dass eine zentral klare Hornhaut nicht bedeutet, dass eine chirurgische Intervention nicht nötig wäre. Folgende nichtentzündliche Pathologien gehen typischerweise mit einer zentral klaren Hornhaut einher, bei der jedoch aufgrund mittelperipherer Prominenz durch asymmetrisches Tränenfilm-Pooling ein hoher irregulärer Astigmatismus

und eine deutliche Sehkrafttherabsetzung resultieren [43]:

1. Map-Dot-Fingerprint-Dystrophie und Salzmannsche noduläre Degeneration,
2. Pterygium > 2,5 mm Höhe,
3. solides Limbusdermoid (cave: Amblyopiegefahr spielt eine große Rolle!).

### Abrasio corneae und Pannektomie

Bei sehr oberflächlichen Hornhauterkrankungen, die nur das Epithel betreffen wie beispielsweise eine Meesmann-Dystrophie (intraepitheliale Zysten) mit rezidivierenden Hornhauterosionen, kann eine Abrasio corneae zur Symptomminde- rung ausreichend sein. Eine karzinomatöse

intraepitheliale Neoplasie (CIN) der Cornea sollte ausschließlich mittels Abrasio corneae behandelt werden. Eine Entfernung der Bowman-Lamelle sollte strikt unterbleiben, da diese eine natürliche anatomische Barriere darstellt und eine subepitheliale Ausbreitung von Tumorzellen verhindert. Bei unklaren oberflächlichen Trübungen sollte stets eine histologische Untersuchung des Hornhautabradats erfolgen und primär auf invasive Eingriffe verzichtet werden.

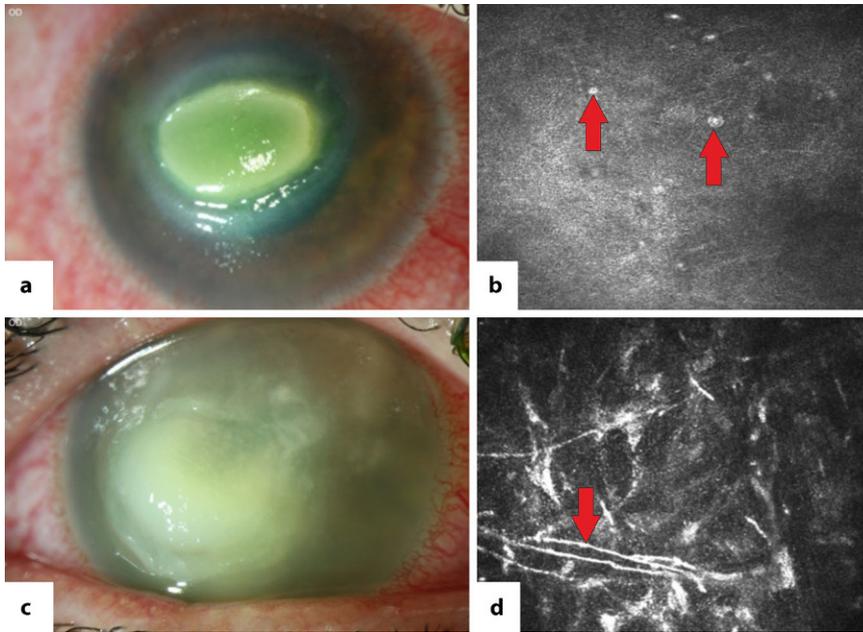
Ein kornealer Pannus (subepithelialer fibrovaskulärer Pannus zwischen Epithel und Bowman-Lamelle) kann mittels Pannektomie entfernt werden. Bei einer Pannusbildung auf dem Transplantat ist eine Pannektomie vorzuziehen, da beispielsweise eine Excimerlaser-assistierte phototherapeutische Keratektomie (Excimer-PTK), insbesondere ohne intraoperative Mitomycin-C-Applikation, mit einer verstärkten Narbenbildung einhergehen kann [30].

### Excimerlaser-assistierte phototherapeutische Keratektomie

Die Excimer-PTK zeigt eine vielversprechende Prognose bei prominenten, flächigen Läsionen und oberflächlichen Veränderungen, während lokalisierte Läsionen mit Stromaverdünnung oder tieferer Manifestation eine ungünstige Prognose aufweisen. Neben der exakten spaltlampenbiomikroskopischen Bestimmung der Tiefe der Ablagerungen ist eine präoperative Topographie- und – wenn möglich – Tomographieanalyse angeraten.

Subepitheliale Knötchen bei Keratokonus lassen sich mit einer Pannektomie und anschließender Excimer-PTK behandeln. Oft kann so Kontaktlinsentoleranz wiederhergestellt werden [15]. Auch die Salzmannsche noduläre Degeneration lässt sich meistens hervorragend mittels Pannektomie und Excimer-PTK behandeln [13, 14]. Hier muss unterschieden werden, ob der Pannus entsprechend der Lokalisation bereits Einfluss auf die zentrale Topographie genommen hat. Manchmal ist die Abgrenzung vom „akuten Keratokonus“ ohne Tomographie nicht trivial (■ Abb. 4e–h) [25].

