

Kontaktlinsen-Oberflächen im digitalen Phasen-Kontrast-Mikroskop

Dagmar Sturm^{1,2}

Die Sicherstellung der Augengesundheit ist ein zentrales Ziel jeder Kontaktlinsenversorgung. Aus diesem Grund ist neben der regelmäßigen Überprüfung des vorderen Augenabschnitts auch die Beschaffenheit der Kontaktlinsen von elementarer Bedeutung. Die vorliegende Publikation verdeutlicht die Wichtigkeit der regelmäßigen mikroskopischen Überprüfung der verwendeten Diagnostik- und Rezeptlinsen. Mittels digitalem Phasen-Kontrast-Mikroskop werden Beschädigungen, Ablagerungen und Materialveränderungen von Kontaktlinsen vorgestellt und ihre Konsequenz für das Auge diskutiert.

Schlüsselwörter | Kontaktlinsenverträglichkeit, Kontaktlinsenablagerungen, Phasen-Kontrast-Mikroskop

Good eye health is a central goal of any contact lens treatment. For that reason also the verification and inspection of contact lenses during the fitting period and follow-ups are very important for the wearing comfort of contact lenses. This publication illustrates the importance of regular microscopic examination of the diagnostic and prescription lenses. Using a digital phase contrast microscope, damage, deposits and material changes to contact lenses are presented and their consequences for the eye are discussed.

Key words | contact lens acceptance, contact lens deposits, phase contrast microscope

¹ staatl. gepr. Augenoptikerin, Dipl. Kauffrau (FH Köln)

² Laborleitung SafyCon-Systems GmbH in Köln

Die Aufrechterhaltung der Augengesundheit sollte das zentrale Ziel jeder Kontaktlinsenanpassung sein. Dies beinhaltet gleichermaßen die Kontrolle der Kontaktlinsen Vorder- und Rückfläche bezüglich etwaiger Ablagerungen und/oder Oberflächenbeschädigungen; diese Untersuchung ist annähernd so wichtig wie die Kontaktlinsenanpassung selbst.

Die Auswahl des Kontaktlinsen-Materials kann schon im Zuge der Kontaktlinsenanpassung unabhängig von anderen Kontaktlinsenparametern Einfluss auf die Verträglichkeit der verwendeten Kontaktlinse haben und ist insofern eine der Voraussetzungen für ein auch späteres komplikationsfreies Kontaktlinsentragen.

Ein auf die Individualität des Patienten und das verwendete Kontaktlinsenmaterial abgestimmtes Hygiene-System ist ein weiterer Faktor für ein sicheres Kontaktlinsentragen. Reinigung und Desinfektion der Kontaktlinse sollten effektiv sein, ohne das Kontaktlinsenmaterial zu sehr zu belasten. Wir wissen zum Beispiel heute, dass in Abhängigkeit vom Kontaktlinsenmaterial und dem verwendeten Reinigungssystem Oberflächenveränderungen bei formstabilen Kontaktlinsen auftreten können. Ablagerungen sowohl auf formstabilen als auch weichen Kontaktlinsen sind wiederum abhängig von exogenen als auch endogenen, also Tränenfilm bezogene Faktoren.

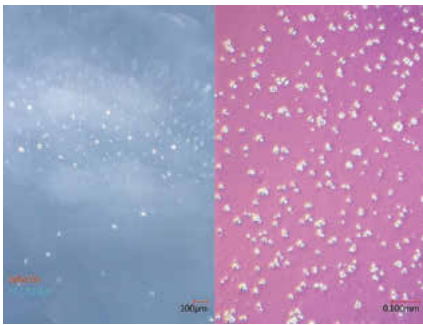
Auch Parameterveränderungen weicher Kontaktlinsen aufgrund von exogenen und endogenen Ursachen hervorgerufenen Ablagerungen sind auch bekannt.^{1,2}

