

Aus der Klinik für Pferde  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes  
sowie Gerichtliche Medizin

Vorstand: Prof. Dr. H. Gerhards

Arbeit angefertigt unter der Leitung von PD Dr. Bettina Wollanke

## **Evaluierung einer digitalen Spaltlampe in der Pferdeophthalmologie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von  
Jane-Carolin Eichel  
aus Mainz

München 2008

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. Wollanke
Korreferent:	Priv.-Doz. Dr. Reese

Tag der Promotion: 18.Juli 2008

**Meinem Großvater  
Günter Quandt †**

---

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Anatomie und Funktion der vorderen Augenabschnitte</b> .....	<b>3</b>
2.1.1	Hornhaut .....	4
2.1.2	Vordere Augenkammer, Kammerwinkel, Kammerwasser .....	8
2.1.3	Ziliarkörper .....	12
2.1.4	Iris .....	13
2.1.5	Traubenkörper .....	14
2.1.6	Linse .....	15
<b>2.2</b>	<b>Augenuntersuchung</b> .....	<b>17</b>
2.2.1	Untersuchung mit der Spaltlampe .....	17
2.2.1.1	Geschichte der Spaltlampenuntersuchung .....	18
2.2.1.2	Prinzip, Grundaufbau, Modelle .....	22
2.2.1.3	Untersuchungsmethode .....	31
2.2.1.4	Spaltlampenbeleuchtung, Beleuchtungsarten .....	34
2.2.1.5	Mögliches Zubehör .....	44
2.2.1.6	Befunddokumentation .....	45
<b>2.3</b>	<b>Befunde mittels Spaltlampenuntersuchung</b> .....	<b>48</b>
2.3.1	Befunde der äußeren Augenstrukturen .....	48
2.3.1.1	Tränenfilm .....	48
2.3.1.2	Konjunktiva, Sklera, Episklera .....	48
2.3.1.3	Limbus .....	50
2.3.1.4	Kornea .....	50

---

2.3.2	Befunde der vorderen Augensegmente .....	56
2.3.2.1	Vordere Augenkammer, Kammerwasser und Kammerwinkel .....	56
2.3.2.2	Iris und Pupille .....	60
2.3.2.3	Linse .....	62
2.3.3	Befunde der hinteren Augensegmente .....	64
2.3.3.1	Vorderer Glaskörperabschnitt .....	64
<b>2.4</b>	<b>Spaltlampenfotografie .....</b>	<b>65</b>
2.4.1	Geschichte und Entwicklung der Spaltlampenfotografie .....	65
2.4.2	Einsatz der Spaltlampenfotografie beim Pferd .....	69
2.4.3	Vorteile der Spaltlampenfotografie .....	70
2.4.4	Fotografische Bedingungen bei der Anwendung .....	72
2.4.5	Die spezielle Aufnahmetechnik .....	74
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODE .....</b>	<b>82</b>
<b>3.1</b>	<b>Patientengut .....</b>	<b>82</b>
<b>3.2</b>	<b>Untersuchungsmethode .....</b>	<b>83</b>
3.2.1	Allgemeinuntersuchung .....	83
3.2.2	Spezielle ophthalmologische Untersuchung .....	83
3.2.3	Die Hawk Eye Spaltlampe als verwendetes System zur Fotografie .....	85

---

3.2.3.1	Prinzip und Bedienung .....	85
3.2.3.1.1	Auf den Untersucher bezogene Justierungen	86
3.2.3.1.2	Korrektter Abstand zur Kornea .....	86
3.2.3.1.3	Vergrößerung .....	86
3.2.3.1.4	Lichtregulation .....	87
3.2.3.1.5	Anwendung von Spaltlicht und Filtern .....	87
3.2.3.1.6	Erstellen von Bildern und Videos .....	88
3.2.3.1.7	Speichern und Dokumentation .....	90
3.2.3.2	Anfertigung der Spaltlampenfotos .....	90
3.2.3.2.1	Fixierung des Patienten und Untersuchungs- ort .....	90
3.2.3.2.2	Aufsuchen des korrekten Fokusabstands .....	91
3.2.3.2.3	Untersuchung des Pferdeauges mit dem Spaltlicht .....	91
3.2.3.2.4	Fotografieren der Befunde und spezielles Zubehör .....	92
3.2.3.2.5	Umfeld und Beleuchtung .....	95
3.2.3.2.6	Zusatzoption Funduslinse .....	96
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>98</b>
<b>4.1</b>	<b>Untersuchung und Fotografie .....</b>	<b>98</b>

---

<b>4.2</b>	<b>Fotografische Dokumentation .....</b>	<b>99</b>
4.2.1	Verschiedene Beleuchtungsmethoden .....	99
4.2.1.1	Übersichtbeleuchtung .....	99
4.2.1.2	Direkte Beleuchtung .....	100
4.2.1.2.1	Direkte diffuse Beleuchtung .....	100
4.2.1.2.2	Direkte fokale Beleuchtung .....	102
4.2.1.2.2.1	Hornhautbetrachtung mit breitem Spalt .....	102
4.2.1.2.2.2	Hornhautbetrachtung mit schma- lem Spalt .....	104
4.2.1.2.2.3	Hornhautschichten .....	106
4.2.1.2.2.4	Schnitt durch die vordere Augen- kammer .....	107
4.2.1.2.2.5	Zweidimensionale Irisbetrachtung	108
4.2.1.2.2.6	Tangentiales Streifen mit dem Spalt .....	109
4.2.1.2.3	Spiegelnde Reflexionen .....	110
4.2.1.3	Indirekte Beleuchtung, Retroillumination .....	112
4.2.1.3.1	Direkte Retroillumination .....	112
4.2.1.3.2	Indirekte Retroillumination .....	113
4.2.1.4	Direkte und Indirekte Beleuchtung .....	114
4.2.1.4.1	Obstruktive Veränderungen .....	114
4.2.1.4.2	Lichtdurchlässige Veränderungen .....	117
4.2.1.4.3	Lichtbrechende Veränderungen .....	118
4.2.1.5	Beleuchtung mit dem Fotospalt .....	119

---

4.2.2	Artefakte .....	122
4.2.2.1	Tierartbedingte Artefakte .....	122
4.2.2.2	Artefakte durch Umfeldbeleuchtung .....	124
4.2.2.3	Artefakte durch Veränderung der Beschaffenheit der Korneaoberfläche und Vorbehandlung der Kornea.....	128
4.2.2.4	Einstellungsbedingte Artefakte .....	131
4.2.3	Verschiedene Untersuchungsbefunde .....	133
4.2.3.1	Befunde der Kornea .....	133
4.2.3.1.1	Korneaulkus .....	133
4.2.3.1.2	Fremdkörper in der Kornea .....	134
4.2.3.1.3	Korneanarbe .....	135
4.2.3.1.4	Korneaödem .....	136
4.2.3.1.5	Korneagefäße .....	137
4.2.3.1.6	Endotheliale Auflagerungen .....	140
4.2.3.1.7	Keratitis punctata .....	142
4.2.3.2	Befunde in der vorderen Augenkammer .....	143
4.2.3.2.1	Hyphaema .....	143
4.2.3.2.2	Fibrin in der vorderen Augenkammer .....	143
4.2.3.3	Befunde von Iris, Traubenkörnern und Kammerwinkel ....	145
4.2.3.3.1	Normalbefunde von Iris und Kammerwinkel ....	145
4.2.3.3.2	Normalbefund der Traubenkörner .....	152
4.2.3.3.3	Traubenkornzysten.....	154
4.2.3.3.4	Hintere Synechien .....	157
4.2.3.4	Befunde der Linse .....	164
4.2.3.4.1	Katarakt .....	164
4.2.3.4.2	Weitere Linsenveränderungen bei ERU .....	166
4.2.3.4.3	Linsenbläschen .....	167

---

4.2.3.5	Befunde des Fundus .....	169
4.2.3.5.1	Normalbefund .....	170
4.2.3.5.2	Chorioretinopathie .....	174
4.2.3.5.3	Funduskolobom .....	176
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>178</b>
<b>5.1</b>	<b>Spaltlampenuntersuchung und fotografische Dokumentation beim Pferd .....</b>	<b>178</b>
5.1.1	Erwartungen an die Fotografie mit der Hawk Eye Spaltlampe.....	178
5.1.2	Erhoffte Vorteile und erwartete Nachteile.....	179
5.1.3	Spaltlampenuntersuchung.....	180
5.1.4	Fotografische Dokumentation .....	182
5.1.4.1	Spaltlampengerät .....	182
5.1.4.2	Fotografie am stehenden Pferd.....	185
5.1.4.3	Fotografie am liegenden Pferd .....	187
5.1.5	Befunddokumentation verschiedener Augenstrukturen .....	192
5.1.5.1	Kornea .....	192
5.1.5.2	Vordere Augenkammer .....	194
5.1.5.3	Iris .....	196
5.1.5.4	Kammerwinkel .....	197
5.1.5.5	Linse .....	197
<b>5.2</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>199</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>202</b>

---

<b>7</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>206</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>209</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>224</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>224</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>229</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>230</b>
	<b>Anhang Technische Daten.....</b>	<b>232</b>
	<b>Danksagung.....</b>	<b>234</b>
	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>236</b>

## 1 EINLEITUNG

Die apparative Diagnostik in der Augenheilkunde hat in der heutigen Zeit einen hohen Stellenwert angenommen. In diesem Zusammenhang hat ebenso die Befunddokumentation auf elektronischen Medien zunehmend an Bedeutung gewonnen. Sie stellt eine gute Möglichkeit der Verlaufskontrolle dar und erleichtert die Kommunikation zwischen Arzt und Patient bzw. Patientenbesitzer sowie zwischen den Medizinern untereinander. In der Tiermedizin sind vermehrt auch rechtliche Aspekte in dieser Hinsicht zu bedenken, denn immer häufiger kommen bei Erkrankungen des Pferdeauges Fragen vom Besitzer auf. Oft bleibt unklar, wie lange eine Augenerkrankung bereits besteht, ob die Erkrankung schon bei der Ankaufuntersuchung vorlag und inwiefern sie hätte erkannt und behandelt werden können oder gar müssen.

So ist es für den heutigen Tierarzt immer zwingender, dem Besitzer die bestmögliche Therapie zu bieten. Um diese sicherzustellen, ist er gefordert, sich aus den aktuellsten und zuverlässigsten Quellen zu informieren, sich mit Kollegen mit den entsprechenden Kenntnissen abzusprechen und letztlich sich mit einer fundierten Dokumentation abzusichern. Dies ist besonders gefordert, was Spezialgebiete wie die Ophthalmologie anbelangt. Damit stellt sich die Frage, welche Möglichkeiten der Dokumentation bestehen und dem Tierarzt zumutbar sind.

In der Ophthalmologie schreitet in der Humanmedizin und auch in der Tiermedizin die Dokumentation deutlich voran. Immer mehr Befunde können mit der heutigen Technik, besonders durch Fotografie und Videodokumentation, festge-

halten werden. Allerdings gestaltet sich die Dokumentation in der Tiermedizin, insbesondere beim Pferd, gegenüber der Humanmedizin viel schwieriger. Speziell die Spallampenuntersuchung beim Pferd zeigt deutliche Grenzen auf. Beispielsweise ist eine Verwendung fest installierter Geräte nicht möglich, da ein Pferd nicht wie ein Patient in der Humanmedizin seinen Kopf auf einem Gerät mit der nötigen Ruhe aufstützen kann bzw. wird.

Dies bedeutet, dass mobile Geräte zur Untersuchung und Dokumentation am Pferdeauge von Nöten sind. Bisher wurde folglich wenig dokumentiert, die frei gehaltenen Spallampen boten bisher keine Möglichkeit der Fotodokumentation.

Da nun seit Kurzem auch mit Kamera kombinierte, frei gehaltene Spallampen zur Fotodokumentation erhältlich sind, hatte diese Arbeit die Prüfung einer solchen für den Einsatz am Pferdeauge zum Ziel. Unter welchen Umständen bei diesem Gerät eine nutzbare Dokumentation erreicht werden kann, für welche Gruppe an Tierärzten und für welche Augenabschnitte bzw. -erkrankungen das Gerät sich eignet, sollte in diesem Zusammenhang geklärt werden.

## 2 LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Anatomie und Funktion der vorderen Augenabschnitte

#### 2.1.1 Hornhaut

Die Hornhaut, Kornea, ist eine gefäßlose, transparente und querovale Struktur, die am Sulcus sclerae in die undurchsichtige, gefäßarme weiße Augenhaut, die Sklera, übergeht. Kornea und Sklera bilden zusammen die äußere Augenhaut, die Tunica fibrosa bulbi, die von derbelastischer Konsistenz ist und durch den Bulbusinnendruck in Spannung gehalten wird (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1990; VON OPPEN, 2000; VON BORSTEL, 2003). Mit ihren vier anatomisch verschiedenen Schichten Epithel, Stroma, Descemetsche Membran und Endothel, grenzt die Kornea nicht nur an die Sklera, sondern auch an die Episklera, die Konjunktiva bulbi und den Kammerwinkel (BARNETT et al., 1998). Zu den Aufgaben der Kornea zählen das Konstanthalten der Bulbusfüllung und damit des Drucks, die Lichtbrechung aufgrund ihrer Krümmung sowie auch die Transmission von Licht aufgrund ihrer physiologischen Transparenz. Die gesunde Kornea enthält weder Blut- noch Lymphgefäße. Für die Gewährleistung ihrer Ernährung und Reinigung sind das Kammerwasser, die perilimbale Kapillaren und der Tränenfilm, für ihren Schutz vor der Umwelt die Augenlider und die Nickhaut von großer Bedeutung (BARNETT et al., 1998; SAMUELSON, 2007). Durch die deutlich elliptische Form beim Pferdeauge ist der horizontale Durchmesser auffällig größer als der vertikale, hingegen besteht bei Hund und Katze ein nur kleiner Unterschied zwischen den beiden Durchmessern und die Kornea erscheint fast kreisrund. Der beim Pferd große Unterschied der beiden Durchmesser ermöglicht diesem Tier ein bemerkenswertes horizontales Blick-

feld (SAMUELSON, 2007). Der vertikale und horizontale Durchmesser liegen beim adulten Pferd bei 33 mm und 36 mm (BARNETT et al., 1998; GERHARDS und WOLLANKE, 2001) und die Hornhautdicke variiert je nach Größe und Zucht und ebenso von Individuum zu Individuum (SAMUELSON, 2007). Sie beträgt peripher 1-1,5 mm und zentral 0,8 mm (BARNETT et al., 1998).

### Präokularer Tränenfilm

Vor den vier anatomischen Schichten der Hornhaut befindet sich der präokulare Tränenfilm, der sich aus drei Schichten zusammensetzt. 1. Einer äußeren Lipidschicht, hauptsächlich sezerniert von den Meibomschen Drüsen in der Tarsalplatte. 2. Einer mittleren wässrigen Schicht, der Tränen- und Nickhautdrüse entstammend. 3. Produziert durch die Becherzellen der Konjunktiva, einer inneren Muzinschicht, die die Verbindung zwischen der lipophoben wässrigen Schicht dieses präokularen Tränenfilms und dem lipophilen Epithel der Kornea ermöglicht (SEVERIN, 1996; BARNETT et al., 1998; SLATTER, 2001). Die gute Ausstattung mit sensorischen Nerven und Schmerzrezeptoren dient vor allem dem Schutz der Hornhaut sowie der Aufrechterhaltung ihrer Transparenz. Des Weiteren tragen zu der Transparenz bei: Fehlende Blutgefäße sowie ein nicht keratinisiertes Oberflächenepithel, das durch den präokularen Flüssigkeitsfilm aufrecht erhalten wird, die fehlende Pigmentierung und die Größe und Anordnung der stromalen Kollagenfibrillen. Als physiologischer Faktor unterstützt auch der Hydratisierungsstatus der Hornhaut ihre Transparenz (SAMUELSON, 2007).