Bei allen oberflächlichen Hornhautdystrophien (■ Abb. 9 und 10; [42, 44])



**Abb. 7** ▲ In-vivo-Konfokalmikroskopie bei infektiösen Keratitiden. **a, b** Akanthamoebenkeratitis mit kornealem Ulkus sowie Ringinfiltrat (**a**) und konfokalmikroskopisch (**b**) sichtbaren Zysten (Pfeile). **c, d** Pilzkeratitis mit prominentem Infiltrat (Fusarien, **c**). In der In-vivo-Konfokalmikroskopie (**d**) zeigen sich parallel verlaufende Pilzhyphen (Pfeil)

lässt sich mit gutem Erfolg eine Excimer-PTK durchführen, besonders bei der granulären Dystrophie Typ 2 und der Map-Dot-Fingerprint-Dystrophie. Das trifft allerdings nicht zu, wenn sich die Hyalinelagerungen bei granulärer Dystrophie Typ 1 im mittleren und tiefen Stroma befinden. Bei der Schnyderschen Dystrophie liegen die Trübungen typischerweise oberflächlich und sind einer Excimer-PTK sehr gut zugänglich, wohingegen die Amyloideinlagerungen bei gittriger Dystrophie typischerweise tiefer im Stroma liegen. Bei der makulären Dystrophie sind saure Mukopolysaccharide von Limbus zu Limbus eingelagert und können vom Epithel bis zum Endothel alle Strukturen betreffen.

### Hornhauttransplantation

Eine Transplantation ist oftmals die Ultima Ratio für viele Hornhauterkrankungen. Neben dem spaltlampenbiomikroskopischen Befund ist die Berücksichtigung der Funktionsdiagnostik ebenso wichtig. Die Wahl der Methode (perforierend/lamellär) richtet sich hierbei primär nach der Grunderkrankung. Dennoch müssen korneale Komorbiditäten präoperativ ausgeschlossen werden (z.B. Narben oder Guttae bei Ke-

ratokonus – keine DALK „deep anterior lamellar keratoplasty“ [21]). Bei sagittal lokalisierten Pathologien können lamelläre Keratoplastiktechniken wie eine „Descemet membrane endothelial keratoplasty“ (DMEK) oder eine DALK in Abhängigkeit der betroffenen Hornhautschichten durchgeführt werden [6, 10, 37]. Wenn es zu komplizierten Situationen kommt, bleibt die perforierende Keratoplastik (PKP), insbesondere mit Excimerlaser-assistierter Trepanation, mit mehr als 5000 erfolgreichen Eingriffen seit über 32 Jahren die Methode der Wahl [39].

Bei endothelialen Dystrophien wie der Fuchs-Hornhautdystrophie oder der hinteren polymorphen Hornhautdystrophie ist eine posteriore lamelläre Keratoplastik nur bei visueller Beeinträchtigung und/oder endothelialer Dekompensation notwendig [7, 47]. Im Rahmen der DMEK-Nachsorge ist die VA-OCT essenziell, um Ablösungen der transplantierten endothelialen Descemet-Lamelle darzustellen. Im Falle einer Transplantatablösung nach DMEK muss das Ausmaß mittels VA-OCT vor einem Re-Bubbling beurteilt werden. Bei Pneumopexie/Gaseingabe sollte der Operationszugang stets gegenüber dem abgelösten Transplantatbereich erfolgen, um eine weitere Ablösung zu vermeiden.