Kontaktlinsen-Materialien, Eigenschaften, Herstellung und Materialveränderungen

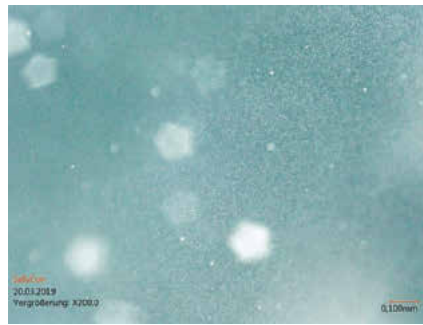
Kontaktlinsen werden, mit Ausnahme der reinen Silikon-Materialien, aus Copolymeren hergestellt. Während der Fertigung wird ein Gemisch aus verschiedenen Makromolekülen, für das jeder Hersteller seine eigene optimale Rezeptur verwendet, gut vermengt, auch, um den Verbleib von Luftblasen im Material zu vermeiden. Denn ein wichtiges Qualitätsmerkmal eines gut verträglichen Kontaktlinsen-Materials ist seine ganzflächig gleichmäßige Transparenz.

Mit Hilfe von Initiatoren, UV-Strahlung und Wärme wird eine Polymerisationsreaktion eingeleitet und so eine Kettenreaktion ausgelöst, die schließlich abgebrochen wird, sobald der gewünschte Zustand des Materials erreicht ist.

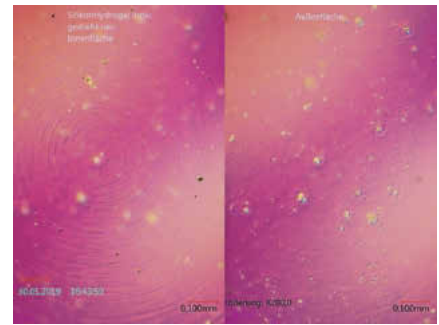
Während der Polymerisation können sich kleinste verbliebene Luft einschließen im Polymer unter dem Einfluss der Wärme ausdehnen und zu, aus der Herstellung von Intraokularlinsen bekannten, „Glitherings“ (Glitzer) führen (Bild 1). An diesen streut sich das Licht, was letztendlich zu einer Blendung sowie



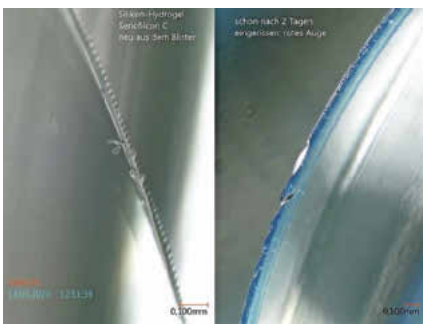
▲ Bild 1 | Glitherings in einem Bio-Hydrogel



▲ Bild 2 | Zentrum einer neuen, dem Blister entnommenen weichen Kontaktlinse



▲ Bild 3 | Links: Innenfläche einer neuen, individuell gedrehten, weichen Monats-Silikonhydrogel-Kontaktlinse, auf deren Politur verzichtet wurde. Rechts: Die dazugehörige (unsaubere) Außenfläche



▲ Bild 4 | Links: Rand einer im Schleuderguss-Verfahren hergestellten weichen Silikonhydrogel-Kontaktlinse (vom Hersteller zur verlängerten Tragezeit empfohlen). Rechts: nach zwei Tagen eingegrissen -> rotes Auge



▲ Bild 5 | Materialfehler einer neuen, blisterfrischen Monats-Silikonhydrogel-Kontaktlinse mit Hydraglyde



▲ Bild 6 | Weiche, schwammartige Struktur der Oberfläche eines getragenen Bio-Hydrogels, durch manuelle Oberflächenreinigung erodiert

Kontrast- und Visuseinschränkungen führen kann. Der betroffene Kontaktlinsenträger klagt dann oft über schlechtes oder milchiges Sehen zum Beispiel bei der Computerarbeit beziehungsweise über eine eingeschränkte Sicht beim Autofahren im Gegenlicht.