### Epithel

Die vorderste Schicht der Hornhaut, das Epithel, ist besonders reich innerviert. Die marklosen, intraepithelialen Nervenendigungen stammen von langen zili-

aren Ästen von der Abzweigung des Nervus opticus vom Nervus trigeminus (BARNETT et al., 1998; SLATTER, 2002). Die Schmerzrezeptoren kommen vor allem in den ganz oberflächlichen Anteilen vor, die Spannungsrezeptoren hingegen vermehrt im Stroma. Dies erklärt auch, warum oberflächliche Hornhautdefekte meist mit stärkeren Schmerzen einhergehen als tiefere Defekte. Wie tief die Nervenäste in die Kornea bei den einzelnen Tierarten hineinziehen, ist bisher weitestgehend unbekannt. Beim Kaninchen wurden sie in der tiefsten Schicht der Hornhaut, dem Endothel gefunden (WOLTER, 1957; SAMUELSON, 2007). Das Epithel besteht aus einem mehrschichtigen, nicht verhornenden Plattenepithel, das nahezu undurchlässig für Wasser und gelöste Stoffe ist. Dieses Plattenepithel liegt wiederum auf einer Basalmembran. Kommt es zu Schädigungen dieser Hornhautanteile, so sind zwei Heilungsprozesse zur Wiederherstellung nötig: zum einen eine Zellwanderung, um die verletzte Region zu überdecken, zum anderen eine Mitose der betroffenen Zellart, um die ursprüngliche Zellzahl an Epithelzellen wieder herzustellen. Kleine Epitheldefekte können auch ohne Zellteilung heilen, hier reicht eine Zellmigration innerhalb der ersten 24 Stunden (HUANG und TSENG, 1991; SAMUELSON, 2007).

### Stroma

Das Stroma ist die mächtigste Schicht der Hornhaut aus Kollagen-Typ-1-Fibrillen, die parallel in lamellärer Struktur angeordnet sind. Diese Anordnung wechselt von Lamelle zu Lamelle. Eingebettet sind die Fibrillen in einer Grundsubstanz, die den gleichen Brechungsindex wie die Fasern hat. Zwischen den Lamellen befinden sich fortsatzreiche Keratozyten. Dies sind kernhaltige Fibroblastenvorläufer, die vor allem im vorderen Bereich des Stromas angesiedelt sind (BARNETT et al., 1998; SLATTER, 2002). Die Keratozyten wandeln sich bei tiefen

Schädigungen der Hornhaut in Fibroblasten um und können Narbengewebe, Typ-III-Reparaturkollagen, bilden, das die Transparenz der Hornhaut an dieser Stelle verhindert (BARNETT et al., 1998; SAMUELSON, 2007). Um eine gute Heilung des Stromas zu erreichen, müssen die Fibrillen wieder so aufgebaut werden, wie es ihrer eigentlichen Entwicklung entspricht. Proteoglykane sind erforderlich, um die Kollagenfibrillen in entsprechender Größe und Organisation aufrecht zu erhalten. Besteht während des Heilungsprozesses eine verminderte Proteoglykankonzentration, ist die Möglichkeit, die eigentliche Architektur wieder herzustellen, eingeschränkt und verharrt, bis sich die normale Proteoglykanbildung wieder normalisiert hat (DISCHE et al., 1979; DISCHE, CREMER-BARTELS und KAYE, 1985; KANGAS et al., 1990; SAMUELSON, 2007).

#### Descemetische Membran

Die Descemetische Membran, eine glasklare, homogene Schicht, besteht aus Kollagen-Typ-1-Fibrillen und begrenzt die Hornhaut nach hinten (VON OPPEN, 2000). Sie wird von dem Endothel der vorderen Augenkammer gebildet (WISSDORF et al., 2002). Ihre feinen Fibrillen sind dicht gepackt angeordnet und in einer Grundsubstanz aus Glykoproteinen eingebettet (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1990). Sie weist eine hohe Resistenz gegenüber Enzymen und chemischer Hydrolyse auf und besitzt eine hohe Elastizität (JAKUS, 1956; BARNETT et al., 1998). Unter normalen Umständen steht die Descemetische Membran unter einer gewissen Spannung, sodass sie sich bei Ruptur rollenartig eindreht. Bei den meisten Tieren ist die Descemetische Membran in eine dünne vordere, schmale, direkt ans Stroma grenzende Zone mit hauptsächlich Kollagen des Typs IV und VIII, eine breite mittlere Zone und eine schmale hintere, direkt ans Endothel grenzende Zone mit vorwiegend Kollagen des Typs V und VI, geschichtet (WASMAN und JAEGER, 1993; SAMUELSON, 2007).

### Endothel

Letzte und innerste Schicht der Hornhaut ist das Endothel. Bestehend aus einem einschichtigen Plattenepithel kann es von Wasser und gelöste Stoffe penetriert werden, abhängig von den osmotischen und hydrostatischen Druckverhältnissen. Durch die Natrium-Kalium-Elektrolytpumpe in den Endothelzellen kann dem natürlichen Influx von Wasser in die Kornea entgegengearbeitet und somit der normale, relativ wasserarme Zustand der Kornea erhalten werden (BARNETT et al., 1998; SLATTER, 2001, 2002). Die Dichte an Endothelzellen in dieser Schicht nimmt mit zunehmendem Alter um ca. 50% oder mehr ab. Dies wiederum bewirkt eine Ausbreitung der Zellen und eine zusätzliche Produktion von Elektrolytpumpen, um dem zunehmenden Ausstrom entgegen zu wirken (ANDREW et al., 2001; SAMUELSON, 2007). Kommt es zu Schädigungen der endothelialen oder epithelialen Barrieren, so wird der relativ wasserarme Zustand der Kornea gestört. Es entsteht ein Hornhautödem. Dies zeigt sich zum einen in einer Schwellung der Hornhaut, zum anderen im Verlust der physiologischen Hornhauttransparenz. Dieses Ödem kann sich im Falle geringer Epithelverluste als Ursache schnell zurückbilden, sofern die Reepithelisierung ungehindert ablaufen kann. Die Trübung ist dann meist schnell behoben. Ist der Epithelverlust ausgedehnter, so können starke und permanente Transparenzverluste folgen (BARNETT et al., 1998).

Während der Heilung der Kornea treten meist Blutgefäße vom Limbus aus und ziehen Richtung Defekt. Abhängig von Lokalisation und Tiefe nehmen die Gefäße unterschiedliche Gestalt an: im Epithel und vorderen Stroma zeigen sich die Gefäße verschiedenartig verzweigt, im tiefen Stroma eher kurz und unverzweigt mit zirkulärem Bürstensaum und zwischen Stroma und Descemetscher Membran erscheinen sie isoliert und baumartig verzweigt. Eine Pigmentierung

kann im subepithelialen Bereich mit einer Gefäßeinsprossung einhergehen und möglicherweise irreversibel sein (BARNETT et al., 1998; SLATTER, 2001).

### **2.1.2 Vordere Augenkammer, Kammerwinkel, Kammerwasser (-abfluss)**

#### Vordere Augenkammer

Im Auge sind zwei Augenkammern vorhanden. Die vordere Augenkammer wird begrenzt von der Kornea, dem Kammerwinkel, der Irisvorderfläche und der Pupille. Die spaltförmige hintere Augenkammer wird begrenzt durch die Irisrückfläche, den Ziliarkörper und die Linse. Beide sind mit Kammerwasser gefüllt und kommunizieren miteinander. Das Kammerwasser hat die Funktionen, Kornea, Linse und Glaskörper mit Sauerstoff zu versorgen, den intraokularen Druck (IOP) aufrecht zu erhalten sowie Abfallprodukte aus der vorderen Augenkammer zu entfernen. Es wird von den Procc. ciliares und den Traubenkörnern ständig in die Kammern abgegeben und nachgebildet (BARNETT et al., 1998; RYSECK, 2000; WISSDORF et al., 2002; GILGER, 2004; BROOKS, 2005). Beim Pferd ist die vordere Augenkammer mit durchschnittlich 2,4 ml Kammerwasser, die hintere Augenkammer mit ca. 1,6 ml Kammerwasser angefüllt (GERHARDS und WOLLANKE, 2001). Produktion und Abfluss des Kammerwassers sind bei Erkrankungen der vorderen Augenabschnitte beim Pferd gestört. Ebenso kann die Zusammensetzung des Kammerwassers bei Erkrankungen mit Hornhautödem, Katarakt, Iritis o. ä. verändert sein (BARNETT et al., 1998; GILGER, 2004).

#### Kammerwinkel

Der Kammerwinkel wird beim Pferd außen vom Limbus, innen von der Iris und dem Ziliarkörperstroma und vorne vom Ligamentum pectinatum begrenzt. Das Ligamentum umgibt den Kammerwinkel zirkulär und ist mit seiner Trabekelstruktur medial und lateral gut erkennbar. Da es die Sklera am Limbus im rechten Winkel trifft, ist der Kammerwinkel beim Pferd sehr weit (SAMUELSON, 2007).

### Kammerwasser

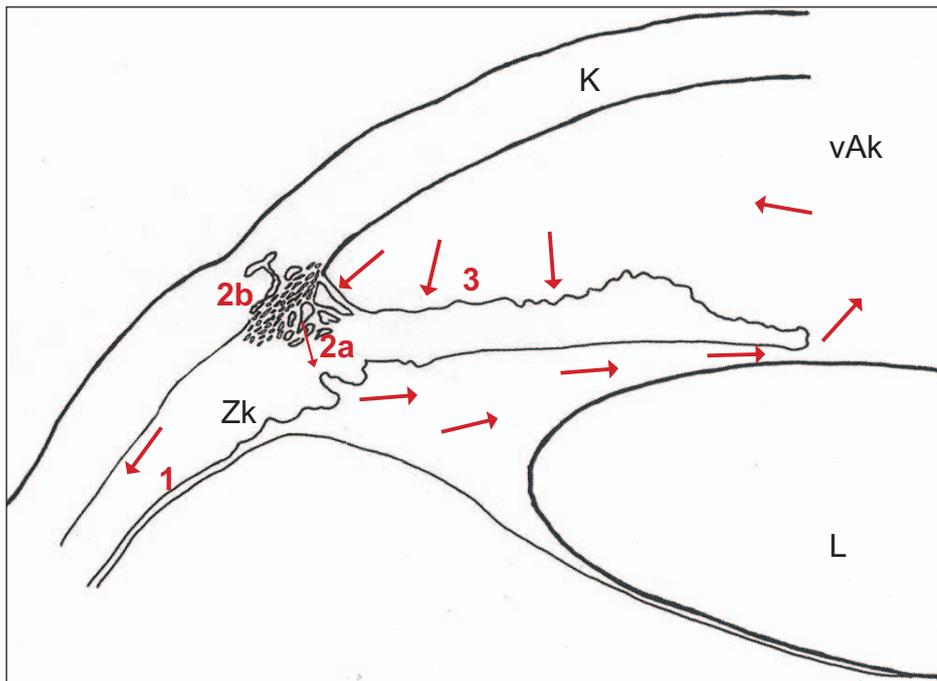
Die Inhaltsstoffe des Kammerwassers unterscheiden sich zwischen vorderer und hinterer Augenkammer. Die Zusammensetzung hängt vom Nährstoff- und Abfallprodukt-Austausch zwischen dem Kammerwasser mit der Hornhaut und der Linse ab. Ebenso ist die Fähigkeit zum aktiven Abtransport von Stoffen aus dem Auge bedeutsam. Das Kammerwasser besteht aus Elektrolyten, Enzymen, Harnstoff, Glukose, Proteinen und Ascorbinsäure und weist einen Brechungsindex von 1,336 auf. Die Kammerwasserbildung erfolgt im Ziliarkörper. Von hier aus fließt es, beeinflusst durch den hydrostatischen Druck sowie auch durch Konvektion, die durch die Abkühlung der Hornhautoberfläche erzeugt wird, in die vordere Augenkammer. In der vorderen Augenkammer fließt das Kammerwasser durch die erwähnte Konvektion und den daraus resultierenden Strömungen von dorsal in ventrale Richtung (VOGT, 1930; MEESMANN, 1972; BROOKS, 2005; SAMUELSON, SMITH und BROOKS, 1989; SAMUELSON, 2007). Entsprechend dieser konvektionsbedingten Fließrichtung des Kammerwassers heften sich die bei manchen Uveitiden auftretenden endothelialen Auflagerungen vertikal ausgerichtet an der Hornhaut an (VOGT, 1930; MEESMANN, 1972).

Das Kammerwasser verlässt die Augenkammer beim Pferd größtenteils über den sog. supraziliaren Raum. Diese Struktur wurde bisher nur beim Pferd nachgewiesen und repräsentiert bei diesem die wahrscheinlich bedeutendste Möglichkeit des Kammerwasserabflusses. Die meisten Formen eines erhöhten intraokularen Drucks scheinen auf einem erhöhten Widerstand des Kammerwasserabflusses zu beruhen. Entsprechend ist eine optimale Balance zwischen Kammerwasserproduktion und der Drainage durch den iridokornealen Winkel essentiell für einen normalen IOP (SAMUELSON, SMITH und BROOKS, 1989; SAMUELSON, 2007).

### Kammerwasserabfluss

Resultierend aus dem Aufbau des Kammerwinkels beim Pferd unterscheidet sich dieser auch bezüglich seines Kammerwasserabflusses wesentlich von anderen Tierarten. Hinter dem Ligamentum pectinatum befindet sich ein Raum, die Ziliarkluft (BARNETT et al., 1998). In ihrem vorderen Bereich befinden sich Trabekel des inneren Ziliarkörpermaschenwerks, die mit den äußeren Trabekeln des Maschenwerks der Ziliarkörpervorderfläche verschmelzen und den supraziliaren Raum bilden (BROOKS, 2005). Mit dessen Übergang in den suprachoroidalen Raum entsteht so der unkonventionelle, uveosklerale oder auch als suprachoroidal bezeichnete Abflussweg mit recht geringem Widerstand.

Hingegen ist der konventionelle Abfluss, der über das äußere Maschenwerk und den Kammerwasserplexus und dann weiter in den intra- und episkleralen Venenplexus hinein verläuft, wegen dem vermutlich höheren Widerstand deutlich geringer (DE GEEST et al., 1990; BARNETT et al., 1998; WISSDORF et al., 2002; BROOKS, 2005; GERHARDS und WOLLANKE, 2001). Als zusätzliche Möglichkeit besteht der Abfluss über das venöse Abflusssystem von Iris und Ziliarkörper und auch über die Irisbasis (BARNETT et al., 1998; BROOKS, 2005). Nicht zu vergessen sind diese speziellen anatomischen Gegebenheiten beim Pferd im therapeutischen Zusammenhang, da die Kammerwasserdrainage von der Pupillenstellung abhängig ist und durch eine Mydriasis gesteigert wird (MUGHANNAM, BUYUKMIHCI und KASS, 1999; HERRING, PICKET und CHAPAGNE, 2000; WISSDORF et al., 2002; BROOKS, 2005).