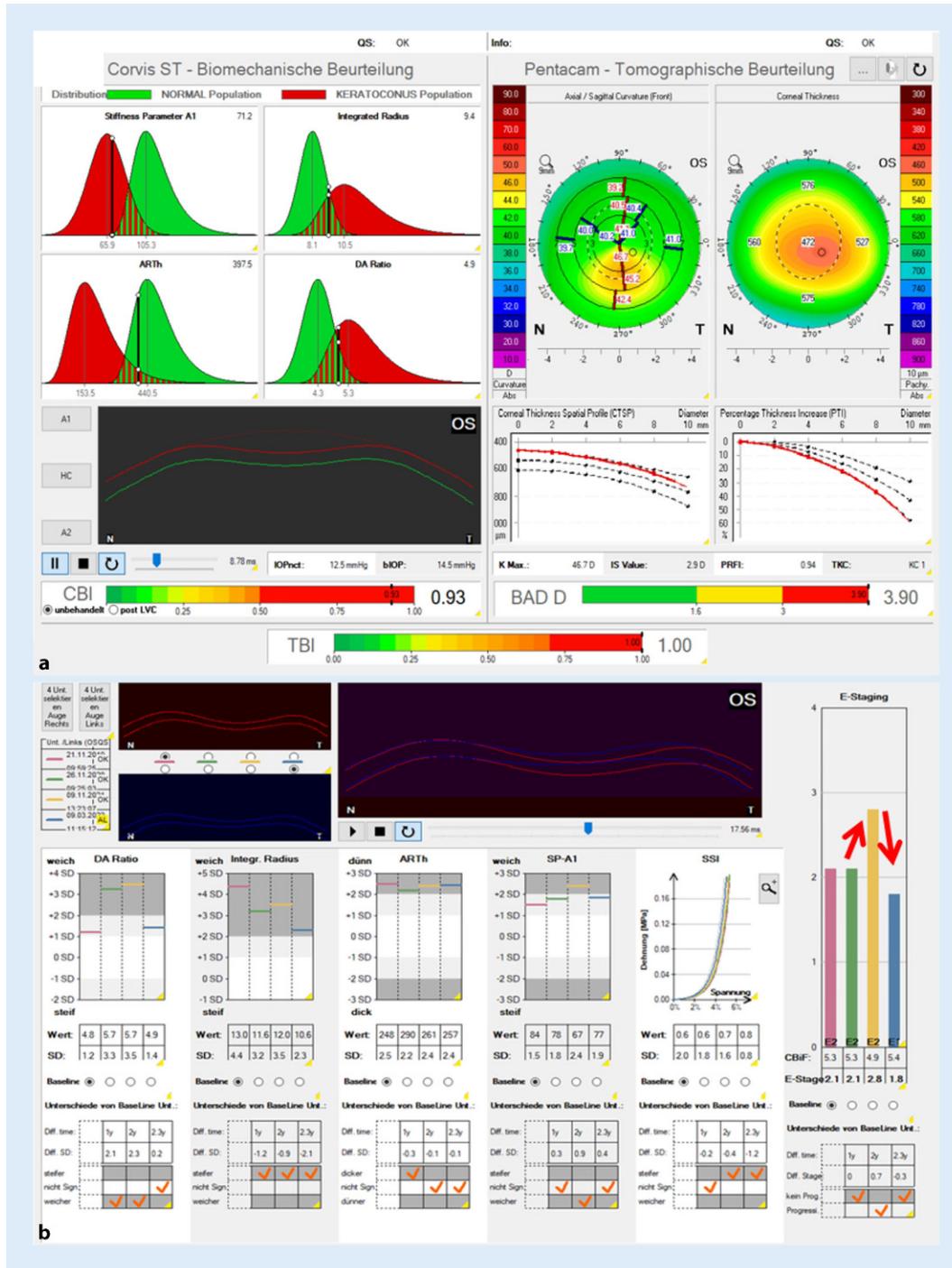
Selbst nach PKP kann eine spontane Descemetolyse aufgrund einer fortgeschrittenen Transplantatektasie („Keratokonusrezidiv“) nach Jahrzehnten auftreten, die primär ein nichtimmunologisches Transplantatversagen oder eine Abstoßungsreaktion vortäuschen kann. Hierbei ist die VA-OCT-Untersuchung bei reduziertem Einblick (ausgeprägtes Stromaödem) zur Darstellung der abgelösten Descemet-Membran die Methode der Wahl [2]. Bei endothelialer Dekompensation nach PKP empfiehlt es sich, vor der Indikationsstellung einer DMEK routinemäßig eine VA-OCT durchzuführen, um posteriore Stufen des Transplantats auszuschließen. Dies setzt voraus, dass die Krümmung des Transplantats nicht zu hoch ist und keine Narbe besteht, ansonsten empfiehlt sich eine Re-PKP [1, 40].

Nach PKP können immunologisch bedingte sterile Fadeninfiltrate auftreten, insbesondere wenn auf eine lokale Steroidtherapie primär verzichtet wird (z.B. bei mykotischer Keratitis). Nach Zugabe von Steroidaugentropfen im Verlauf bilden sich diese in der Regel vollständig zurück (Abb. 11a–d). Häufig findet sich im peripheren Bereich des Transplantats eine subepitheliale Fibrose, die bei initialer Betrachtung der Pachymetriekarte zunächst auf ein beginnendes Transplantatversagen hindeuten könnte, jedoch durch die Spaltlampenmikroskopie eindeutig ausgeschlossen werden kann (Abb. 11e, f). Auch entzündliche Komplikationen müssen von einer subepithelialen Fibrose unterschieden werden. Jeder Tyndall und jede Zelle in der Vorderkammer oder gar eine (fokale) Transplantatdekomensation nach Keratoplastik sollten bis zum Beweis des Gegenteils als eine beginnende Immunreaktion angesehen werden.