Einfluss auf die Sauerstoffdurchlässigkeit, die optische Qualität, die Benetzbarkeit und Ablagerungsneigung, aber auch die mechanische Stabilität des Materials, nimmt unter anderem die Länge der Makromoleküle, die Art und Anzahl der Quervernetzungen, sowie die Rezeptur der zugegebenen Monomere.³

Hydrogele Materialien müssen zudem Wasser aufnehmen und im Material speichern können. Je höher jedoch der Wassergehalt ist, desto anfälliger sind diese Materialien wiederum für Ablagerungen. Liegt noch eine ionische Oberflächenladung vor, um die Benetzbarkeit zu erhöhen, steigt die Tendenz des Materials zu Ablagerungen weiter. Wassergehalt, Material (Hydrogel oder Silikonhydrogel), Dk/t-Wert und Linsendicke hängen direkt voneinander ab. Bei einem höheren Wassergehalt kann mehr Sauerstoff transportiert werden, jedoch – abhängig vom Modulus – muss die Kontaktlinse ein Mindestmaß an Dicke aufweisen, um handhabbar zu sein. Die höhere Dicke, beeinflusst wiederum den Sauerstofftransport – der Dk/t-Wert wird reduziert.

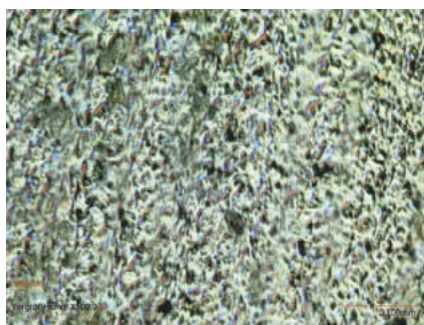
Eine zusätzliche Herausforderung der Herstellung ist die möglichst exakte Berechnung des Quellprozesses, um den angestrebten Scheitelbrechwert zu erreichen. Dies kann sich empfindlich bei Zylinderwerten $>2,5$ dpt bemerkbar machen und den Visus cc, wie die Praxis zeigt, trotz exakter Refraktion beeinflussen.⁶

Anlässlich dieser komplexen Anforderungen an ein geeignetes Material, den Herausforderungen der Herstellung und nicht zuletzt dem Einsatzbereich am Auge ist eine Qualitätskontrolle der Kontaktlinsen vor der Auswahl der ersten Messlinse wichtig, um das Linsensortiment zu optimieren. Mit einer mikroskopisch genauen Prüfung ist sichergestellt, dass die Materialqualität und die Sauberkeit bei der Verarbeitung und Verpackung ausreicht, um für den Anpassungssatz in Frage zu kommen. Ein Qualitätsprodukt erkennt der Kontaktlinsen-anpasser leicht mittels eines Mikroskops. Sauberkeit sollte dazu gehören, ist aber, wie die Labor-Arbeit zeigt, nicht selbstverständlich (Bild 2).

Feinstaub in der Umluft der Produktionshalle während der Herstellung – oft auch abhängig von der Feinstaubbelastung der Luft am Herstellungsort – oder auch Sauberkeit und Verarbeitung der Gussformen können hierfür ursächlich sein. Darüber hinaus könnte auch der Trend zum Verzicht auf eine Politur, um die Scheitelbrechwerte nicht nachträglich zu verfälschen, hier-



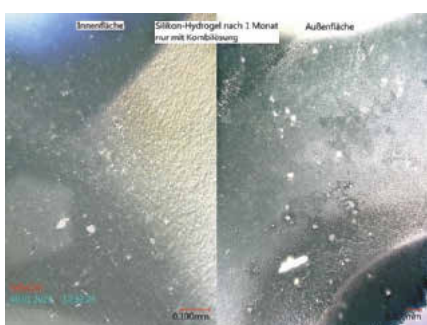
▲ Bild 7 | Erodierter Oberfläche einer getragenen Silikonhydrogel-Kontaktlinse