### Skizze 1: Abflusswege des Kammerwassers

modifiziert nach SAMUELSON, SMITH und BROOKS, 2007

L: Linse, K: Kornea

vAk: vordere Augenkammer

Zk: Ziliarkörper

1: Uveoskleraler Abflussweg

(vom supraziliaren über den suprachoroidalen Raum)

2: Konventioneller Abfluss (über das äußere Maschenwerk (2a)

und den Kammerwasserplexus(2b))

3: Zusätzliche Abflussmöglichkeiten

(über Iris, Irisbasis und Ziliarkörper)

### 2.1.3 Ziliarkörper

Der Ziliarkörper bildet gemeinsam mit Choroidea und Iris die Uvea, auch mittlere Augenhaut bzw. Tunica vasculosa bulbi genannt. Er schließt sich nach anterior an die Choroidea an und grenzt an die Iris.

Histologisch lassen sich am Ziliarkörper Ziliarfortsätze, Ziliarkörpermuskulatur und der iridokorneale Winkel erkennen (SAMUELSON, 2007).

Topographisch gliedert sich der Ziliarkörper in eine vordere Pars plicata und eine hintere Pars plana. Die Pars plicata besteht aus einem Ring von, je nach Spezies, 70 bis 100 ziliaren Fortsätzen mit dazwischen liegenden, talartigen Vertiefungen. Diese Fortsätze, die die Produktionsfläche für das Kammerwasser immens erhöhen, sind generell prominenter und zahlreicher bei Tieren mit geräumigerer vorderer Augenkammer. Somit liegt das Pferd mit ganzen 102 Fortsätzen im Gegensatz zu Karnivoren mit 74-76 Fortsätzen deutlich über dem Durchschnitt (SAMUELSON, 2007; PRINCE, DIESEN und EGLITIS, 1960). Bei niederen Vertebraten wie Fischen oder Schlangen fehlen sie sogar oft (PRINCE, 1956; DUKE-ELDER, 1958). Ihre Erscheinung variiert sehr zwischen den verschiedenen Spezies. Zwischen den großen ziliaren Fortsätzen stellen sich mikroskopisch weite Täler mit schmalen Sekundärfalten dar. Viele der kleineren Sekundärfalten entspringen nahe der Pars plana und fusionieren mit den großen Fortsätzen an deren Basis. Bei Huftieren und speziell beim Pferd sind die Ziliarfortsätze eine breite, gebogene Oberflächenabdeckung, die den Hauptteil des Körpers überragt (TRONOSCO, 1942).

#### 2.1.4 Iris

Die Iris bildet den distalen Anteil der Uvea und setzt den Ziliarkörper direkt fort. Sie schiebt sich zwischen Linse und Hornhaut und bildet eine ringförmige Öffnung, die Pupille (WISSDORF et al., 2002). Beim adulten Pferd ist die Pupille in mittelweiter und in enger Stellung horizontal angeordnet und ellipsoid, beim Fohlen eher rund geformt. Ihre Funktion dient der Regulation von Lichteinfall ins hintere Augensegment und somit auf den Fundus (BARNETT et al., 1998; TOTH und HOLLERRIEDER, 2004). Ferner trennt die Iris die enge hintere Augenkammer von der vorderen Augenkammer (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1990; SLATTER, 2002).

Insgesamt ist die Iris in drei Anteile gegliedert: die Epithelschicht, somit das Endothel der vorderen Augenkammer, die Eigenschicht, somit das Irisstroma und eine doppelte Lage pigmentierter Epithelzellen, als Irisanteil der Retina bezeichnet (BARNETT et al., 1998; SLATTER, 2002). Ihr Rand besitzt einen dunkel pigmentierten Saum, zentral befinden sich hier die schwarzen, unregelmäßig geformten Traubenkörner. Meist zeigt sich die Iris mit radiärer Fältelung und ist stark pigmentiert, da das Stroma mit seinem bindegewebigen Geflecht aus kollagenen Fibrillen mit zahlreichen Pigmentzellen und Blutgefäßen den Hauptanteil ausmacht (BARNETT et al., 1998). Das eigentlich lockere Stroma bildet um die Nerven und Blutgefäße der Iris dichte Umhüllungen. Die Kollagenfibrillen organisieren sich gewissermaßen in sich überlappende, weite Arkaden, die von der Pupille Richtung Ziliarkörper verlaufen (SHIVELY und EPLING, 1969). Radial und meridional angeordnete Zwischenräume können Partikel mit einem Durchmesser bis zu 200 µm von der vorderen Augenkammer mittels Diffusion bis ins Irisstroma aufnehmen (SMITH et al., 1986; RODRIQUES, HACKETT und

DONOHOO, 1988). Bei einer Miosis, wie sie beispielsweise bei einer inneren Augenentzündung, einer Iridocyclochoroiditis, häufig eintritt, kommt es in Zusammenhang mit einer Ausschüttung von Fibrin in die vordere Augenkammer oft zu Verklebungen der Irisrückfläche mit der Linse, sog. hinteren Synechien. Dies wird durch die Tatsache begünstigt, dass die Irisrückfläche v.a. in Pupillengengstellung Kontakt zur vorderen Linsenkapsel aufweist. Nach anschließender Weitstellung der Pupille, z.B. durch Behandlung mit Atropin, kann es zum Bestehen bleiben von Irisresiduen auf der Linse kommen (BARNETT et al., 1998). Zu einer vorderen Synechie kommt es z.B. bei Korneaverletzungen mit Irisvorfall, wobei Iris und Hornhaut miteinander verkleben (WISSDORF et al., 2002).

### **2.1.5 Traubenkörner**

Besonders deutlich am oberen Pupillenrand, aber oft auch am unteren Rand, befinden sich die Granula iridica oder Corpora nigra, die Traubenkörner (WISSDORF et al., 2002). Es sind körnige Strukturen aus pigmentierten Epithelzellen und zystoiden Hohlräumen. Sie liegen am Umschlagrand der beiden Blätter der Pars iridica retinae, ragen in die Pupillenöffnung hinein und liegen teilweise der Iris direkt an. Als ihre Aufgaben werden eine Beteiligung an der Kammerwasserproduktion sowie ein Schutz vor grellem Licht vermutet. Fallweise sind beim Pferd Myozyten der Sphinktermuskulatur in den basalen Traubenkörnern zu finden, was darauf schließen lässt, dass diese Strukturen möglicherweise mehr als nur eine passive Rolle beim Wechsel von Pupillengröße und -form spielen. Bei Tieren mit Pupillen, die zu einem Schlitz kontrahiert werden können, wird eine höhere Lichtempfindlichkeit vermutet, als bei Tieren mit zirkulärer Pupille (PRINCE, 1956). Ihre Anzahl und Form sind bei jedem Individuum unterschiedlich. In seltenen Fällen fehlen die Traubenkörner. Zu achten ist auf mögliche Verwechslungen mit Melanomen oder Iriszysten (WISSDORF et al., 2002).

### 2.1.6 Linse

Die Linse ist transparent, kompakt und von asymmetrisch bikonvexer Form (FRANCOIS und HOLLWICH, 1981; WISSDORF et al., 2002; SCHÄFER, 2005; SAMUELSON, 2007). Die Krümmung nach vorne ist deutlicher ausgeprägt, dort berührt die Linse, v.a. in Miosisstellung, die Iris und unterstützt diese gleichzeitig teilweise, in Lage zu bleiben. Entsprechend der Krümmung weist die Linse einen Brechungsindex von 1,406 auf (WISSDORF et al., 2002; SAMUELSON, 2007).

Aufgrund ihrer Gefäßlosigkeit ernährt sich die Linse über das sie umgebende Kammerwasser, welches ihr Sauerstoff, Glukose, Aminosäuren, Mineralien und andere notwendige Nährstoffe liefert. Ebenfalls werden von ihr produzierte Stoffwechselendprodukte ins Kammerwasser zum Abtransport abgegeben. Nur durch einen komplikationslos ablaufenden Stoffwechsel ist die Transparenz der Linse und deren Erhaltung oder Reparatur möglich (FRANCOIS und HOLLWICH, 1981; JAFFE und HORWITZ, 1992; SCHÄFER, 2005).

Die starke, wenig elastische Linsenkapsel ist im Bereich des Linsenäquators am stärksten und umgibt den weichen Kortex und den recht harten Linsenkern. Eine Pferdlinse hat ein Volumen von annähernd 3 ml und, gegensätzlich zu den meisten anderen Tieren, ein Linsen-Bulbus-Verhältnis von 1:20 (Hund 1:8 bis 1:10) (BRAUMUELLER, 1914; SAMUELSON, 2007).

Die Linsensubstanz besteht aus den in einer Kittsubstanz eingebetteten Linsenepithelzellen mit ihren Fortsätzen, den Linsenfasern. Diese bilden konzentrische Schalen. Die epithelialen, peripher angesiedelten Linsenfasern sind weich und kernhaltig, die zentral gelegenen, kernlosen Linsenfasern hingegen sind

derb und bilden den festen Linsenkern (WISSDORF et al., 2002). Durch die räumliche Anordnung der Linsenfasern wird die Transparenz der Linse gewährleistet (BENEDEK, 1983; SCHÄFER, 2005). Die Linsenfasern stoßen am vorderen und hinteren Linsenpol aufeinander, wo sie jeweils drei Linsennähte bilden (WISSDORF et al., 2002). Am vorderen Pol ergibt sich hieraus ein aufrechtes Y, am hinteren ein umgekehrtes oder auch andere Formen (BARNETT et al., 1998). Bei älteren Augen nimmt die Komplexität der Nahtformen zu (HOGAN, ALVARADO und WEDDELL, 1971). Hier besteht die Verwechslungsgefahr mit einer Katarakt (BARNETT et al., 1998).

Der Kern der Linse wird mit dem Alter größer und dichter. Hierdurch wird die Fähigkeit zur Akkommodation vermindert, die beim Pferd allerdings auch beim jungen Tier nur schwach ausgeprägt ist, bei anderen Tieren wie z.B. Ratten sogar fehlt (PRINCE, 1956). Gegensätzlich zum menschlichen Auge, bei dem bereits Anfang des 20. Jahrhunderts durch Allvar GULLSTRAND und HELMHOLTZ zwischen einer äußeren Akkommodation durch Formveränderung der Linse und einer inneren Akkommodation (GULLSTRAND, 1909; GULLSTRAND, 1912; HELMHOLTZ et al., 1909) unterschieden wurde, besitzt das Pferd eine entsprechend geringe Sehkraft in der Nähe.

Gegensätzlich zur Kornea ist die Linse nicht nur gefäßlos, sondern auch frei von Nerven (GREHN und LEYDHECKER, 1995; NAUMANN, 1997b; WISSDORF et al., 2002). Zur Aufhängung der Linse dienen die Zonulafasern, die *Fibrae zonulares*. Sie setzen distal und proximal des Linseäquators an und verzweigen sich. Bei Abriss dieser Fasern kommt es zur Verlagerung der Linse und damit zur Instabilität der Iris (WISSDORF et al., 2002).

## 2.2 Augenuntersuchung

### 2.2.1 Untersuchung mit der Spaltlampe

„Die Gullstrandsche Spaltlampe in Verbindung mit dem Hornhautmikroskop hat unserer klinischen Diagnostik eine neue Richtung gegeben. Sie hat in ihrer verfeinerten heutigen Form, insbesondere durch Einführung des optischen Schnittes, eine Art Histologie des lebenden Auges geschaffen“, so VOGT bereits im Jahre 1930. Die Errungenschaft der Spaltlampe ist bis heute von großer Wichtigkeit in der Ophthalmologie geblieben. Die Untersuchung mit der Spaltlampe bringt deutliche Vorzüge bei der Augenuntersuchung. Sie ermöglicht zum einen eine verfeinerte direkte Sichtbarmachung von Oberflächenläsionen der Augenlider, der Konjunktiva, der Sklera und der Iris. Noch wichtiger: durch das binokulare Mikroskop, auch Biomikroskop genannt, mit der Möglichkeit zu einer starken Vergrößerung, bekommt der Betrachter einen dreidimensionalen Blick, wodurch sogar kleinste Läsionen von Kornea, vorderer Augenkammer, Linse und zum Teil auch vorderem Glaskörper identifiziert und genau lokalisiert werden können. Es wird somit eine Detailerkennung möglich, die der histologischen Untersuchung sehr nahe kommt und dem Untersucher eine hohe Präzision für Diagnostik, Prognose und Therapie bietet (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007; SCHWINK, 1992; PEIFFER und PETERSEN-JONES, 1997; LEDFORD und SANDERS, 2006). Die Spaltlampenmikroskopie kann durch Kombination mit Zusatzoptiken weiterhin zur Untersuchung des iridokornealen Winkels und der Ziliarkluft, der Pars plana und des Fundus verwendet werden (BERLINER, 1934). Da zur bequemen Anwendung der Spaltlampe inklusive dem möglichen Zubehör viel Übung notwendig ist, ist sie bisher meist nur spezialisierten Praxen und Kliniken sowie lehrenden Einrichtungen vorbehalten (SLATTER, 2001).

### 2.2.1.1 Geschichte der Spaltlampenuntersuchung

Die Augenuntersuchung mittels technischer Geräte hat eine lange Entwicklungsperiode hinter sich. Da die Diagnostik sich zu Beginn hauptsächlich auf die Adspektion des Auges beschränkte, mussten die Geräteentwicklung und die Entwicklung der diagnostischen Erkenntnisse gemeinsam fortschreiten. Schon früh wurden Hilfsmittel zur Vergrößerung eingesetzt, die allerdings anfangs noch keine Möglichkeit zur Betrachtung des Augeninneren boten. Beim Pferd wurde bereits 1916 Wert auf die Nutzung von Hilfsmitteln zur Augenuntersuchung gelegt und zur fokalen Beleuchtung ein Hohlspiegel oder die Priestley-Smithsche Lampe verwendet (MÖLLER, 1916). Zur Untersuchung des Augeninneren war ein Augenspiegel erforderlich, der 1850 von HELMHOLTZ erfunden wurde. Er schrieb über die Entwicklung optischer Untersuchungsinstrumente 1867 in seinem „Handbuch der physiologischen Optik“ und bahnte so den Durchbruch für die moderne Diagnostik in der Ophthalmologie (HELMHOLTZ, 1851, 1867; BUCK, 2002).

Zur Entstehung der Spaltlampe mussten zwei verschiedene Entwicklungswege ablaufen. Zum einen die Entwicklung des Hornhautmikroskops, zum anderen die Entwicklung der Spaltleuchte. Schon Mitte des 19. Jahrhunderts gab es binokulare Vergrößerungshilfen. So hat z.B. Hartnack die Kugellupe vorgebracht, Steinheil-Coni in den 1870ern die periskopischen Stöpsellinsen als Vorgänger der Fernrohrbrille. Verschiedene Arten von Lupenbrillen entwickelten sich über die Jahrhundertwende. 1872 nutzte Liebreich bereits ein monokulares Mikroskop als Hornhautmikroskop. 1886 wurde ein eigenständiges Hornhautmikroskop fertig. Es war die von Westien in Rostock hergestellte Fernrohrlupe mit zehnfacher Vergrößerung, die „Corneal-Loupe“. Zu gleicher Zeit stellte ZEISS

ein Auflichtmikroskop nach Greenough her, für welches der Physiker Czapski 1899 ein neues Stativ mit einer Beleuchtungseinrichtung fertigte, sodass eine horizontale Nutzung dieses Mikroskops möglich wurde. Durch Austausch von Okularen und Objektiven konnte eine Vergrößerung bis auf das 13- bis 35-fache erzielt werden. Da bei diesem Gerät das bildumkehrende Prismensystem nach Porro (Ingenieur aus Frankreich) genutzt wurde, konnte hierdurch wiederum das astronomische Fernrohrsystem nach Kepler eingesetzt werden, was zu hohen Vergrößerungsstufen verhalf. Bis heute ist die Nutzung des Kepler'schen Fernrohrs für Hornhautmikroskope aktuell, es wird oft mit einem Vergrößerungswechsler nach Galilei kombiniert (ZEISS, 2007).