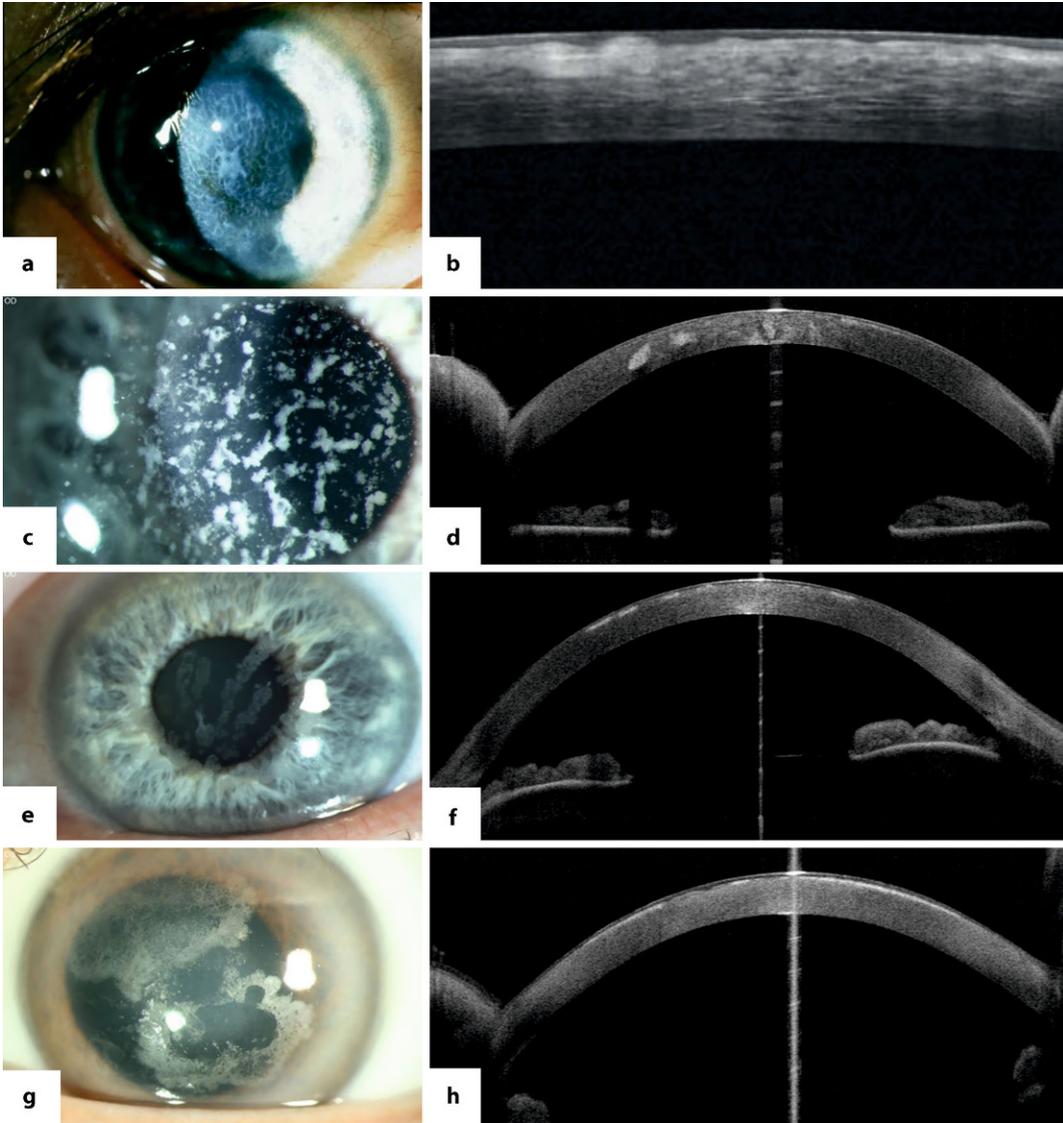
### Amnionmembrantransplantation

Die Amnionmembrantransplantation (AMT) kann als Patch (Onlay), Graft (Inlay) oder „Sandwich“ (Kombination) in Abhängigkeit von der Tiefenausdehnung (präoperative VA-OCT!) erfolgen [34].

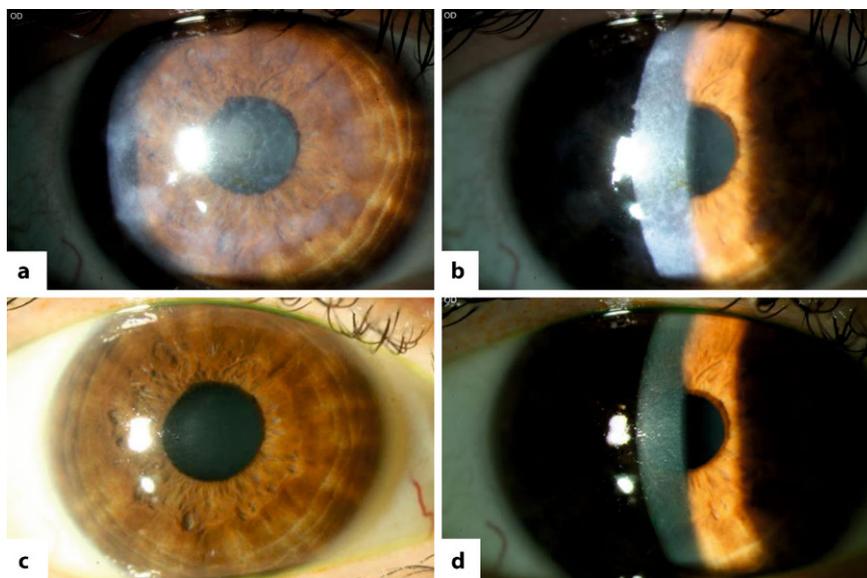
Das Ziel der AMT als Graft ist es, eine langfristige Stabilität durch Integration der Amnionschichten in die Hornhaut zu erreichen (sog. „stromale Integration“) [34]. An der Spaltlampe ist oft nicht sicher zu