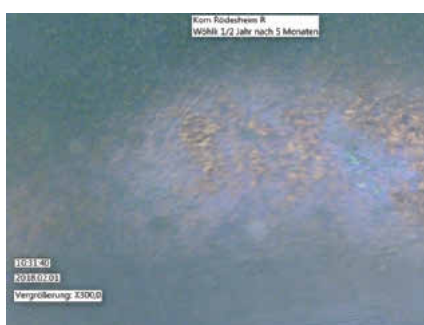
▲ Bild 8 | Interpenetrierendes Netzwerk einer Silikonhydrogel-Kontaktlinse



▲ Bild 9 | Nach der manuellen Reinigung mit KombiLösung einer Silikonhydrogel-Kontaktlinse



▲ Bild 10 | Links: Ausgänge der Sauerstoffkanäle auf der Innenfläche einer getragenen Silikonhydrogel-Kontaktlinse. Rechts: Beschichtete Kanäleingänge an der Außenfläche der gleichen Kontaktlinse nach einem Monat Tragezeit, nur mit KombiLösung gereinigt



▲ Bild 11 | Großflächiger Proteinteppich im Interferenzlicht



▲ Bild 12 | Links: Silikonhydrogel-Kontaktlinse mit vom Hersteller empfohlener KombiLösung, einen Monat getragen und gereinigt; rechts: nach einem Monat, mit SafyCon regeneriert

bei eine Rolle spielen (Bild 3). Schließlich erweist es sich in der Praxis als nicht ganz so einfach, den Scheitelbrechwert genau nachzumessen, besonders bei weichen Materialien mit höheren Zylindern.⁴

Eine weitere Qualitätskontrolle ist daher auch bei der Abgabe der Rezeptlinsen erforderlich, um sicherzustellen, dass die Kontaktlinsen den Anforderungen für ein sicheres Tragen entsprechen (Bild 4, Bild 5, Bild 19, Bild 20, Bild 21).

Neben der Exaktheit der Linsenparameter muss auch das Kontaktlinsenmaterial viele prüfbare Anforderungen erfüllen. Hierzu zählt vor allem auch die Benetzung der Kontaktlinse sowie ihre Resistenz gegenüber Ablagerungen aus dem Tränenfilm des Patienten. Ebenfalls sollte die Kontaktlinse einfach zu pflegen sein und nach Möglichkeit keine Bestandteile aus dem Pflegemittel einlagern oder gar erodieren, weil sich Polymerbestandteile mit der Zeit herauslösen (Bild 6 und Bild 7).

Silikonhydrogel-Kontaktlinsen bestehen aus teils hochkomplexen Monomeren aus Siloxan- und Fluorverbindungen, um die Sauerstoffdurchlässigkeit einer Kontaktlinse zu erhöhen.

Diese Verbindungen jedoch machen das Material hydrophob. Die Zugabe von Siloxan zum Beispiel erhöht zwar die Sauerstoffdurchlässigkeit des Materials. Sie bewirkt aber auch, dass das Material gleichzeitig spröder und dessen Benetzbarkeit re-

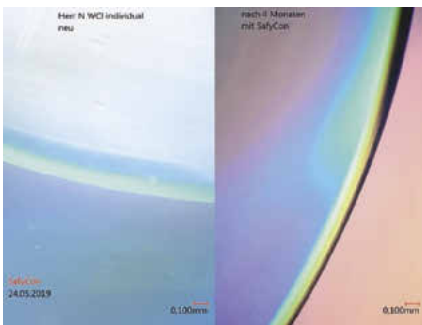
duziert wird. Die Beobachtungen im Mikroskop bestätigen auch die Anfälligkeit für Proteinablagerungen. Durch Zugabe von Fluor wird das Material flexibler und besser benetzbar jedoch auch anfälliger für Lipid-Ablagerungen.⁵ Durch die Zugabe von hydrophilen Monomeren erhöht sich der Wassergehalt des Materials und die Benetzbarkeit der Kontaktlinse wird infolgedessen verbessert.