1911 entwickelte der große Ophthalmologe Allvar GULLSTRAND die erste Spaltlampe (GULLSTRAND, 1911b; BERLINER, 1934; SCHMIDT, 1975; GELATT, 1991; TARKKANEN und KIVELÄ, 2002). Dies von Carl ZEISS gebaute Gerät bestand aus einer speziellen Leuchte, gekoppelt mit einem Tischfuß über eine vertikale, höhenverstellbare Säule. Der Tischfuß konnte auf einer Glasplatte frei verschoben werden, die Leuchte hatte als Lichtquelle einen Nernststift (GULLSTRAND, 1911a; GULLSTRAND, 1911b). Das Bild dieser spezifisch hellen Lichtquelle wurde nicht direkt im Auge, sondern mittels des im Gehäuse eingebauten Kollektorsystems zunächst in einem Spalt abgebildet, wodurch zerstreutes, störendes Licht wegfiltriert wurde (GULLSTRAND, 1911a). Der entstandene Spalt wurde wiederum durch eine asphärische Ophthalmoskoplinsen weiter ins Auge abgebildet. Eine binokulare Fernrohrlupe diente zur stereoskopischen Beobachtung. Fernrohrlupe und Ophthalmoskoplinsen waren mit einer Hand zu halten. Durch unterschiedliche Lichtstreuung an den verschiedenen Medien entstanden Kontraste (ZEISS, 2007).

Drei Jahre später äußerte sich 1914 ERGGELET in den Klinischen Monatsblättern zu Spaltlampenbefunden (ERGGELET et al., 1914). Ebenfalls 1914 erstellte HENKER das Prinzip der Zwangskopplung von Mikroskop und Beleuchtung.

1919 wurde die Spaltlampe von GULLSTRAND modifiziert, indem er den Nernstfaden nicht in der Spaltöffnung abbildete, sondern in der Blende der Kondensorlinse. So entstand das so genannte Köhlersche Beleuchtungsprinzip (VOGT, 1920a, b). Dies erbrachte vermehrte Helligkeit, sowie Schärfe und Homogenität des Spaltes (VOGT, 1921a). Diese Veränderungen wurden darauf folgend von HENKER, dann von STREULI und SCHNYDER auf die Nitratlampe übertragen. Das Nitratlicht zeigte sich, wenn auch von deutlich höherer Temperatur, als deutlich weißer, jedoch als entsprechend weniger homogen. Diese Nachteile der Nitratlampe wurden durch die neue Abbildungsweise allerdings beseitigt (HENKER, 1920; STREULI, 1920; SCHNYDER, 1921; VOGT, 1921a, b; ZEISS, 2007).

Zum Vorschein brachte diese große Erfindung und deren Entwicklungsschritte erst KOEPPE. Von ihm stammen die Veröffentlichungen zu diesem Thema von 1916 und 1919 in Graefe's Archiv und 1920 sowie 1922 sein Buch und Lebenswerk „Mikroskopie des lebenden Auges“ (KOEPPE, 1916, 1920, 1922). KOEPPE versuchte im Jahre 1920, die Spaltlampe zur Untersuchung der hinteren Augenabschnitte zu ergänzen. Dazu führte er die Kontaktglasuntersuchung des Fundus versuchsweise ein. Des Weiteren kombinierte er mit HENKER die GULLSTRAND'sche Spaltlampe mit einem binokularen Hornhautmikroskop (BERLINER, 1934). Es entstand der Ursprung der endgültigen Spaltlampe.

Es folgten weitere Entwicklungsschritte der Spaltlampe. Der Spaltprojektor wurde vertikal angeordnet, was die Handhabung deutlich erleichterte. Die Firma Bausch & Lomb brachte 1926, aufbauend auf den Untersuchungserkenntnissen von KOEPPE, ein neues Modell heraus, bei dem die Kopfstütze feststand, Mikroskop und Beleuchtungseinheit aber bei gemeinsamer Schwenkachse und mittels eines Kreuzschlittens horizontal bewegt werden konnten. Durch eine Drehspindel am Tisch konnte die Höhe ebenfalls verstellt werden. Dies brachte nun die von HENKER 1914 erstmals entworfene Zwangskopplung zwischen Beleuchtung und Mikroskop in Bezug auf eine Koordinatenbewegung wieder auf (HENKER, 1920, ZEISS, 2007).

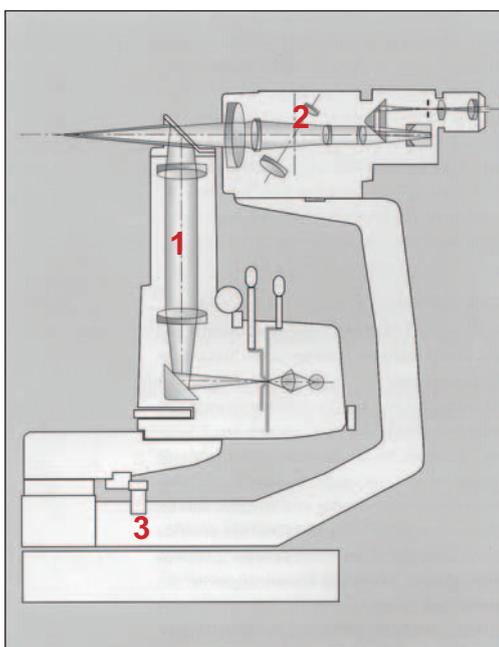
Gegensätzlich zum zwar sehr fortschrittlichen, aber doch in der Handhabung noch sehr umständlichen Gerät von Bausch & Lomb entstand bei ZEISS 1933 eine sehr kompakte Variante. Das Modell hatte zwar nur eine zur Seite bewegliche Auflage für den Kopf des Patienten, aber noch keinen Koordinaten-Kreuztisch. Auch das Prinzip der fokalen Beleuchtung wurde noch nicht berücksichtigt. Als gemeinsame Drehachse für Spaltlampe und Mikroskop war jedoch die Achse durch das Patientenaugene festgelegt. Damit erschuf die Spaltlampe nach Comberg das Grundprinzip aller folgenden Spaltlampen. In diesen Jahren gab es trotz der fortschreitenden Geräteentwicklung für die Dokumentation der erhaltenen Befunde nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten. Die Befunde mussten beschreibend und zeichnerisch festgehalten werden. Zeichnungen wurden von den Ophthalmologen selber oder von sog. wissenschaftlichen Zeichnern und Kunstmalern angefertigt. Die Autoren waren aufgefordert, ihre Befunde sehr exakt zu definieren. Auf diese Weise entstanden 1927 der Spaltlampenatlas von MEESMANN sowie 1931 das Lehrbuch und Atlas der Spaltlampenmikroskopie von VOGT mit Bildern vom Kunstmalers Bregenzer. Als Standardwerke sind sie bis

heute von großer Bedeutung. Veröffentlichungen über Spaltlampenmikroskopie in der Veterinärmedizin entstanden erst nach weiteren Jahren. ÜBERREITER beschrieb zwischen 1953 und 1959 die Nutzung des Spaltlampenmikroskops in der Evaluierung sowohl von normalen wie auch von erkrankten Tieraugen (ÜBERREITER, 1956a, b, 1959; OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007). Später machte MARTIN eine Reihe von Veröffentlichungen über die Spaltlampenbiomikroskopie am gesunden Auge des Hundes (MARTIN, 1969a, b, c).

### 2.2.1.2 Prinzip, Grundaufbau, Modelle

#### Prinzip und Grundaufbau:

Der Grundaufbau des Spaltlampenbiomikroskops basiert auf einem binokularen Mikroskop, kombiniert mit einer externen, regulierbaren Lichtquelle, die um einen Drehpunkt schwenkbar ist (BERLINER, 1934). Somit setzt sich eine Standard-Spaltlampe aus drei wesentlichen Elementen zusammen: Der Spaltleuchteinrichtung, dem Stereomikroskop und der Gerätemechanik.



#### **Skizze 2:**

#### **Grundaufbau einer Spaltlampe modifiziert nach ZEISS, 2007**

**1 Spaltleuchteinrichtung**

**2 Stereomikroskop**

**3 Gerätemechanik**

Die Spaltleuchteinrichtung erzeugt ein Spaltbild, was in Länge, Lage und Breite variabel, recht hell und in definiertem Abstand vom Gerät sein soll. 1911 wurde bei der GULLSTRANDschen Spaltlampe die Lichtquelle noch in den Spalt und dieser wiederum samt Lichtquellenbild ins Auge abgebildet (GULLSTRAND, 1911a).

Nach heutigem Stand hingegen funktionieren die meisten Spaltlampen nach dem Köhler'schen Beleuchtungsprinzip. Dabei wird die Lichtquelle durch das Kollektorsystem in das Objektiv abgebildet, das wiederum nahe dem Kollektorsystem den mechanischen Spalt abbildet. Das im Objektiv abgebildete Bild der Lichtquelle gilt als Austrittspupille der Abbildung. Die Größe der Beleuchtungsstärke im Spaltbild ist abhängig vom Helligkeitsgrad der Spaltlampe. Vorteil dieser Köhler'schen Beleuchtung ist, dass bei beliebig strukturierter Lichtquelle ein sehr homogenes Spaltbild entstehen kann.

Die Beleuchtungsstärke im Spaltbild wird von verschiedenen Faktoren bestimmt: der Leuchtdichte der Lichtquelle, der Transmission der Abbildungsoptik, der Fläche der Austrittspupille sowie dem Abstand der Austrittspupille zum Spalt. Zur Erhöhung der optischen Transmission ist die Vergütung, also die Entspiegelung, aller Glasflächen wichtig. Hierdurch können Reflexionsverluste vermindert und ein Helligkeitsgewinn von ca. 20% erzielt werden. Für die Lichtquelle eignen sich Niedervolt- und Halogenlampen. Meist werden Halogenlampen aufgrund ihrer hohen Leuchtdichte und Farbtemperatur eingesetzt. Die Lichtstreuung und Fluoreszenz der transparenten Medien ist bei solchem Licht größer und es können hiermit beispielsweise diagnostisch wertvolle Verfärbungen besser ermittelt werden (ZEISS, 2007).

Für Untersuchungen wie z.B. die Fluoreszenzbetrachtung ist eine Änderung der spektralen Zusammensetzung des Lichtes nötig. Dies geschieht durch das Einschwenken verschiedener Filter (wie z.B. Erregerfilter für die Fluoreszenz, Grünfilter zur Kontraststeigerung oder Graufilter zur Reduktion der Beleuchtungsstärke bei gleich bleibender Farbtemperatur), die das starke, weiße fokale Licht und seine Umrisse modifizieren und in seiner Intensität regulieren (BERLINER, 1934; LEDFORD und SANDERS, 2006).

Zum Beispiel kann bei der Untersuchung der Hornhaut mit weißem Licht, kombiniert mit einem Blaufilter, nach einer Anfärbung des Auges mit Fluoreszein, genau bestimmt werden, in welchen Gebieten sich das Fluoreszein anreichert und damit das Hornhautepithel defekt ist oder gar fehlt. Das blaue, auch rotfrei genannte Licht regt das im Defekt fest hängende Fluoreszein an, sodass es auffallend gelb leuchtet. Bei Kombination mit einem Grünfilter werden rote Strukturen aufgedeckt. Dem Betrachter erscheinen Blutgefäße und Blutungen hier schwarz. Dadurch können entzündete Gefäße wegen ihres höheren Kontrasts gegenüber den normalen Blutgefäßen erkannt werden. Bereiche der Episklera, an denen sich Lymphozyten bei Entzündungen oder Immunreaktionen anreichern, erscheinen im rotfreien Licht als gelbe Punkte. Auch der so genannte Fleischerring, ein Epithelring, der bei Keratokonus die Basis des kornealen Konus begrenzt, kann sehr gut mit rotfreiem Licht betrachtet werden (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Das gesamte Gehäuse der Lichtquelle dreht sich wiederum um einen Achsenpunkt, sodass die Richtung des Lichtstrahls bzw. dessen Einfallswinkel geändert werden kann (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007).

Für die Qualität des Spaltlampenmikroskops sind mehrere optische Größen von entscheidender Bedeutung: Das Auflösungsvermögen, die Schärfentiefe, der Stereowinkel, die Schnittweite, die Helligkeit und die Vergrößerung.

*Das Auflösungsvermögen:*

Unter der maximalen Auflösung versteht man den kleinsten zu trennenden Abstand zwischen zwei Strukturen. Abhängig ist das Auflösungsvermögen von der numerischen Apertur. Eine hohe numerische Apertur ergibt einen großen Winkel und damit sowohl eine hohe Lichtstärke als auch ein hohes Auflösungsvermögen sowie einen guten Z-Kontrast (geringe Schärfentiefe). Es wirkt sich daher nachteilig aus, bei gegebener Apertur die Mikroskopvergrößerung über ein bestimmtes Maß (förderliche Größe) hinaus heraufzusetzen. Es käme eine Vergrößerung der Beugungsfiguren zustande, allerdings nicht die gewünschte Vergrößerung der Objektstrukturen.

*Die Schärfentiefe:*

Der als Schärfentiefe bezeichnete Bereich ist die Ausdehnung des Bereichs im Objektraum entlang der optischen Achse, der auf einer bestimmten Aufgebene im Bildraum hinreichend scharf abgebildet wird. Somit erscheint der Bereich der Schärfentiefe für ein normalsichtiges Auge vor und hinter der Scharfstellebene noch scharf. Aus optischer Sicht setzt sich die Schärfentiefe aus der Fokustiefe, der Akkommodationstiefe und der Auflösungstiefe zusammen. Die Fokustiefe beruht auf dem kleinsten auflösbaren Winkel, bei dem mit dem menschlichen Auge ein Blickpunkt und seine Zerstreungskreise gleich scharf gesehen werden können. Die Akkommodationstiefe entsteht hingegen durch die Brechkraftveränderung zwischen Okular und Auge, sodass der Ort

der größten Sehschärfe um die Okularebene verschiebbar ist. Die Auflösungstiefe ergibt sich an der Mikroskopöffnung aus der Lichtbeugung. Durch sie ist eine Objektdifferenzierung im Tiefenbereich nicht mehr möglich (ZEISS, 2007).

#### *Der Stereowinkel:*

Beim alten Konstruktionsprinzip des Greenough-Mikroskops aus dem Jahre 1892 sind die Strahlengänge konstruktiv vollständig voneinander getrennt; der Stereowinkel wird durch zwei in einer gemeinsamen Fassung befindliche Objektive erzeugt. Das neuere Konstruktionsprinzip ist der Fernrohrtyp. Ihm fehlt das Doppelobjektiv, stattdessen findet sich ein gemeinsames Hauptobjektiv von großem Durchmesser. Der Stereowinkel wird hier dadurch erzeugt, dass mittels Blenden hinter dem Hauptobjektiv nur die Randstrahlen zur Bildentstehung benutzt werden. Das Zwischenbild befindet sich in unendlicher Entfernung, dadurch ist eine zusätzliche Tubuslinse vor dem Okular nötig. Bei der Forderung, einen möglichst großen Stereowinkel zu erzielen, muss immer beachtet werden, dass durch begrenzte Öffnungen wie Pupille und Kontaktglasspiegel gesehen werden muss. Die Größenordnung für den Stereowinkel eines guten Mikroskops liegt daher bei ca.  $10^\circ$  bis  $15^\circ$  (ZEISS, 2007).