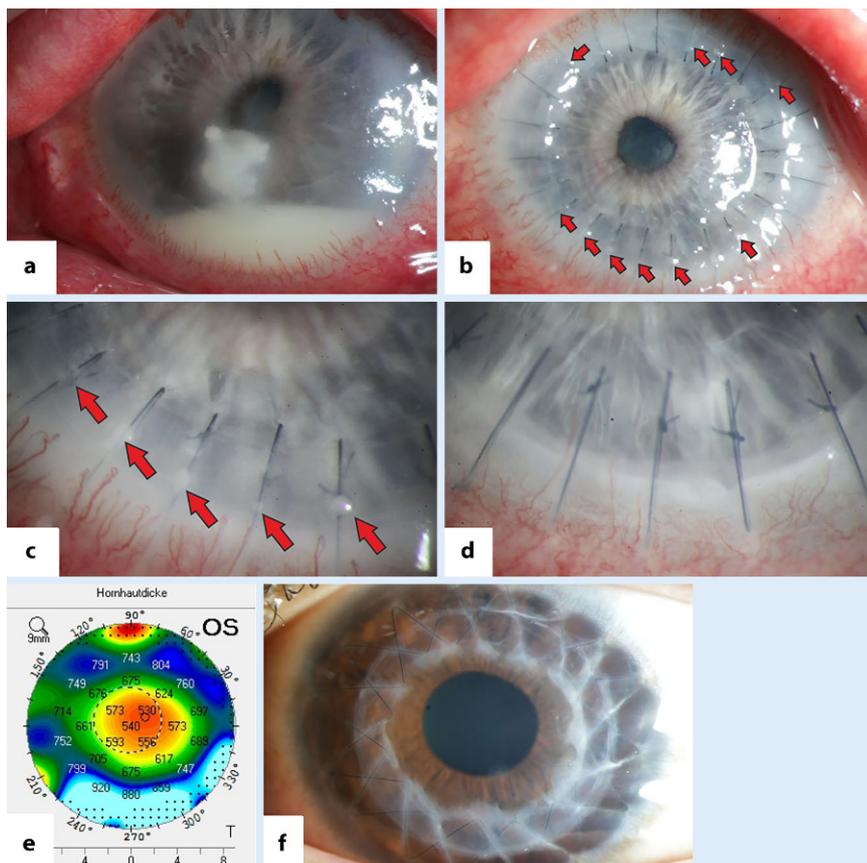
**Abb. 8** ◀ Biomechanische Messung (Corvis ST, OCULUS Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Deutschland) einer Keratokonus-hornhaut. **a** Tomographisch zeigt sich eine geringe inferiore Ansteilung. Der Corvis Biomechanische Index (CBI) und der Tomographische Biomechanische Index (TBI) treffen eine quasi-binäre Ja (1 – rot)-Nein (0 – grün)-Entscheidung hinsichtlich des Vorliegens eines Keratokonus und weisen auf eine biomechanische Schwächung hin. **b** „Homburg Biomechanical E-Staging“ bei progressivem Keratokonus. Von der 2. zur 3. Untersuchung steigt der biomechanische Schweregrad E von 2,1 auf 2,8 (1. roter Pfeil). Vier Monate nach einem Crosslinking sinkt der biomechanische Schweregrad E von 2,8 auf 1,8 (2. roter Pfeil) [18, 19]



**Abb. 9** ◀ Klinischer Befund ausgewählter Hornhautdystrophien mit korrespondierender Vorderabschnitts-OCT (optische Kohärenztomographie) zur Darstellung der Tiefenausdehnung verschiedener Hornhautdystrophien. **a, b** Thiel-Behnke-Hornhautdystrophie – oberflächlich. **c, d** Granuläre Hornhautdystrophie Typ 1 – tiefstromal. **e, f** Granuläre Hornhautdystrophie Typ 2 – oberflächlich. **g, h** Schnydersche Hornhautdystrophie – oberflächlich



**Abb. 10** ◀ Prä- und postoperativer Befund einer Thiel-Behnke-Hornhautdystrophie nach Excimerlaser-assistierter phototherapeutischer Keratektomie (Excimer-PTK). **a, b** Thiel-Behnke-Hornhautdystrophie mit dichten Trübungen der Hornhaut (**a** Übersicht, **b** breiter Spalt). **c, d** Mit der Excimerlaser-PTK sind oberflächliche Trübungen gut zugänglich. Es zeigt sich postoperativ eine vollständige Entfernung der Trübungen (**c** Übersicht, **d** breiter Spalt). Ein mikrochirurgischer Eingriff ist bei oberflächlich gelegenen Hornhautdystrophien jedoch nur bei subjektiven Beschwerden (z. B. Visusminderung, rezidivierende Erosio corneae) indiziert