Um eine Trübung durch die Mischung der hydrophoben und hydrophilen Komponenten zu vermeiden, werden interpenetrierende Netzwerke gebildet. Das bedeutet, dass zwei Netzwerke (ein hydrophobes und ein hydrophiles) so stark miteinander verwoben sind, dass das Material transparent bleibt (Bild 8).⁶

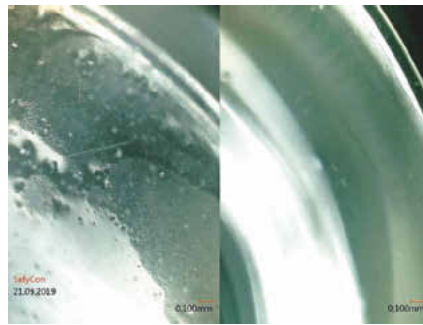
Ionische Kontaktlinsen haben eine negativ geladene Oberfläche, wenn sie mit Methacrylsäure behandelt wurden.

Dies bewirkt aber, dass das Material pH-abhängig wird und die positiv geladenen Proteine des Tränenfilms sich schneller auf der Kontaktlinsen-Oberfläche anlagern und dort denaturieren. Protein-Ablagerungen von Kontaktlinsen sind wiederum ein Risiko für eine Gigantopapilläre Conjunctivitis und bakterielle Infektionen am vorderen Augenabschnitt.⁷

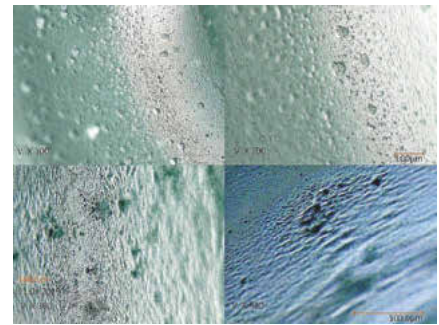
Diese Ablagerungen sind nicht einfach durch eine manuelle Reinigung zu entfernen, sondern nur ein Leistungsperoxidsystem mit einer integrierten enzymatischen Proteinentfernung



▲ Bild 13 | Bio-Hydrogel, links neu, rechts nach neun Monaten mit SafyCon regeneriert – Kunde ist „total begeistert“



▲ Bild 14 | Links: getragenes, formstabiles Fluor-Silikon-Acrylat vor der Regeneration mit SafyCon, rechts: danach



▲ Bild 15 | ‚Milchige‘ formstabile Fluor-Silikon-Acrylat-Kontaktlinse mit schlechtem Tragekomfort schon nach drei Monaten



▲ Bild 16 | Außenfläche eines formstabilen Fluor-Silikon-Acrylates: schlecht benetzt, „unkomfortabel“



▲ Bild 17 | Schleifspuren durch abrasive Oberflächenreiner



▲ Bild 18 | Fluor-Silikon-Acrylat, individuell gedreht hergestellt, abrasiv (manuell) gereinigt

und idealerweise Lipidentfernung, das täglich eingesetzt wird, hilft hier.⁸ So wird eine ausreichende Desinfektion sichergestellt, ohne dass das Linsenmaterial beschädigt wird. Bild 9 zeigt die Oberfläche einer ausschließlich mit einer Kombilösung gepflegten Silikonhydrogel-Kontaktlinse.

Es ist bekannt, dass nicht ionische Kontaktlinsenmaterialien eine geringere Benetzbarkeit aufweisen. Mittels einer Oberflächenveredelung versucht man die Benetzbarkeit zu erhöhen. Die veredelten Linsenmaterialien können aber auf eine manuelle Reinigung, in Abhängigkeit von der Geschicklichkeit des Betroffenen, reagieren (Bild 6).

Ablagerungen auf Kontaktlinsen bilden schnell einen undurchlässigen „Teppich“, der unter anderem die Sauerstoff-Durchlässigkeit einer Linse reduziert und zu einem schlechten Tragekomfort oder einer Unverträglichkeit der Kontaktlinsen führen kann (Bild 10). Mit einem geeigneten Mikroskop, das mit Hilfe einer seitlichen Beleuchtung Interferenzen an den Ablagerungen erzeugen kann, lässt sich leicht und schnell die Dicke der Proteinschicht abschätzen, was mit einem Durchlicht-Mikroskop nicht so einfach möglich ist.