#### *Die Schnittweite:*

Die Schnittweite sollte möglichst zwischen 90 und 120mm liegen. Sie stellt den Abstand von der vorderen Linsenfläche zur Objektebene dar. Ist die Schnittweite zu klein, muss der Untersucher zu nah ans Patientenaugen (ZEISS, 2007). Dies vermindert den nötigen Arbeitsraum am Auge und löst beim Pferd ein Berühren der Wimpern mit dem Gerät und somit das Schließen der Lider aus.

Eine zu große Schnittweite erschwert Manipulationen am Auge, minimiert die Apertur und die Helligkeit (ZEISS, 2007).

*Die Helligkeit:*

Die Helligkeit einer Spaltlampe ist nicht gleich zu stellen mit der Beleuchtung. Sie ist ein wichtiges Element für die Qualität des Gerätes. Zu beachten ist, dass die Bildqualität durch eine Verstärkung der Helligkeit verbessert wird, gleichzeitig aber durch die damit verbundene geringere Tiefenschärfe hingegen sinkt. Bei guten Geräten sind Aperturen von 0,05 bis 0,08 mm erforderlich (ZEISS, 2007).

*Die Vergrößerung:*

Abhängig vom jeweiligen Modell können verschiedene Vergrößerungen gewählt werden. Meist kann zwischen 6- und 40-facher Vergrößerung variiert werden. Die Stärke der Okulare ist festgelegt. Es werden zum Vergrößerungswechsel nur die Objektivlinsen ausgetauscht. Dies kann meist ohne größere Störungen während der Untersuchung durchgeführt werden (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Stereomikroskope, die nach dem Prinzip der Fernrohrlupe arbeiten, erreichen größere Arbeitsabstände als einfache Lupen. Sie bestehen aus einem Fernrohr und einer objektseitigen Lupe. Hierbei steht das Objekt im objektseitigen Brennpunkt der Lupe und wird von dieser entsprechend vergrößert ins Unendliche abgebildet. Dieses Lupenbild wird letztlich mit entsprechender Fernrohrvergrößerung durch das dahinter liegende Fernrohr betrachtet (ZEISS, 2007).

Zwischen Objektiv (Brennweite  $f_1$ ) und Tubuslinsen (Brennweite  $f_2$ ) liegt für jedes Auge ein gesonderter Strahlengang vor. Die Strahlengänge verlaufen parallel zueinander. Dadurch liegt das Objekt in der Brennebene des Objektivs. Um ein stereoskopisches Sehen zu ermöglichen, muss ein bestimmter Winkel,

eine gewisse Konvergenz, zwischen den beiden Sehachsen vorliegen. Dies wird bewerkstelligt durch eine prismatische Konvergenz am Objektiv, das von beiden Strahlengängen außerhalb der Sehachse durchsetzt wird. Die von den Tubuslinsen über nachfolgende drehbare Prismen entworfenen Zwischenbilder werden mit den Okularen betrachtet (ZEISS, 2007).

Es besteht die Möglichkeit, dass zwischen Tubuslinsen und Objektiv ein teleskopisches System angeordnet und dadurch die Gesamtvergrößerung variabel verstellbar ist. Viele der heutigen Spaltlampen besitzen Stereomikroskope mit Vergrößerungswechslern, die nach dem Teleskopsystem funktionieren. Heutzutage sind die meisten Spaltlampen mit einem Paralleltubus ausgestattet, sodass ein definierter Okular-Objektiv-Abstand und ein angenehmes Beobachten des Patientenauges gesichert werden können. Beim Teleskopsystem (Galileisystem mit telezentrischem Strahlengang) haben beide Strahlengänge ein gemeinsames Hauptobjektiv, das das Objektbild ins Unendliche abbildet. Dieses kann dadurch mit dem Fernrohrpaar, dem Stereotubus, betrachtet werden. Für den Vergrößerungswechsler wird vorzugsweise ein Galilei-Fernrohr, bestehend aus zwei kleineren Galilei-Fernrohren, die senkrecht zueinander liegen und in einem rotierbaren Zylinder fixiert sind, verwendet. Durch Drehung des Zylinders können fünf Vergrößerungen erzielt werden: zwei durch die Vergrößerungen der eingesetzten Fernrohre selber, zwei durch deren Nutzung von der anderen Seite und eine weitere durch Stellung in den Leerlauf (ZEISS, 2007).

Bei der Einstellung der Vergrößerung ist bei der Interpretation von Befunden bzw. Messungen an verschiedenen Augenstrukturen zu beachten, dass die optischen Gegebenheiten des Auges berücksichtigt werden müssen. Zusätzlich

zu den Vergrößerungen durch das Mikroskop selber führen sie zu weiteren Vergrößerungen. Demgemäß bleibt die Vergrößerung durch das Mikroskop an der Oberfläche der Hornhaut unverändert, erhöht sich aber jeweils um das 1,1-, 1,3-, 1,5- und 1,7-fache (humanmedizinische Werte) innerhalb der Hornhaut, an der Vorderkapsel der Linse, im Linsenzentrum und an der hinteren Linsenkapsel (BERLINER, 1934; MARTIN, 1969a; ÜBERREITER, 1954, 1956a, 1959).

### *Elektrik*

Für die Elektrik der Geräte sollte die Spannung der Lampen in einer bestimmten Spannweite eingestellt werden können, um die Beleuchtungsstärke variabel an die Untersuchung anzupassen. Als elektrische Einrichtung dienen den Spaltlampen meist Niederspannungsquellen, die Niedervolt-Glühlampen oder besser die Halogenlampen versorgen (ZEISS, 2007). Mechanisch müssen die Beleuchtung und das Mikroskop unabhängig voneinander bedienbar und schwenkbar um eine gemeinsame Achse sein. Bei tischmontierten Modellen befindet sich die Lampe meistens auf einer Basis, die mittels Kreuzschlitten in drei Ebenen bewegt werden kann. Bei einigen Modellen ist eine Drehung der Beleuchtung um  $90^\circ$  möglich und durch Prismen oder Spiegel kann der Beleuchtungsstrahlengang entweder einmal oder zweimal geknickt werden (ZEISS, 2007).

Zur dreidimensionalen Bewertung oder auch Messung von Strukturen besitzen manche Spaltlampen eine Winkelskala auf dem Arm der Beleuchtung, um den Winkel der Beleuchtungsrichtung zum Mikroskop ablesen zu können (LED-FORD und SANDERS, 2006). Als besondere Form der Mechanik gelten die mobilen Spaltlampengeräte und auch die Operationsspaltlampe als, mit einer durchschwenkbaren Spaltbeleuchtungseinrichtung kombiniertes, Operationsmikroskops (ZEISS, 2007).

Modelle:

Erhältlich sind sowohl tischmontierte als auch mobile Spaltlampenmikroskope. Tischmontierte Modelle sind teurer und komplizierter in der Bedienung, bieten jedoch eine größere Spannweite an Vergrößerungen, größere Variabilität in Breite und Orientierung des Spaltlichts und die Möglichkeit zur Fotografie. Sie sind sowohl für Labortiere als auch für Kleintiere nutzbar. Tischmontierte Spaltlampenmikroskope werden z.B. von den Firmen Haag Streit, Marco, Nikon, Reichert, Topcon und ZEISS hergestellt (BERLINER, 1934; MARTIN, 1969b; OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007).

Mobile Geräte sind günstiger und können sowohl für Kleintiere als auch für Grosstiere, und das in jeglicher Position, genutzt werden. Daher gilt die tragbare Version mittlerweile als ein Standardmodell unter den Veterinärophthalmologen. Tragbare Modelle werden z.B. von den Firmen Clement-Clark, Kowa, Nippon, Dioptrix und ZEISS hergestellt (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007).

Von Kowa sind mehrere Modell erhältlich, das neueste davon ist die SL-15. Dieses Modell ist batteriebetrieben, wodurch das Tragen zusätzlich erleichtert wird. Die Spaltlichtbreiten liegen bei 0,1, 0,2 und 0,8mm Breite, bei 10- und 16-facher Vergrößerung. Ältere Modelle dieser Firma, welche mittlerweile nicht mehr produziert werden, sind die SL-1, SL-2 und SL-5. Die SL-2 besitzt eine kontinuierlich variierbare Spaltlichtbreite von 0 bis 10mm und ein Zoomvergrößerungssystem von 5- bis 20-facher Vergrößerung. Die SL-5 besitzt festgelegte Spaltlichtbreiten von 0,1, 0,2 und 0,8mm Breite neben 10- und 20-facher Vergrößerung (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007).

Das Modell von ZEISS, die Handspaltlampe HSO 10, hat eine festgelegte Vergrößerung (12-fach) und kann als Kombination aus binokularer Spaltlampe und einer Ophthalmoskopierleuchte genutzt werden. Als Besonderheit besitzt sie eine beidseitige, klemmbare Kreisbogenführung, was eine bequeme Einhandbedienung ermöglicht. Sie bietet stufenverstellbare Spaltbreiten von 0,15 bis 0,75 mm und wird mit einem Akku betrieben (ZEISS, 2007).

### **2.2.1.3 Untersuchungsmethode**

#### Abgleichen der Okulare

Vor der Anwendung des Spaltlampenmikroskops sollten die Okulare abgeglichen werden, um den Pupillenzwischenabstand anzupassen und den Brechungsfehler der Augen des Untersuchers auszugleichen. Manche Firmen liefern mit dem Zusatzzubehör einen montierbaren Testeisenstab mit (BERLINER, 1934; SCHMIDT, 1975; BLUMENTHAL, 1995; LEDFORD und SANDERS, 2006).

Zur Untersuchung selber sind verschiedene Aspekte zu beachten. Schon HEUSSER machte Anfang des 20. Jahrhunderts mit seiner Aussage, dass „exakte, instrumentelle Untersuchungsmethoden, wie sie beim Menschen gebräuchlich sind, beim Pferd aus Gründen der Unvernunft und Widersetzlichkeit nie praktische Anwendung finden werden“, deutlich, dass sich die Untersuchung des Pferdeauges wesentlich schwieriger gestaltet, als die des menschlichen Auges (HEUSSER, 1921). Gegensätzlich zur Untersuchung des Menschen besteht beim Tier nicht die Möglichkeit, durch Erklärungen und Anweisungen die Angst des Patienten zu vermindern und damit die Untersuchung zu erleichtern bzw. zu ermöglichen. Es kann nicht direkt vermittelt werden, dass die Untersuchung schmerzfrei ist, dass das Auge offen gehalten werden muss, ein Zwinkern kurz-

fristig zu unterdrücken ist, dass Kaubewegungen die Untersuchung stören oder gar welche Blickrichtung des Patienten die Untersuchung erleichtert. Auch eine starre Fixierung des Kopfes ist bei einem nicht sedierten Tier unmöglich (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007; LEDFORD und SANDERS, 2006). Deshalb muss versucht werden, den Kopf des Tieres durch einen Assistenten und die freie Hand des Untersuchers möglichst ruhig zu halten. Vor allem beim Pferd sollte der Untersucher immer eine Hand am Pferdekopf haben, um einen Kopfstoß des Pferdes gegen den eigenen Kopf frühzeitig zu bemerken und abzuwehren bzw. möglichst schnell und schonend ausweichen zu können. Beim sedierten oder anästhesierten Tier ist ein Lidspreizer hilfreich. In solchen Fällen muss die Hornhaut mit einer für Augen geeigneten Spüllösung feucht gehalten werden, um optischen Verzerrungen und Hornhautschädigungen vorzubeugen. Der Lichtstrahl wird in einem Winkel von 20-45 Grad zur Mikroskopachse eingestellt, beim Kleintier immer entgegengesetzt zum Maul, um eine Behinderung der Spaltlichtachse zu vermeiden. Beim Pferd ist diese Richtung variabel. Die Okulare werden gegen die Augenbrauen des Betrachters gelehnt. Abhängig vom Modell kann beim Pferd das Abstützen der tragbaren Spaltlampe mit der Basis am Pferdekopf hilfreich sein (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007).

### Fokusabstand

Der Fokusabstand der meisten Spaltlampeninstrumente beträgt zwischen 7 und 10cm an der Kreuzung von Lichtstrahlachse und Mikroskopachse. Durch Bewegung beider Achsen innerhalb dieses Bereichs zum Auge hin oder vom Auge weg kann die Feinfokussierung durchgeführt werden (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007). Um den Fokusabstand zu finden, sollte man den Lichtstrahl in einem Winkel von mindestens 45° einstellen und anschließend solange gegen 0° drehen, bis der Spalt den temporalen oder den nasalen Kanthus erreicht.

Hier kann nun die Feinfokussierung durchgeführt werden. Eine Möglichkeit ist es, dies durchzuführen, indem der Untersucher zur Betrachtung des Spalts neben dem Gerät vorbeischaute und von hier aus die Feinfokussierung durchführt, bis die Ränder des Spalts makroskopisch scharf und präzise aussehen. Danach kann bei Betrachtung durchs Mikroskop die letzte Verfeinerung durchgeführt werden. Diese Methode eignet sich beim Pferd aufgrund seiner Mentalität jedoch nur bei liegendem Patienten. Auch eine Möglichkeit ist es, den Spalt extrem nah ans Auge zu bringen und, während man durchs Mikroskop hindurchschaut, durch langsames Zurückweichen mit der Lampe zu fokussieren. Diese Methode erleichtert dem Anfänger das Suchen des richtigen Fokusabstands sehr. Eine Herausforderung ist es anschließend, den Fokusabstand zu halten (LEDFORD und SANDERS, 2006). Besonders bei tragbaren Spaltlampen sind kleinste Bewegungen des Patienten ausreichend, um den richtigen Fokusabstand zu verlieren. Insbesondere das Pferd als Patient erfordert ausgesprochen viel Ruhe und Geduld, um diese unumgänglichen, stetigen Störungen zu akzeptieren und immer wieder neu auszugleichen.

### Vergrößerung

Zu Beginn der Untersuchung sollte mit geringster Vergrößerung begonnen werden (z.B. 6- bis 16-fache Vergrößerung). Zur genaueren Untersuchung der Hornhaut sowie abnormer Strukturen im Auge empfiehlt es sich, die Vergrößerung anschließend zu steigern (LEDFORD und SANDERS, 2006). Nach dem ersten Teil der biomikroskopischen Untersuchung (Augenlider, Konjunktiva, Kornea, vordere Augenkammer und Iris) kann 1%iges Tropicamid verabreicht werden, um eine Mydriasis hervorzurufen und die Untersuchung der gesamten Linse anschließen zu können (RUBIN und WOLFES, 1962; GELATT, BOGGESS und CURE, 1973).

#### **2.2.1.4 Spaltlampenbeleuchtung, Beleuchtungsarten**

Die Spaltlampenbiomikroskopie bietet die Möglichkeit, aus gewonnenen optischen Teilbildern der einzelnen Augenabschnitte einen Gesamteindruck zu gewinnen, diesen zu bewerten und daraus einen Befund sowie letztlich die Diagnose zu stellen. Grundsätzlich sollte zu Beginn eine Übersicht gewonnen werden. Dazu wird der Lichtdurchlass voll geöffnet. Nun kann eine Übersicht im zirkulär ausgeleuchteten Feld gewonnen werden. Da im Auf- und Durchlicht die relative Amplitudenmodulation des Lichtes zu gering ist und die Phasenmodulation vom Auge nicht wahrgenommen wird, sind die transparenten Strukturen selber nicht einwandfrei zu beurteilen. Diese lassen sich jedoch im Streulicht oder im Fluoreszenzlicht gut bewerten (ZEISS, 2007).