**Abb. 11** ▲ Befunde im Bereich der Fäden nach perforierender Keratoplastik. **a** Schwere Candida-Keratitis mit Hornhautinfiltrat und Hypopyon. **b, c** In der Übersichtsaufnahme (**b**) und mit Vergrößerung (**c**) zeigen sich mehrere sterile Infiltrate entlang der Fäden (*Pfeile*). **d** Die sterilen Fadeninfiltrate sprechen auf eine Lokalthherapie mit Kortison-Augentropfen gut an und bilden sich vollständig zurück. **e, f** In der Pachymetrikarte (**e**) zeigt sich eine periphere Verdickung der Hornhaut (v. a. kaudal), die auf den ersten Blick mit einem beginnenden Transplantatversagen verwechselt werden könnte. Klinisch (**f**) liegt eine fortgeschrittene subepitheliale Fibrose im Bereich der doppelt fortlaufenden Kreuzstichnaht vor, die ursächlich für die periphere Dickenzunahme ist

entscheiden, ob die Amnionmembran integriert ist oder ob es sich um eine reguläre Narbe nach einem Ulcus corneae handelt. Hier kann VA-OCT bzw. eine histologische Untersuchung nach PKP helfen.

### Keratokonus

Die stadiengerechte Therapie des Keratokonus wurde in einem früheren Beitrag ausführlich dargelegt [38]. Bei Keratokonus können intrakorneale Ringsegmente (ICRS) und bei progressivem Befund ein Riboflavin-UV-A-Crosslinking [45, 46] durchgeführt werden. Dagegen wird der akute Keratokonus primär mit tiefstromalen prädeszemetalen Kompressionsnähten (sog. „Muraire-Nähte“) und Pneumopexie/Gaseingabe versorgt [31, 38]. Im Falle einer Gaseingabe ist eine prophylaktische periphere Iridotomie wie bei der DMEK-Routine sinnvoll. Fortgeschrittene Befunde erfordern entweder eine Excimerlaser-DALK oder eine Excimerlaser-PKP.

### Fazit für die Praxis

- Die moderne korneale Bildgebung ist heute für eine differenzierte Diagnosefindung unerlässlich und geht mittlerweile bei Weitem über Endothelmikroskopie, Keratometrie und zentrale Pachymetrie hinaus.
- Neben „Krümmungsanomalien“ müssen insbesondere verschiedenste Formen von Hornhaut-„Trübungen“ als Ursachen kornealer Visusminderung durch moderne

**Hornhautdiagnostik exakt klassifiziert werden.**

- Die exakte morphologische Klassifikation einer kornealen Läsion an der Spaltlampe lässt zusammen mit den klassischen und modernen Hornhautspezialuntersuchungen die differenzialdiagnostischen Überlegungen richtungsweisend leiten und erleichtert somit die Indikation zur stadiengerechten mikrochirurgischen Intervention an der Hornhaut.

#### Korrespondenzadresse



#### Dr. Tim Berger

Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes (UKS)  
Kirrberger Str. 100, 66424 Homburg/Saar, Deutschland  
tim.berger@uks.eu

**Funding.** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

#### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** T. Berger, E. Flockerzi, L. Daas, L. Hamon, Z. Khattabi, M. Berger und B. Seitz geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Ma-