Bild 11 zeigt einen großflächigen Proteinteppich im Interferenzlicht; dass hierdurch die Kontaktlinsenverträglichkeit reduziert ist, versteht sich von selbst.

Wie schon erwähnt, ist eine ausreichende und schonende Reinigung und Desinfektion eine zentrale Voraussetzung für ein komplikationsfreies Kontaktlinsentragen. Bild 12, Bild 13, Bild 14, Bild 15, Bild 16 und Bild 17 zeigen Oberflächen weicher und formstabiler Kontaktlinsen in Abhängigkeit vom jeweiligen Pflegesystem; gerade abrasive Reiner sind nicht für alle RGP-Materialien geeignet.

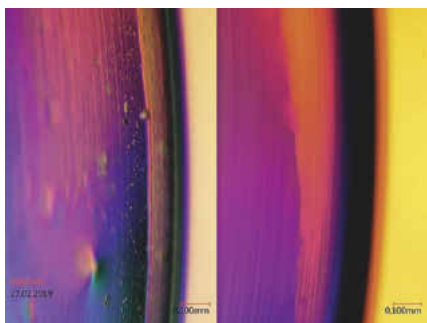
Die Oberflächen schonend zu desinfizieren und täglich ihre Sauerstoffdurchlässigkeit zu regenerieren, ist im Anschluss an die eigentliche Kontaktlinsenanpassung eine zentrale Aufgabe der Nachversorgung. Je unkomplizierter und sicherer dies für den Kontaktlinsenträger in seinem privaten Umfeld umsetzbar ist, umso erfolgreicher ist die Aussicht auf eine Folgeversorgung mit Kontaktlinsen.

Kritisch muss das abrasive Polieren mit Oberflächenreinigern gesehen werden, denn das kann Kratzer und Schleifspuren hinterlassen und deutlich spürbar die Benetzung der Kontaktlinsen reduzieren.

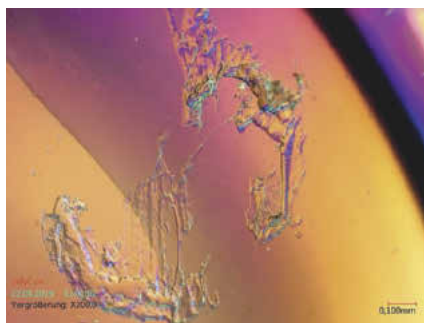
Drehrillen (Bild 18 und Bild 19) lassen sich mitunter auf Kontaktlinsenoberflächen entdecken, wenn diese Linsen im Drehverfahren hergestellt wurden. Es empfiehlt sich, die Kontaktlinsen vor dem ersten Einsatz in der Regel mikroskopisch auf Sauberkeit zu überprüfen.

Verletzungen von Austausch-Kontaktlinsen bei der Entnahme aus ihrem Blister sind kein Einzelfall. Bild 20 und Bild 21 zeigen Kontaktlinsen, die beim Öffnen des Blisters am Deckel klebten. Weiche Kontaktlinsen können, wenn sie täglich richtig regeneriert werden, die Hornhaut vor Umwelteinflüssen schützen. Bekannt und geschätzt wird dieses Phänomen von Kontaktlinsenträgern bereits in der Küche, wenn Zwiebeln geschält werden

müssen. Ähnlich funktioniert dieser Schutz der Augenschleimhäute auch im Frühjahr, wenn viele Menschen allergisch auf Pollenflug reagieren. Auch der Feinstaub in der Atemluft, Viren und Bakterien werden von einer weichen Kontaktlinse aufgehalten, bevor sie an die Hornhaut gelangen (Bild 22, Bild 23, Bild 24).