##### Verschiedene Wege der Beleuchtung

Abhängig vom Ziel der Untersuchung gibt es verschiedene Wege der Beleuchtung:

- a.) direkte Beleuchtung: das Licht wird direkt auf das Objekt des Interesses gerichtet.
- b.) Retroillumination (rückwärts gerichtete, indirekte Beleuchtung): das Licht wird hinter das Objekt des Interesses gerichtet.

Die direkte Beleuchtung kann diffus (ungerichtet) oder fokal (gezielt) sein. Retroillumination kann direkt (das Objekt wird direkt gegen die angestrahlte, Licht reflektierende, Oberfläche betrachtet) oder indirekt (das Objekt wird gegen einen dunklen Hintergrund neben der angestrahlten, Licht reflektierenden, Oberfläche betrachtet) (BERLINER, 1934).

### Durchführung der verschiedenen Beleuchtungsmethoden

Vor Beginn der speziellen Beleuchtungsart sollte man die diffuse Beleuchtung nutzen, um das Auge zu lokalisieren und die Oberfläche von Augenlidern, Kornea, Konjunktiva und Iris zu inspizieren. Eine exakte Tiefenlokalisierung ist mit dieser Einstellung allerdings nicht möglich. Doch nicht nur mit dem zirkulären Lichtstrahl kann diese Technik angewandt werden. Auch mit einem breiten Spalt geringer Intensität kann eine diffuse Beleuchtung durchgeführt werden (BERLINER, 1934).

#### a.) Direkte Beleuchtung

##### Direkte diffuse Beleuchtung

Bei der direkten diffusen Beleuchtung wird das Licht über die gesamte Oberfläche geschickt. Meist wird sie bei der Spaltlampenfotografie genutzt, sie ist aber auch so eine große Hilfe, um einen Überblick zu Beginn der Untersuchung zu bekommen. Zur Übersicht ist der Spalt erstmal vollständig zu öffnen, das Mikroskop wird geradeaus gerichtet, das Spaltlicht im Winkel von ca. 45°. Die Lichtintensität sollte möglichst gering gehalten werden, ebenso die Vergrößerung (LEDFORD und SANDERS, 2006). Sind bestimmte Medien des Auges getrübt, so kann, je nach Durchlässigkeit, oft kein optisches Schnittbild erzeugt werden. Dies ist besonders bei der Hornhaut der Fall, die gut mit direkter diffuser Beleuchtung betrachtet werden kann (ZEISS, 2007).

##### Direkte fokale Beleuchtung

Hierauf folgt die Untersuchung mit direkter fokaler Beleuchtung. Sie ist die am häufigsten genutzte Untersuchungsmethode mit der Spaltlampe und wird speziell zur Untersuchung mit Tiefenlokalisierung genutzt. Selbst feine Details der

Kornea können mit dieser Methode (oft in Kombination mit der indirekten Technik) aufgespürt werden (LEDFORD und SANDERS, 2006), die Achsen von Beleuchtungs- und Beobachtungsstrahlengang schneiden sich in dem zu untersuchenden Areal (ZEISS, 2007). Je größer der Winkel zwischen Lichtstrahl und Mikroskop, desto größer die Breite des entstehenden Schnittbildes (LEDFORD und SANDERS, 2006). Zwischen Beleuchtung und Beobachtung sollte ein recht großer Winkel eingestellt werden. Bei verstellbarer Spaltlänge kann diese bei der Untersuchung gering gehalten werden, um den Patienten nicht so stark zu blenden (ZEISS, 2007).

Wird bei geringer Vergrößerung ein breites Spaltlicht auf die Kornea fokussiert, erzeugt dies einen parallelfächigen, optischen Block von illuminiertem Gewebe. Dies gestattet eine Betrachtung der transparenten Medien und ermöglicht die Tiefenlokalisierung von Defekten (BERLINER, 1934).

Hingegen hat der Beleuchtungsstrahlengang bei geringer Spaltbreite und kleinem Öffnungswinkel die Form von zwei Messern, die mit der Schneide aneinander gelegt sind. Bei diesem optischen Schnitt tritt Streulicht auf, dessen Intensität von der Objektstruktur abhängig ist. Je höher die Beleuchtungsstärke des Spalts und der Anteil kurzwelligen Lichts bzw. Farbtemperatur der Lichtquelle, desto höher die Intensität des gestreuten Lichts. Demnach sollte eine gute Lampe eine Lichtquelle mit ausreichend kurzwelligem Licht, also hohem Blauanteil, haben, wie es bei den modernen Halogenlampen (hohe Farbtemperatur) der Fall ist (ZEISS, 2007). Mit einem solch schmalen Spalt kann die Form, Erhabenheit und Dicke der Kornea evaluiert werden (LEDFORD und SANDERS, 2006). Besonders die Tiefenlokalisierung kommt hier zum Zuge. Vergrößerung

und Spaltbreite müssen je nach angestrebter Detaillierkennbarkeit verändert werden. Fremdkörper sind bei schmalen Spalt bzgl. ihrer Tiefe besser zu lokalisieren, Verletzungen hingegen besser bei breiterem Spalt zu untersuchen (ZEISS, 2007).

Bei Verwendung von direkter fokaler Beleuchtung bei schmaler Spaltbreite entsteht durch Richten des Lichtes auf den Limbus eine breite Reflexion, resultierend aus der gekrümmten äußeren Oberfläche der Hornhaut. Dieser Reflex kann genutzt werden, um die Kontinuität des präokularen Tränenfilms und des Hornhautendothels zu beurteilen. Defekte erscheinen als Lücke im linearen Reflex (BERLINER, 1934).

Bei Beleuchtung der Kornea mit dem Spalt wird ein leuchtendes prismatisches Gewebestück sichtbar. Die Kornea kann bei dieser Beleuchtungsmethode detailliert beurteilt werden: die vordere Oberfläche wird als eine breite, scharfe Linie sichtbar (Tränenfilm), darunter eine dunkle Zone (Epithel). Das Epithel muss sehr genau fokussiert werden, denn nur so ist es als blauer Streifen vor dem Parenchym scharf erkennbar. Ein intervenierendes Stroma auffallend als eine weite, diffuse, graue (durchsichtige) Zone und die Hinterfläche als eine breite, scharfe, tiefe Linie (Descemet'sche Membran und Endothel). Ähnlich kann die Linse in drei Dimensionen mit einer scharf konvexen Linie (Vorderkapsel), einer weniger scharfen konkaven Linie (Hinterkapsel) und einer weiten diffusen, grauen Zone dazwischen (Linsenkern, -rinde und -nähte) evaluiert werden (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007).

Die vordere Augenkammer sollte mit breitem Spalt untersucht werden. Sie ist im physiologischen Zustand transparent. Liegen jedoch rote oder weiße Blutzellen oder Proteine vor, werden diese sichtbar und mit schwacher Vergrößerung zeigt sich der Tyndall-Streifen vor dem dunklen Hintergrund der Pupille. Zur Darstellung von Zellen im Kammerwasser ist eine stärkere Vergrößerung nötig (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007; ZEISS, 2007). Für die Darstellung einzelner Partikel in einer Flüssigkeit empfiehlt sich eine punktförmige, zielgerichtete Beleuchtung (kegelförmiger Schnitt). Das Prinzip ist das gleiche wie ein einfallender Sonnenstrahl in einen dunklen Raum, der die Staubpartikel der Raumluft aufdeckt. Dieser Tyndall-Effekt wird am besten durch einen kleinen Punktstrahl (rund oder quadratisch) erzielt. Manche Geräte ermöglichen eine solch starke Verkürzung des Spalts. Z.T. ist diese Option sogar gesondert einstellbar. Die Intensität des Lichts muss maximal sein, die Vergrößerung kann ansteigend angehoben werden. Das Licht ist nun vorerst in einem Winkel auf die Hornhaut im temporalen Pupillenbereich zu richten, sodass er die Iris nasal der Pupille trifft. Dann wird zwischen Linse und Hornhautendothel fokussiert. Durch leichte Veränderungen des Fokus kann jetzt die gesamte vordere Augenkammer durchsucht werden. Bei Entzündungen fallen dabei möglicherweise Entzündungszellen und Trübungsreflexe (oder Strahlen, Proteinteilchen) im Kammerwasser auf. Durch Spielen mit der Lichtquelle können die Zellen eventuell genauer lokalisiert werden. Am einfachsten ist die punktförmige Beleuchtung bei nicht weit gestellter Pupille durchzuführen (LEDFOORD und SANDERS, 2006).

Hingegen ergibt die Betrachtung nichttransparenter Abschnitte wie der Iris nur ein vergrößertes, 2-dimensionales Bild (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007). Diese Strukturen werden mit tangentialer Beleuchtung untersucht.

Wird Licht direkt auf ein Objekt gerichtet, erscheint die Ansicht eher flach. Aber tangential gerichtetes Licht, projiziert von einem schrägen Winkel, ermöglicht Schattenbildungen und Aufleuchten von unregelmäßigen Oberflächenstrukturen. Der mittelweite Spalt wird dabei in schrägem Winkel so eingestellt, dass er fast parallel zur Struktur, die begutachtet werden soll, verläuft. Das Mikroskop ist dabei gerade gerichtet. Der Spalt streift infolgedessen tangential die Hornhaut, Iris oder Linsenoberfläche (DEWART, 1992; LEDFORD und SANDERS, 2006).

Insgesamt wird dem Betrachter bei verschmälertem und intensiviertem Spaltlicht zur Erzeugung eines 2-dimensionalen Schnittbilds (sog. optischer Schnitt der Hornhaut und der Linse) eine akkurate, determinierte Bestimmung der Tiefenlokalisierung und Achsenlokalisierung von Defekten gestattet. Je dünner der Spalt, desto besser definiert und desto genauer ist die Tiefenlokalisierung einer Läsion. Der entstandene optische Schnitt, analog zu histologischen Serienschnitten, ist von großer Bedeutung (BERLINER, 1934).

### Spiegelnde Reflexionen

Spiegelreflexe kommen in Fällen von unvollständig reflektierten Oberflächen vor. Z.B. erzeugt ein idealer Spiegel keine Spiegelreflexe, da er das Licht nicht streut (LEDFORD und SANDERS, 2006). Die Methode der Spiegelreflexion wird genutzt, um die Intaktheit der Hornhaut- und der Linsenoberfläche zu beurteilen. Bei glatter Oberfläche erscheinen die Reflektierungen bzw. Spiegelungen auch glatt und ebenmäßig, bei defekter und rauer Oberfläche gleichermaßen irregulär und strukturiert. Am häufigsten wird diese Methode zur Bewertung der allgemeinen Beschaffenheit des Korneaendothels genutzt. Dafür wird die Lichtquelle in einem 30°-Winkel zur einen, das Mikroskop in einem 30°-Winkel zur anderen Seite positioniert (der Winkel des Mikroskops zu dem der Lichtquelle

muss ihm entsprechen und entgegengesetzt sein). Zur Sichtbarmachung des Endothels muss mit geringer Vergrößerung begonnen werden. Ein relativ enger Spalt wird auf die Hornhaut gerichtet, sodass der Betrachter von der Lichtreflexion geblendet wird. Darauf folgend wird das Licht leicht seitlich bewegt, wobei auf die daran angrenzenden Reflexionen der Endotheloberfläche zu achten ist. Anschließend kann die Vergrößerung maximiert und durch Verminderung des Lichts störendes Blenden minimiert werden. Die Verbreiterung des Spalts kann außerdem das Sichtfeld erweitern, bewirkt allerdings einen Kontrastverlust. Am einfachsten ist das Endothel mit einem Okular zu begutachten. Die Technik erfordert grundsätzlich Übung, Geschick und viel Geduld. Die Endothelzellen sind nicht sehr kontrastreich, sodass viel Erfahrung von Nöten ist (DEWART, 1992; LEDFORD und SANDERS, 2006).

#### b.) Retroillumination (indirekte Beleuchtung)

Bei der direkten und indirekten Retroillumination wird Licht neben dem zu untersuchenden Bereich ins Auge auf ein nicht involviertes Areal geschickt, sodass sich die Achsen von Beobachtungsstrahlengang und Beleuchtungsstrahlengang nicht an der Stelle der scharfen Abbildung schneiden. Es kommt zur Reflexion des Spaltlichts von tieferen Strukturen, wobei gleichzeitig mehr oberflächliche Strukturen fokussiert werden müssen. Durch Herausschwenken des Beleuchtungsprismas aus seiner Normallage hellt so das reflektierte, indirekte Licht die zu untersuchenden Gebiete auf (ZEISS, 2007). Diese Technik ermöglicht das Aufspüren von Trübungen der Kornea, vorderen Augenkammer, Linse und Glaskörper, da diese den zurückkehrenden Lichtstrahl reflektieren, refraktieren oder abschirmen (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007). Beispielsweise können Hornhauttrübungen (durch Ödeme, Infiltrate, Gefäße, Fremdkörper) besonders gut durch reflektiertes Licht von der Iris beurteilt werden. Zur Betrachtung

tung von Veränderungen der Linse eignet sich reflektiertes Licht der hinteren Linsenoberfläche oder vom Fundus (LEDFORD und SANDERS, 2006).

#### Direkte Retroillumination

Bei direkter Retroillumination wird das Licht direkt an Flächen reflektiert (z.B. an der Iris, der Linse oder dem Fundus). Sie wird durchgeführt, indem man das Licht bei mittlerem bis engem Spalt neben dem zu untersuchenden Bereich ins Auge schickt. Somit schneiden sich die Achsen von Beleuchtungs- und Beobachtungsstrahlengang nicht an der Stelle der scharfen Abbildung und das Beleuchtungsprisma wird um seine vertikale Achse aus der Normallage leicht herausgeschwenkt. Dabei hellt das reflektierte, indirekte Licht das zu untersuchende Gebiet der vorderen Augenkammer und der Kornea auf. Werden die Zielobjekte in den Weg des reflektierten Lichtes platziert, so erscheinen (abhängig von der Dichte der abnormalen Struktur) trübe Läsionen dunkel vor einem hellen Hintergrund und transparente Läsionen wirken hell und klar vor einem dunklen Hof (BERLINER, 1934; OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007; LEDFORD und SANDERS, 2006). Um eine effektive Technik zu ermöglichen, sollte der Lichtstrahl besser hinter die pathologische Struktur geführt werden, als diese zu streifen (LEDFORD und SANDERS, 2006).

#### Indirekte Retroillumination

Bei indirekter Retroillumination wird das Licht diffus an allen streuenden Medien und Flächen von vorderem und hinterem Augenbereich reflektiert. Sie ermöglicht eine verbesserte Erkennung transparenter Läsionen dadurch, dass man sich die Unterschiede zwischen ihren Brechungsindizes und derer des umgebenden Gewebes zu Nutzen macht. Läsionen werden gegen einen dunkleren Hintergrund beobachtet, da das reflektierte Licht von den Zielobjekten weg gerichtet

wird (BERLINER, 1934). Die Beleuchtung entspricht im Ganzen der direkten Retroillumination, jedoch wird der Lichtstrahl auf einen Irisbereich gerichtet, der an den hinter der pathologischen Veränderung liegenden Irisanteil angrenzt. Dies bewirkt einen dunklen Hintergrund, vor dem Hornhauttrübungen mit mehr Kontrast gemustert werden können (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Unter Verwendung der direkten Beleuchtung und der Retroillumination können drei Basistypen von Läsionen festgelegt werden:

- 1.) obstruktive Läsionen (das Licht abblockend) wie Pigment, Blutgerinnsel, Narbengewebe, Katarakttrübungen und Gewebemassen
- 2.) lichtdurchlässige Läsionen (Licht kommt noch hindurch, wird aber gestreut) wie Hornhautödeme, -präzipitate, Fibrin, milde Katarakt und dünne Narben
- 3.) lichtbrechende Läsionen (das Licht tritt ungehindert durch die Läsion, wird aber gestreut) wie Linsenvakuolen, Linsenfältchen, verzerrter Tränenfilm und Hornhautblasen (BERLINER, 1934).