terials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

#### Literatur

1. Alfaro Rangel R, Szentmáry N, Lepper S et al (2020) 8.5/8.6-mm excimer laser—assisted penetrating Keratoplasties in a tertiary corneal subspecialty referral center: indications and outcomes in 107 eyes. *Cornea* 39:806–811. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000002327>
2. Berger T, Daas L, Aljundi W, Seitz B (2022) Akute Transplantatinsuffizienz 35 Jahre nach perforierender Keratoplastik. *Ophthalmologie* 119:1309–1312. <https://doi.org/10.1007/s00347-022-01639-x>
3. Berger T, Daas L, Käsmann-Kellner B et al (2023) Kann man die Aniridie-assoziierte Keratopathie operieren? *Ophthalmologie* 35:129–136
4. Berger T, Seitz B, Flockerzi E et al (2023) Indications and results of emergency penetrating keratoplasty with simultaneous cataract surgery (“triple-PPK à Chaud”). *Cornea* 42:272–279. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000003035>
5. Berger T, Seitz B, Flockerzi F, Daas L (2022) Recurrent filamentous fungal keratitis caused when the primarily selected graft diameter was too small. *Klin Monbl Augenheilkd*. <https://doi.org/10.1055/a-1756-5147>
6. Berger T, Seitz B, Hamon L et al (2022) Ultrastructural examination of the corneal interface after predescemet deep anterior lamellar keratoplasty (DALK)—a case report with light and transmission electron microscopy. *Klin Monbl Augenheilkd*. <https://doi.org/10.1055/a-1745-9140>
7. Berger T, Seitz B, Löw U et al (2022) Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK) for severe verrucous posterior polymorphous corneal dystrophy with uncommon clinical and ultrastructural findings. *Klin Monbl Augenheilkd*. <https://doi.org/10.1055/a-1862-8403>
8. Cruzat A, Qazi Y, Hamrah P (2017) In vivo confocal microscopy of corneal nerves in health and disease. *Ocul Surf* 15:15–47. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2016.09.004>
9. Daas L, Bischoff-Jung M, Viestenz A et al (2017) Konfokale Mikroskopie als früherer Rezidivmarker nach Keratoplastik infolge einer Fusarium-solani-Keratitis. *Ophthalmologie* 114:66–69. <https://doi.org/10.1007/s00347-016-0270-4>
10. Daas L, Hamon L, Ardjomand N et al (2021) Excimerlaser-gestützte DALK: Ein Fallbericht aus dem Homburger Keratokonus Center (HKC). *Ophthalmologie* 118:1245–1248. <https://doi.org/10.1007/s00347-021-01342-3>
11. Daas L, Viestenz A, Bischoff M et al (2016) Konfokale Mikroskopie zur Diagnostik der mykotischen Keratitis. *Ophthalmologie* 113:767–771. <https://doi.org/10.1007/s00347-015-0206-4>
12. Daas L, Viestenz A, Schnabel PA et al (2018) Confocal microscopy as an early relapse marker for acanthamoeba keratitis. *Clin Anat* 31:60–63
13. Das S, Langenbucher A, Pogorelov P et al (2005) Long-term outcome of excimer laser phototherapeutic keratectomy for treatment of Salzmann's nodular degeneration. *J Cataract Refract Surg* 31:1386–1391. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.12.037>
14. Das S, Link B, Seitz B (2005) Salzmann's nodular degeneration of the cornea. *Cornea* 24:772–777. <https://doi.org/10.1097/01.ico.0000153100.74033.ef>
15. Elsahn AF, Rapuano CJ, Antunes VA et al (2009) Excimer laser phototherapeutic keratectomy for keratoconus nodules. *Cornea* 28:144–147. <https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e31818526b8>
16. Farah CJ, Fries FN, Latta L et al (2021) An attempt to optimize the outcome of penetrating keratoplasty in congenital aniridia-associated keratopathy (AAK). *Int Ophthalmol* 41:4091–4098. <https://doi.org/10.1007/s10792-021-01982-z>
17. Flockerzi E, Daas L, Seitz B (2020) Structural changes in the corneal subbasal nerve plexus in keratoconus. *Acta Ophthalmol* 98:e928–e932. <https://doi.org/10.1111/aos.14432>
18. Flockerzi E, Vinciguerra R, Belin MW et al (2022) Combined biomechanical and tomographic keratoconus staging: adding a biomechanical parameter to the ABCD keratoconus staging system. *Acta Ophthalmol* 100:e1135–e1142. <https://doi.org/10.1111/aos.15044>
19. Flockerzi E, Vinciguerra R, Belin MW et al (2022) Correlation of the corvis biomechanical factor with tomographic parameters in keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 48:215–221. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000740>
20. Flockerzi E, Xanthopoulos K, Goebels SC et al (2021) Keratoconus staging by decades: a baseline ABCD classification of 1000 patients in the Homburg Keratoconus Center. *Br J Ophthalmol* 105:1069–1075. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316789>
21. Goebels S, Eppig T, Seitz B et al (2018) Endothelial alterations in 712 keratoconus patients. *Acta Ophthalmol* 96:e134–e139. <https://doi.org/10.1111/aos.13471>
22. Hanet MS, Zimpfer A, Lepper S, Seitz B (2018) Keratoconus-like tomographic changes in a case of recurrent interstitial keratitis. *J Ophthalmic Inflamm Infect* 8:4. <https://doi.org/10.1186/s12348-018-0146-7>
23. Lang SJ, Maier P, Böhringer T, Reinhard T (2022) Frühdiagnose des Keratokonus. *Ophthalmologie* 119:209–218. <https://doi.org/10.1007/s00347-021-01460-y>
24. Laurik KL, Szentmáry N, Daas L et al (2019) Early penetrating Keratoplasty À Chaud may improve outcome in therapy-resistant acanthamoeba keratitis. *Adv Ther* 36:2528–2540. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-01031-3>
25. Paoletti T, Maamri A, Zemova E et al (2021) Großer Salzmann-Knoten oder doch akuter Keratokonus? *Ophthalmologie* 119:841–844. <https://doi.org/10.1007/s00347-021-01475-5>
26. Quintin A, Hamon L, Langenbucher A, Seitz B (2023) In situ donor keratometry in deceased patients as a novel screening technique for eye banking. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. <https://doi.org/10.1007/s00417-022-05871-8>
27. Quintin A, Hamon L, Mäurer S et al (2021) Vergleich der sterilen Spendentomographie in der Hornhautbank mit der Tomographie des Transplantates nach perforierender Keratoplastik. *Ophthalmologie* 118:1038–1044. <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01256-6>
28. Razafigino S, Marjanovic I, Flockerzi E, Seitz B (2022) Konjunktivektomie, Amnionmembrantransplantation als Multilayer-Graft und systemische Immunsuppression bei bilateraler peripherer ulzeröser Keratitis. *Ophthalmologie* 119:71–74. <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01305-0>