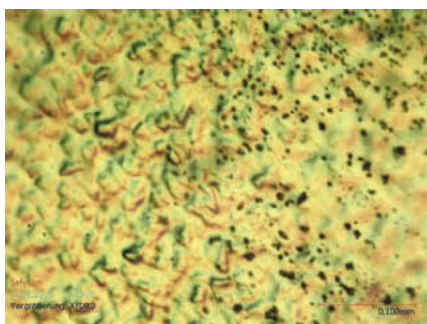
▲ Bild 19 | Feinstaub aus der Herstellung auf der Innenfläche einer individuell gedrehten Monats-Silikonhydrogel-Kontaktlinse – links: neu aus dem Blister; rechts: nach SafyCon



▲ Bild 20 | Neue weiche Kontaktlinse, die am Blister-Deckel klebte



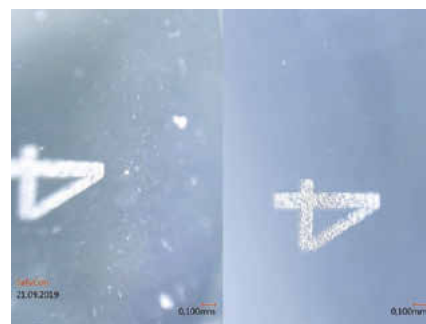
▲ Bild 21 | neue, aus dem Blister entnommene, dünnere Ein-Tages-Silikonhydrogel-Kontaktlinse



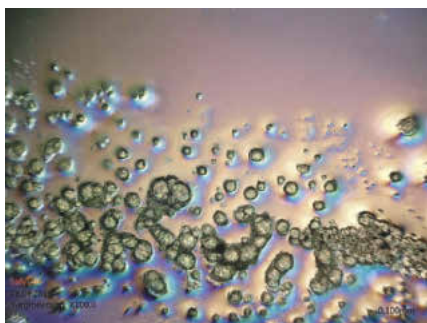
▲ Bild 22 | Feinstaub bis in die Matrix im 3D-Kontrast



▲ Bild 23 | Haselnuss-Pollen



▲ Bild 24 | Links: Haselnuss-Pollen auf einer Monats-Silikonhydrogel-Kontaktlinse eines Allergikers nach drei Tagen; rechts: nach zwei Stunden Regeneration mit SafyCon



▲ Bild 25 | Kosmetik-Konglomerate an Bio-Hydrogel



▲ Bild 26 | Links: wimpernverlängernde Mascara aus der Drogerie nach drei Monaten; rechts: Eye Care Volumen Mascara 12 H/Tag mit Bio-Hydrogel-Kontaktlinse sowie weiter Drogerieprodukt, wenn die Brille abends und am Wochenende getragen wurde, nach fünf Monaten



▲ Bild 27 | Links: Kosmetik-Konglomerate auf Bio-Hydrogel Kontaktlinse; rechts: auf formstabiler Kontaktlinse

Kosmetika

Die Mehrheit der Kontaktlinsenträger sind weiblich, tragen Silikonhydrogel-Kontaktlinsen und verwenden täglich Kosmetika. Immer wieder fallen bei der Kontrolle im Labor Kosmetik- und Mascaraeste als massive Ablagerungen auf, die kaum zu entfernen sind. (Bild 25 und Bild 26). Hydrogele und Silikonhydrogele sind hierfür anfälliger als formstabile Materialien (Bild 27).

Auch Aluminium-Partikel, Kriechfette, Parabene, Butter, Schmalz, Harze, Wachse und Öle, wie sie in handelsüblichen Cremes, Make-ups, Lidschatten und Wimperntuschen zu finden sind, sind zum Teil noch tagelang nach der Verwendung im Tränenfilm nachweisbar (Bild 26).

Sie wirken wie Klebstoff und lagern sich an der Kontaktlinsen-Oberfläche an. Dort beschleunigt sich die Ausbildung eines Biofilms. Stoffwechselreste und Proteine finden vortrefflichen Halt und bieten Bakterien einen üppigen Nährboden. Von der ausschließlichen Verwendung einer Kombilösung ist auch hier abzuraten, da ein Peroxid-System täglich eine sichere Desinfektion vornehmen kann.