#### Sklerokorneale Beleuchtung

Eine Möglichkeit zur genaueren Betrachtung der Hornhaut ist die sklerokorneale Beleuchtung. Dazu wird bei geringer bis mittlerer Vergrößerung der Lichtstrahl am peripheren Limbusbereich auf die Sklera gerichtet, wobei das Licht in einem möglichst geringen Winkel eintreffen soll. Es kommt zur Totalreflexion und das Licht durchläuft das Hornhautparenchym, während die Grenzen der Hornhaut aufleuchten. Bestehen keine Auffälligkeiten der Hornhaut, so wirkt sie bei dieser Beleuchtung klar und gleichmäßig transparent. Bei Veränderungen wie z.B. Trübungen, Narben, Fremdkörpern etc. wird das losgeschickte Licht an den Veränderungen gestreut, die veränderten Strukturen leuchten vermehrt oder bilden

Schatten. Dies ermöglicht eine genaue Lokalisierung von Defekten sowie auch das Aufspüren von schwer erkennbaren Veränderungen der Hornhaut wie geringgradigen Trübungen (DEWART, 1992; ZEISS, 2007).

#### Retroillumination durch den Fundus

Bei dieser Technik wird nach verminderter Durchsichtigkeit und Trübungen gesucht. Der Lichtstrahl wird so ausgerichtet, dass er den Fundus berührt und einen Reflex hinter der abnormen Struktur erzeugt. Der Defekt erzeugt einen Schatten innerhalb des Reflexstrahls. Das Licht wird mittelstark eingestellt und die Pupille sollte in dilatiertem Zustand sein. Spaltlicht und Mikroskop sollten fast koaxial gerichtet sein und eine möglichst weite Entfernung der Durchtrittsfläche der Beleuchtung vom zu untersuchenden Objekt gewählt werden. Nur so wirkt das Streulicht der umgebenden Bereiche nicht störend (LEDFORD und SANDERS, 2006; ZEISS, 2007). Die Größe des Lichtstrahls sollte den Pupillendurchmesser nicht überschreiten, um störende Reflexe von der Iris zu vermeiden. Das Mikroskop wird bei geringer bis mittlerer Vergrößerung auf die veränderte Struktur fokussiert. Trübungen erscheinen somit silhouettenartig (LEDFORD und SANDERS, 2006) und z.B. Vakuolen oder Pigmentierungen der Linse sowie Strukturen der Iris sind mit dieser Methode gut zu erkennen (ZEISS, 2007).

#### Transillumination

Bei der Transillumination wird eine Struktur des Auges danach beurteilt, wie das Licht durch sie hindurch tritt. Die Iristransillumination nimmt den Vorteil des Rotreflexes wahr. Bei Pupillenstellung in Mydriasis wird die Lichtquelle koaxial mit dem Mikroskop ausgerichtet. Bei geringer bis mittlerer Vergrößerung und kreisförmigem Lichtstrahl in Pupillengröße wird das Licht durch die Pupille hindurch ins Augeninnere projiziert. Fällt das Licht auf die Iris, wird die Sicht minimiert. Mit dem Mikroskop wird die Iris fokussiert (LEDFORD und SANDERS, 2006).

### Betrachtung des Fundus mit dem Spaltlicht

Zur direkten Betrachtung des Fundus ist eine Spaltlampe ohne Hilfsmittel wegen der Einwirkung der Brechkraft der Vielzahl an zu durchdringenden Medien nicht ausreichend. Der Fernpunkt des Auges wird in zu großem Abstand vor oder hinter das Auge verschoben, sodass die Schärfenebene des Mikroskops nicht an denselben Ort verbracht werden kann. Demzufolge ist eine zusätzliche Optik als Hilfsmittel notwendig. In Form einer Linse kann durch diese der Fernpunkt wieder in den Fokussierbereich des Mikroskops zurückverlagert werden. Möglich sind Konkav- und Konvexoptiken (ZEISS, 2007).

#### **2.2.1.5 Mögliches Zubehör**

Neben ihrer eigentlichen Funktion ist die Spaltlampenmikroskopie eine wertvolle Methode zur Messung der Hornhautdicke (Pachymetrie), der Tiefe der vorderen Augenkammer und der Kammerwassertrübung. Durch Verwendung von direkten und indirekten Goniolinsen kann man mit der Spaltlampenmikroskopie einen vergrößerten und dreidimensionalen Blick auf den iridokornealen Winkel und die Ziliarkluft erhalten (LEDFORD und SANDERS, 2006; SCHMIDT, 1975).

Auch spezielle Kontakt- und berührungsfreie Linsen sind für eine Kombination mit der Spaltlampenbiomikroskopie erhältlich. Auf diese Weise erhält man eine Visualisierung des Glaskörperaums, des Ziliarkörpers und des Fundus inklusive des Sehnervs (LEDFORD und SANDERS, 2006). Beispiele für diese Art von Linsen sind die GOLDMANN3-, Hruby- und Rosen-Linsen (SCHMIDT, 1975). Weiterhin können tischmontierte Modelle mit einem Tonometer gekoppelt sein (LEDFORD und SANDERS, 2006).

### 2.2.1.6 Befunddokumentation

#### Protokoll und Dokumentation

Für eine vollständige und korrekte Spaltlampenuntersuchung ist es sinnvoll, ein eigenes Spaltlampenuntersuchungsprotokoll zu entwickeln, welches immer gleichermaßen bei jedem Patienten durchgeführt wird. Somit erreicht man, dass möglichst nichts übersehen oder vergessen wird und ein qualitativ gutes Untersuchungsprotokoll für jeden Patienten sichergestellt ist. Natürlich kann individuell das Protokoll geändert werden, sofern der Patient bzw. die Situation dies fordert. Die Dokumentation ist der letzte Schritt der Spaltlampenuntersuchung, aber von hoher Wichtigkeit. Alle Ergebnisse sollten aufgeschrieben werden, selbst wenn sie dem Normalbefund entsprechen. Alles, was nicht notiert wurde, gilt prinzipiell als nicht untersucht. Nur wenn alle wichtigen Strukturen akkurat und leserlich in der Patientenakte notiert werden, kann dies den Untersucher unter Umständen auch vor einer Klage bewahren.

Beim Notieren ist weiterhin zweckmäßig, nur Befunde zu dokumentieren, keine Diagnosen. Werden bestimmte Abnormalitäten erwartet, die jedoch nicht erkennbar sind, sollten sie schriftlich erwähnt und als nicht aufgefunden notiert werden. Sollten Abkürzungen verwendet werden, ist es wertvoll, wenn diese standardisiert und deren Bedeutung an anderer Stelle hinzugefügt werden (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Das folgende Spaltlampenuntersuchungsprotokoll zeigt, bei welcher Einstellung der Spaltlampe die einzelnen Augenabschnitte bestmöglich untersucht werden können:

**Tab. 1: Spaltlampenuntersuchungsprotokoll (LEDFOORD und SANDERS, 2006)**

Spaltlampenuntersuchungsprotokoll				
Empfohlene Einstellungen			Untersuchte Struktur	Untersuchung auf:
Vergrößerung	Spaltbreite	Position, Filter		
10-fach	2-4mm	Von temporal nach nasal schwenkend	Augenlider	Blepharospasmus, Kolobome, Ödeme, Schwellung, Rötungen, Wimpern, Lidschluss, -schlag, Lidposition, Einkerbungen (Narben), Trauma
10- bis 16-fach	2mm	Von temporal nach nasal schwenkend	Konjunktiva, Sklera, Episklera	Wimpernschlag, Farbe, Trockenheit, Ödem, Chemosis, Follikel, Fremdkörper, Gefäße, Trauma, subkonjunkt. Blutungen
10- bis 16-fach	2mm	Von temporal nach nasal schwenkend	Tränenfilm	Aufbruch-Zeit, Ablagerungen, Abfluss, Epiphora
	2mm	Von temporal nach nasal schwenkend	Kornea	Abrasion, Dellen, Arcus senilis, Ödeme, Trübungen, Fremdkörper, Geistergefäße, Infiltrate, endotheliale Präzipitate, Keratopathie, Pannus, Narben, Schlieren, Falten, Ulzera, Vaskularisation

		Blaufilter	Anfärbung der Kornea	Abrasionen, Dendriten, angefärbte Bereiche, Tränenfilm, Ulzera
16-fach	1mm	Weißer Filter, ca. 45°-Winkel	Temporaler Winkel	Tiefe der vorderen Augenkammer, Winkelgrad des Kammerwinkels
		ca. 45°-Winkel	Nasaler Winkel	
	1-2mm	Von temporal nach nasal schwenkend	Vordere Augenkammer	Hyphaema, Hypopyon, Glaskörper, Zellen, Kammerwassertrübung
	2mm	Von temporal nach nasal schwenkend	Iris, Pupille	Atrophie, Kolobom, Irisabtrennung, Irisbewegung, Iris naevus, Irisgefäße, normale Irisgefäße, Pigmentierungen, Pupillenreaktion, Pupillenform, Rubeosis, Synechien
	2mm	Von temporal nach nasal schwenkend	Linse	Radspeichen, Kernsklerose, Trübungen, hintere subkapsuläre Katarakt, Subluxationen, Vakuolen, Kapseltrübung, Lokalisation, Position, Präzipitate
		Von temporal nach nasal schwenkend	Vorderer Glaskörper	Trübungen

## **2.3 Befunde bei der Spaltlampenuntersuchung**

### **2.3.1 Befunde der äußeren Augenstrukturen**

#### **2.3.1.1 Tränenfilm**

Der Tränenfilm, bestehend aus der Muzinschicht, der wässrigen Schicht und der Lipidschicht, wird von verschiedenen Drüsen produziert. Die drei Schichten sind nicht einzeln identifizierbar, sofern sie zu korrekten Anteilen vorliegen. Bei jedem Lidschlag wird Tränenflüssigkeit über die Hornhaut verteilt. Dieser Vorgang kann mit der Spaltlampe beobachtet werden. Mit den Färbemitteln Bengal-Rosa und Fluoreszein können bei eingeschwenktem Kobaltblau-Filter die Zellen der Muzinschicht wie auch die Stabilität des Tränenfilms beurteilt werden. Um zu verhindern, dass es durch die Hitze des Lichts der Lampe zur Verdunstung des Tränenfilms kommt, sollte nur ein ganz schmaler Spalt eingestellt werden. Weiterhin kann zur Beurteilung die Zeit gemessen werden, bis der Tränenfilm aufreißt („break up time“). Am menschlichen Auge sind dies im gesunden Zustand mindestens 15 Sekunden (LEDFORD und SANDERS, 2006). Bei Störungen des tränenabführenden Systems wie z.B. bei angeborenen oder erworbenen Anomalien, bei gestörter Lidfunktion oder bei abnormer Bulbusgröße kann eine gestörte Exkretion oder Epiphora, ein überschüssiger Tränenfluss vorhanden sein (GERHARDS und WOLLANKE, 2001). Auch purulenter Ausfluss sollte bei der Untersuchung immer vermerkt werden (LEDFORD und SANDERS, 2006).

#### **2.3.1.2 Konjunktiva, Sklera und Episklera**

Die Episklera liegt zwischen der Konjunktiva bulbi und der Sklera und besteht aus dünnem Bindegewebe, welches Blutgefäße zur Ernährung der Sklera ent-

hält. Im Gegensatz zur Konjunktiva liegen ihre Blutgefäße tiefer und sind nicht verschieblich. Die Episklera besteht aus einer oberflächlichen Schicht, die als parietale Schicht der Tenonschen Kapsel unter dem konjunktivalen Stroma liegt, sowie einer mit der mit der Sklera verbundenen tiefen Schicht, der viszeralen Schicht der Tenonschen Kapsel (BARNETT et al., 1998). Sie setzt sich aus gespanntem, elastischem und knorpelähnlichem Gewebe zusammen. Die Sklera besteht aus demselben Gewebetyp wie die Hornhaut. Auch sie ist avaskulär. Die Fasern der Sklera sind irregulär angeordnet. Darüber hinaus ist die Sklera ein hydratisiertes Gewebe. Aus diesen Gründen ist die Sklera opak, also blickdicht, und die Hornhaut klar und durchsichtig. Gerät die Sklera in einen dehydrierten Zustand, so wird sie klar. Im gesunden Auge können Abweichungen von der eigentlich weißen Sklera bestehen, z.B. können Pigmentflecken vorhanden sein (LEDFOORD und SANDERS, 2006).

Zusätzlich ist die Konjunktiva hinsichtlich möglicher Zysten, die als kleine, flüssigkeitsgefüllte und transluzente Bläschen erscheinen, genau zu betrachten. Diese können vor allem bei einer Konjunktivitis lokal in limbusnahen Entzündungsbereichen zu finden sein. Bei Viruserkrankungen ist z.T. auch mit Follikeln, die als glatte Erhabenheiten erkennbar sind, als Entzündungszeichen zu rechnen. Follikel besitzen im Gegensatz zu Papillae, die als Hinweis auf Infektionen oder Allergien gelten, keine Blutgefäße im Zentrum. Subkonjunktival auftretende Blutungen, Fremdkörper in oder auf der Konjunktiva sowie dortige Verletzungen sollten immer vermerkt werden. In diesen und anderen Zusammenhängen kommt möglicherweise auch eine vermehrte Lidschwellung, eine sog. Chemosis zum Vorschein, die sich als eine blasenartige Abhebung der Konjunktiva von der Lederhaut darstellt (BARNETT et al., 1998; LEDFOORD und SANDERS, 2006).

Prominent auftretende, einzelne rote Blutgefäße der Konjunktiva oder der Sklera oder limbale Injektionen bzw. Hyperämie sind möglichst mit Stärkegrad anzugeben (LEDFORD und SANDERS, 2006).

### **2.3.1.3 Limbus**

Der Limbus ist eine semitransparente Zone, die den Übergang zwischen Sklera und Kornea repräsentiert. Mit der Spaltlampe können am Limbus möglicherweise feine Blutgefäße gesehen werden, die in die Kornea verlaufen (LEDFORD und SANDERS, 2006). Durch die unregelmäßige Anordnung des stromalen Sklerakollagens wird eine Streuung des Lichtes verursacht. Dies lässt die weiße Farbe der Sklera entstehen (BARNETT et al., 1998).