29. Rohrbach JM, Lisch W, Seitz B (2018) Die Hornhaut als Indikator für Systemerkrankungen. *Ophthalmologie* 115:975–986. <https://doi.org/10.1007/s00347-018-0763-4>
30. Safi T, Seitz B, Flockerzi E et al (2023) Haze nach PRK (ohne Verwendung von Mitomycin C) auf einer mit DALK und LASIK vorbehandelten Hornhaut – klinische und histopathologische Befunde. *Klin Monbl Augenheilkd* 240:147–150. <https://doi.org/10.1055/a-1675-2696>
31. Schießl G, Suffo S, Milioti G, Seitz B (2019) Muraine-Nähte beschleunigen die Abheilung des Hydrops corneae bei akutem Keratotorus. *Ophthalmologie* 116:665–668. <https://doi.org/10.1007/s00347-018-0791-0>
32. Schmitz L, Safi T, Munteanu C et al (2022) Prevalence and severity of cornea guttata in the graft following Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty (DMEK). *Acta Ophthalmol* 100:e1737–e1745. <https://doi.org/10.1111/aos.15195>
33. Schönit S, Maamri A, Zemova E et al (2022) Prevalence and impact of cornea guttata in the graft after penetrating keratoplasty in Germany. *Cornea* 41:1495–1502. <https://doi.org/10.1097/ico.0000000000002971>
34. Seitz B (2006) Histopathology and ultrastructure of human corneas after amniotic membrane transplantation. *Arch Ophthalmol* 124:1487–1490. <https://doi.org/10.1001/archoph.124.10.1487>
35. Seitz B, Asi F, Mäurer S et al (2021) Anterior segment OCT: application to improve graft selection for corneal transplantation. *Atlas of anterior segment optical coherence tomography*. Springer, Cham, S 223–236 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53374-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53374-8_11)
36. Seitz B, Behrens A, Langenbacher A (1997) Corneal topography. *Curr Opin Ophthalmol* 8:8–24. <https://doi.org/10.1097/00055735-199708000-00003>
37. Seitz B, Daas L, Flockerzi E, Suffo S (2020) „Descemet membrane endothelial keratoplasty“ DMEK – Spender und Empfänger Schritt für Schritt. *Ophthalmologie* 117:811–828. <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01134-1>
38. Seitz B, Daas L, Hamon L et al (2021) Stadiengerechte Therapie des Keratokonus. *Ophthalmologie* 118:1069–1088. <https://doi.org/10.1007/s00347-021-01410-8>
39. Seitz B, Daas L, Milioti G et al (2019) Excimerlaser-assistierte perforierende Keratoplastik. *Ophthalmologie* 116:1221–1230. <https://doi.org/10.1007/s00347-019-00990-w>
40. Seitz B, Daas L, Wykrota AA et al (2022) Transplantversagen nach PKP und DMEK: Was ist die beste Option? *Klin Monbl Augenheilkd* 239:775–785. <https://doi.org/10.1055/a-1774-4862>
41. Seitz B, Käsmann-Kellner B, Viestenz A (2014) Stadiengerechte Therapie der kongenitalen Aniridie. *Ophthalmologie* 111:1164–1171. <https://doi.org/10.1007/s00347-014-3061-9>
42. Seitz B, Lisch W, Weiss J (2015) Die revidierte neueste IC3D-Klassifikation der Hornhautdystrophien. *Klin Monbl Augenheilkd* 232:283–294. <https://doi.org/10.1055/s-0041-100774>
43. Viestenz A, Bischoff-Jung M, Langenbacher A et al (2016) Phototherapeutic keratectomy in Salzmann nodular degeneration with “optical cornea plana”. *Cornea* 35:843–846. <https://doi.org/10.1097/ico.0000000000000816>
44. Weiss JS, Møller HU, Aldave AJ et al (2015) IC3D classification of corneal dystrophies-edition 2. *Cornea* 34:117–159. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000000307>
45. Xanthopoulou K, Milioti G, Daas L et al (2022) Accelerated corneal crosslinking causes pseudo-

## Modern corneal diagnostics as the key for the correct classification of the disease and optimal treatment decisions

Corneal diseases include a wide spectrum of different manifestations (inflammatory/noninflammatory) that need to be accurately classified for precise diagnosis and targeted treatment. In addition to the anamnesis and slit lamp biomicroscopy, further device-based examinations can be performed to narrow down the diagnosis. Nowadays, modern corneal imaging provides a variety of technologies, such as topography, tomography, in vivo confocal microscopy and analysis of biomechanics, which are able to reliably classify different pathologies. Knowledge of the available examination modalities helps to guide differential diagnostic considerations, facilitating the indication for stage-appropriate microsurgical intervention.

### Keywords

Corneal topography · Corneal tomography · Corneal surgery · Corneal imaging · Confocal microscopy

progression in keratoconus within the first 6 weeks without affecting posterior corneal curvature. *Eur J Ophthalmol* 32:2565–2576. <https://doi.org/10.1177/11206721221099257>

46. Xanthopoulou K, Seitz B, Belin MW, Flockerzi E (2022) Reliability analysis of successive Corvis ST® measurements in keratoconus 2 years after accelerated corneal crosslinking compared to untreated keratoconus corneas. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 261:1055–1061. <https://doi.org/10.1007/s00417-022-05881-6>
47. Zander DB, Jiang J, Reinhard T, Wacker K (2022) Corneal oedema: aetiology, diagnostic testing, and treatment. *Klin Monbl Augenheilkd* 239:752–759. <https://doi.org/10.1055/a-1759-3834>