Der Versuch mit Oberflächen-Reinigern solche Ablagerungen zu entfernen, hinterlässt Schleifspuren und Kratzer (Bild 17). Oft verbleiben Reste von Reinigern und kleben besonders am Linsen-Innenrand fest (Bild 27).

Dies gilt vor allem für Kontaktlinsen-Systeme, die länger als einen Monat getragen werden, sowie die ablagerungsanfälligen Silikonhydrogele. Hier ist auf die Verwendung entsprechend geeigneter Hygieneprodukte zu achten, um Komfort-Drop-Outs und Visusverlust zu vermeiden und keine Reizung der Augen zu provozieren.

Aluminiumpartikel sollen Glitzereffekte erzeugen. Sie setzen sich in Nanometer-Größe in den Poren der Kontaktlinsen-Oberfläche fest – dies besonders dann, wenn sie nicht durch einen kompletten Lidschlag abgewischt werden. Parabene sind Konservierungsmittel mit antibakterieller und fungiphober Wirkung. Farbpigmente, die wasserlöslich sind, lagern sich in das Kontaktlinsen-Material ein und verfärben es.

Fazit

Ein sicheres und komplikationsfreies Kontaktlinsentragen bedingt neben einer individuellen Anpassung und der regelmäßigen Kontrolle auch eine adäquate Linsenhygiene. Dass die Verifikation und Kontrolle sowohl von Diagnostik- als auch von Rezeptlinsen dazu gehört, zeigt die tägliche klinische Praxis.

Danksagung

Das Bildmaterial wurde vom SafyCon-Labor zur Verfügung gestellt. www.safycon.de/safycon-labor

Literatur:

- 1 Luensmann D., van Doorn K., May C., Srinivasan S., Jones L. (2019): The Impact of Cosmetics on the Physical Dimension and Optical Performance of Contemporary Silicone Hydrogel Contact Lenses. *Eye Contact Lens*, Jun 19.
- 2 Neumann S. (2002). Ein Anpassfall aus der Praxis. *NOJ*, 2, 51.
- 3 Müller Treiber A. (2017). Materialien für Kontaktlinsen und ihre Eigenschaften. In: *Kontaktlinsen Know-how – 4. Auflage*. (Hrsg.). Optische Fachveröffentlichung GmbH, Heidelberg, 89–142.
- 4 Cagnolati W. (2019). Lens Checking: Soft and Rigid. In: *Contact Lenses – Sixth Edition*. (Hrsg. Phillips A.J. and Speedwell L.). Elsevier, Edinburgh, London, New York, Oxford, Philadelphia, St Louis, Sydney, 356–372
- 5 Walther H., Lorentz H., Heynen M., Kay L., Jones LW. (2013). Factors that influence in vitro cholesterol deposition on contact lenses, *Optom. Vis. Sci.*, 90(10), 1059–1065.
- 6 Bürki E. (1991). *Augenärztliche Kontaktlinsenanpassung*, Band 4, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 62.
- 7 Berke A., Cagnolati W. (2002). Contact Lens Hygiene. In: *Antiseptic Prophylaxis and Therapy in Ocular Infections* (Hrsg. Kramer A., Behrens-Baumann W.) *Dev. Ophthalmol.*, Basel, Karger, 328–342.
- 8 Luensmann D, Heynen M, Liu L, Sheardown H, Jones L. (2010). The efficiency of contact lens care regimens on protein removal from hydrogel and silicone hydrogel lenses. *Mol. Vis.*, 16:79–92.

Die Autorin:

Dagmar Sturm

E-Mail: sturm@safycon-systems.com



Dagmar Sturm

Dipl. Kauffrau (FH), ist Absolventin der Höheren Fachschule für Augenoptik Köln mit dem Abschluss staatl. gepr. Augenoptikerin und Augenoptikermeisterin und graduierte an der Fachhochschule Köln mit dem Abschluss Diplom Kauffrau (FH). Sie leitet das Labor von SafyCon Systems in Köln.