### **2.3.1.4 Kornea**

Die Spaltlampe wurde ursprünglich zur Untersuchung der Hornhaut entwickelt. Die Hornhaut ist eine gebogene, transparente Struktur. Wird sie von vorne beleuchtet, erscheint sie glänzend und glatt. Strahlt man sie seitlich an, so werden Risse, Vertiefungen oder andere Unebenheiten sichtbar. Die Beleuchtung aus einem seitlichen Winkel wird durch die Betrachtung mit der Spaltlampe ermöglicht. Zur Untersuchung ist ein schmaler Spalt bei maximaler Höhe aus einem 45°-Winkel zu nutzen. Auch sollte bei der Untersuchung die Lampe mit dem Mikroskop in gleiche Richtung gestellt werden, sodass der Lichtstrahl gerade ins Auge einfällt. Dadurch wird das Licht von der Linse reflektiert und strahlt von hinten auf die Hornhaut, sodass diese erleuchtet wird. Unabhängig von der Lichtrichtung sollte die Hornhaut glatt und klar erscheinen. Zur schnellen Überprüfung der Hornhaut reicht eine 6- bis 10-fache Vergrößerung möglicherweise aus, zur genauen Betrachtung sollte mindestens 16-fach vergrößert werden (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Zur Beurteilung der Dicke ist zu berücksichtigen, dass die Hornhautdicke beim Pferd bzgl. Größe und Zucht des Tieres sowie auch individuell variiert (SAMUELSON, 2007) und sie durchschnittlich peripher 1-1,5mm und zentral 0,8mm beträgt (BARNETT et al., 1998; GERHARDS und WOLLANKE, 2001). Um die Dicke zwischen Peripherie und Zentrum mit der Spaltlampe zu vergleichen, empfiehlt es sich, eine sehr schmale Spaltbreite zu verwenden. Da die Hornhaut steiler geformt ist als der Augapfel selber, ragt sie etwas kuppelartig hervor. Die verschiedenen Schichten der Hornhaut reagieren in Hinsicht auf ihre Reflexion unterschiedlich. Die Descemetsche Membran reflektiert ggr. stärker als das Stroma und erscheint deshalb breiter, als sie in Wirklichkeit ist. Epithel und Endothel wirken ein wenig dunkler als das Stroma (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Insgesamt sollte die Kornea im physiologischen Zustand komplett klar mit einer glatten, glänzenden und vom Tränenfilm überzogenen Oberfläche erscheinen. Die einzelnen Schichten lassen sich mit der Spaltlampe bei genauer Betrachtung relativ gut gegeneinander abgrenzen. Besonders hilfreich ist dies zur Klassifizierung von Keratitiden. Eine Einteilung in eine Keratitis superficialis, bei der das Epithel und das angrenzende subepitheliale Stroma betroffen sind, eine Keratitis interstitialis, die hauptsächlich die Descemetsche Membran und das Stroma betrifft, sowie die Keratitis profunda, bei der das Epithel und in unterschiedlicher Tiefe das Stroma bis hin zur Descemetschen Membran betroffen sind (BARNETT et al., 1998), wird durch die Untersuchung mit der Spaltlampe ermöglicht. Individuelle Zellen sind so jedoch nicht wahrnehmbar (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Zur Bewertung des Epithels auf seine Intaktheit wird eine Fluoreszein-Anfärbung bei Verwendung eines Kobaltblau-Filters zur Betrachtung benutzt. Bestehen keine Defekte im Epithel, so verteilt sich das Fluoreszein gleichmäßig über die Hornhautoberfläche. Um tote oder geschädigte Zellen des Epithels aufzuspielen, kann Bengal-Rosa nützlich sein (GERHARDS und WOLLANKE, 2001). Eine gesunde Hornhaut zeigt auch hier keine Anfärbung. Das Epithel kann sich i.d.R. selbst regenerieren und vernarbt deshalb nicht. Die Basalmembran, auf der das Epithel sitzt, ist so fein, dass sie mittels Spaltlampenuntersuchung kaum separat erkannt werden kann. Bei Beleuchtung mit dünnem Spalt aus einem 45°-Winkel erscheint die Basalmembran als eine dünne helle Linie unter dem dunkleren Epithel (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Das Stroma macht den Hauptanteil der Hornhaut aus. Manchmal kann ein weißes feines fadenförmiges Filament im Stroma entdeckt werden, das sich radial vom Limbus Richtung Zentrum erstreckt, dieses aber nicht erreicht. Dies sind Nervenfasern (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Die Descemetische Membran ist eine dünne elastische Schicht, die durch den inneren Augendruck gespannt bleibt. Im physiologischen Zustand ist die Descemetische Membran mit der Spaltlampe nicht wahrnehmbar. Ist ihr normaler Funktionszustand gestört, verliert die Membran ihre Spannung und erscheint mit runzligem Relief (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Das Endothel hat die Dicke einer einzelnen Zelllage und sollte glatt und klar sein. Zur Betrachtung wird ein Lichtstrahl moderater Breite auf die Hornhaut gerichtet (mind. 55°-Winkel), sodass die Lichtreflexionen des Epithels den Betrachter

blenden. Darauf wird das Licht ein wenig zur Seite geführt und der Blick direkt daneben auf die Reflexion der endothelialen Oberfläche gerichtet. Im Idealfall können bei starker Vergrößerung die Zellgebilde gesehen werden (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Zur Dokumentation von Hornhautbefunden empfehlen mehrere Autoren die Zeichnung von Befunden per Hand (LEDFORD und SANDERS, 2006). Von WARING und LAIBSON wird in der Humanmedizin ein Farbschema verwandt. Hiernach ist z.B. bei einer Blaufärbung auf ödematöse Veränderungen zu achten. Stehen diese in Zusammenhang mit kleinen Zirkeln, könnte dies auf ein Ödem im Epithelbereich hinweisen. Wellige Linien deuten auf Descemetische Falten hin. Braune Färbung ist ein Hinweis auf Pigment oder Iris bzw. Irisresiduen. Gelbe Farbgebungen sind bezeichnend für Infiltrate oder ein Hypopyon. Auch Präzipitate können gelblich gefärbt sein. Zusätzlich kann eine Einteilung zur Lokalisation der Hornhautbefunde vorgenommen werden. Nach Josephson und Caffery empfiehlt sich am menschlichen Auge eine Einteilung in fünf Zonen. Zone 1 beinhaltet das Zentrum. Die peripheren Bereiche werden auf 1.30Uhr, 4.30Uhr, 7.30Uhr und 10.30Uhr in die Zonen 2 bis 5 eingeteilt. Die superiore Portion wird dann als Zone 2 bezeichnet, die weiteren Zonen schließen sich im Uhrzeigersinn an (WARING und LAIBSON, 1977).

Als Untersuchungsbefunde der Hornhaut kommen z.B. Veränderungen im Oberflächenrelief in Frage. Abrasionen lassen sich mit Fluoreszein anfärben. Auch in Dellen bzw. Einsenkungen der Hornhaut nahe dem Limbus kann sich Fluoreszein ansammeln. Färbt sich die Kornea mit Fluoreszein an, so kann dies in verschiedenen Formen passieren. Abrasionen als verletzte Bereiche der Horn-

haut färben sich meist als lineare Kratzer oder größere Flächen mit irregulärer Begrenzung an. Baumartig wie Dendriten verzweigte, angefärbte Abschnitte sind als ein Zeichen für eine Herpesinfektion anzusehen. Bei einer virusbedingten Keratitis punctata oder einer Keratitis maculosa als mögliche Folge einer ulzerativen Viruskeratitis durchqueren sie als oberflächliche Gefäße die Läsion (BARNETT et al., 1998). Punktförmige epitheliale Erosionen oder oberflächliche Keratitiden weisen hingegen nur kleine anfärbbare Punkte auf. Bestehen Ulzera, färben diese sich als rundliche Flächen an und weisen oft auf Infektion mit Viren, Bakterien oder Pilzen hin. Eventuell sind sie von Infiltraten umgeben (LEDFORD und SANDERS, 2006). Eine ulzerative Keratitis zeigt sich meist scharf begrenzt und die Veränderungen reichen bis ins Hornhautstroma.

Ödeme kommen beim Pferd sowohl als primäres Ödem, bedingt durch eine funktionelle Anomalie des Endothels, als auch als sekundäres Ödem vor. Keratitiden gehen mit sekundären Ödemen perivaskulärer epithelialer Form einher. In lokaler Form im vorderen Stroma zeigen sie sich nach Epithelverletzung und in lokaler oder generalisierter Form im Stroma bei Erkrankungen wie Glaukom, vorderer Uveitis, Hyphaema, vorderen Synechien, Irismelanomen u. a. (BARNETT et al., 1998). Ödeme der Hornhaut sind am ehesten mit einem schmalen Spalt sichtbar. Die Schnittfläche zeigt sich dann dicker als gewöhnlich und es können oberflächlich Blasen oder Falten auftauchen. Die Hornhaut bekommt insgesamt durch das Ödem ein wolkig trübes Aussehen und verliert ihre Transparenz (LEDFORD, 2006).

In der Hornhaut können dünne (oberflächlich verlaufende) oder dicke (tiefe) Gefäße vorkommen. Bereits zurückgebildete Gefäße in der Hornhaut sind oft nicht mehr blutgefüllt und werden als „Geistergefäße“ bezeichnet (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Hornhautatrophien, die sich durch Trübungen des hinteren Stromabereichs und auch Einfaltungen der Descemetischen Membran äußern, sind beim Pferd als postuveitische Zustände zu finden (BARNETT et al., 1998). Die Einfaltungen der Descemetischen Membran laufen meist als nicht ödematöse, strahlenförmige Trübung im hinteren Bereich des Stromas.

Eine Hornhautdystrophie stellt sich als körnige Struktur an der Rückfläche der Kornea dar, ähnlich einem Fingerabdruck auf einem Tesafilmstreifen oder einer trüben Glasscheibe. Das Endothel ist durch die Trübung nicht mehr erkennbar.

Subepitheliale Infiltrate der Hornhaut befinden sich oft weißlich wolkig um ein Ulkus oder einen Fremdkörper herum. Dies sind in Wirklichkeit weiße Blutzellen, die zur Bekämpfung der Infektion in die Hornhaut vorgedrungen sind. Ist eine Anfärbung nicht möglich, spricht man nicht von einer Infektion, sondern von einem sterilen Ulkus (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Als weiß-gelbe glänzende Flecken unterschiedlicher Form oder als feine staubartige Partikel auf der Hornhaurückfläche zeigen sich endotheliale Auflagerungen, Präzipitate. Schon Alfred VOGT beschrieb Präzipitate, z.B. bei Keratitis parenchymatosa circumscripta hinter einer Fremdkörper bedingten Trübung (VOGT, 1920a). Oft zeigen sich Präzipitate in Zusammenhang mit einer Iritis

oder Uveitis als Entzündungszeichen und verschwinden mit dem Rückgang der Entzündung wieder. In seltenen Fällen können sie, brauner und kaum glänzend, bestehen bleiben.

Mit Blutgefäßen durchzogene fibröse Areale, die sich vom Limbus auf die Kornea ausbreiten, werden als Pannus bezeichnet. Eine Vaskularisation sollte bei Einwachsen abnormer Blutgefäße in die Hornhaut genauer untersucht werden. Physiologisch bestehen am Limbus Gefäße, die spiralig in die Konjunktiva zurück umschlagen. Unphysiologische Gefäße verzweigen sich hingegen und erstrecken sich weiter in die Hornhaut hinein (LEDFORD und SANDERS, 2006).

### **2.3.2 Befunde der vorderen Augensegmente**

Als vordere Augensegmente werden die Strukturen des Augeninneren vor der Linse angesehen (LEDFORD und SANDERS, 2006).

#### **2.3.2.1 Vordere Augenkammer, Kammerwasser und Kammerwinkel**

Die vordere Augenkammer ist mit einer klaren Flüssigkeit, dem Kammerwasser, gefüllt. Optisch betrachtet ist die vordere Augenkammer daher leer. Das Kammerwasser wird kontinuierlich produziert und entsorgt. Dies geschieht im Bereich des Kammerwinkels, an dem die Rückfläche der Hornhaut auf die Iriswurzeln trifft. Durch den ständigen Zu- und Abfluss wird der Augeninnendruck (IOP) konstant aufrechterhalten. Er kann mittels eines Tonometers (z.T. an Spaltlampe angebracht erhältlich) gemessen werden und sollte beim gesunden Pferd bei ca. 25 (19-38)mmHg liegen (STEIFF, 1997; BARNETT et al., 1998; TOTH und HOLLERRIEDER, 2004; MEYER-LINDENBERG, 2006). Vor allem in der Human- und Kleintiermedizin ist in dieser Hinsicht die Tiefe der vorderen

Augenkammer klinisch von großer Bedeutung. Bei einer flachen vorderen Augenkammer kann eine weitgestellte Iris zu einer Verlegung des Kammerwinkels führen, wodurch die Drainage des Kammerwassers bei gleichzeitig weiter bestehender Produktion eingeschränkt wird und dies dadurch eine Druckerhöhung zur Folge hat. Diese Druckerhöhung führt wiederum zu einem Hornhautödem, das die Hornhaut trüb erscheinen lässt und dem Tier eine vernebelte Sicht und Schmerzen bereitet, sowie evtl. in einer Schädigung des Sehnervs resultiert. Die Wahrscheinlichkeit dieses als Winkelblockglaukom bezeichneten Ablaufs ist abhängig von der Tiefe der vorderen Augenkammer. Bei recht tiefer vorderer Augenkammer ist ein Verschluss des Kammerwinkels durch eine Mydriasis unwahrscheinlich (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Diesen Erkenntnissen zufolge ist die Einschätzung der Kammertiefe ein wichtiger Aspekt der Spaltlampenuntersuchung (LEDFORD und SANDERS, 2006). In der Humanmedizin wird nach VAN HERICK's Methode zur Evaluierung der Kammertiefe die Spaltlampe so eingestellt, dass das Licht am temporalen Limbus in einem Winkel von ca.  $60^\circ$  auf die periphere Hornhaut einfällt. Daraus ergibt sich ein Spaltbild auf der Kornea, dessen Breite als Referenz zur Beurteilung der Verhältnisse im Kammerwinkel genutzt wird. Die VAN HERICK Methode eignet sich gut zur Schätzung des Kammerwinkels und ist mit der Spaltlampe relativ schnell und unkompliziert durchführbar (VAN HERICK, SHAFFER und SCHWARTZ, 1969; BONOMI, 1997).

Eine weitere Methode, bei der die Spaltlampe zur Beurteilung der Kammertiefe dient, ist die Ermittlung der zentralen Vorderkammertiefe mit horizontal eingestelltem Lichtspalt. Die 1979 von SMITH beschriebene Methode basiert auf

der Projektion eines horizontalen Lichtspalts auf das zu untersuchende Auge, sodass die beiden auf der Kornea und der Iris bzw. Linse entstehenden Spaltbilder durch Variation der Spalllänge in eine bestimmte Koinzidenz zueinander gebracht werden. Auch diese Methode ist mit einer Spaltlampe schnell und problemlos durchführbar und liefert recht genaue und reproduzierbare Ergebnisse (SMITH, 1979).

In der Humanmedizin besteht nach heutigem Stand die zusätzliche Option, die vorderen Augenabschnitte mit der Scheimpflug-Fotografie zu vermessen. Zur Dokumentation und Vermessung der Lichtstreuung im Auge wurden vier verschiedene Spezialkameras nach dem Scheimpflugschen Abbildungsprinzip entwickelt. Sie lieferten reproduzierbare Dokumentation und Bildauswertung und stellen ein überlegenes Verfahren zur objektiven Vermessung vorderer Augenabschnitte, vor allem zur Beurteilung von Altersveränderungen von Hornhaut und Linse dar (WEGENER und LASER, 2001).

Beim Pferd wurden 2004 erstmals sonographische Messungen des Kammerwinkels durchgeführt. Der klinische Nutzen der Bestimmung des Winkels liegt in der Humanmedizin vor allem in der therapeutischen Verlaufsbeurteilung (PAVLIN und FOSTER, 1995; ROTERS, 2001), in der Pferdemedizin ist dieser Nutzen jedoch noch ungeklärt (CRONAU, 2004).

Neben der Kammertiefe können weitere Befunde der vorderen Augenkammer mittels Spaltlampe erkannt werden. Alfred VOGT unterschied 1930 bei entzündlichen Prozessen zwischen einer Steigerung der Opazität, die nicht korpuskulär bedingt ist, und dem Auftreten korpuskulärer Elemente (Zellen, Fibrinausschei-

dungen). Die erhöhte Opazität kann bei Iridozyklitiden verschiedener Art vorkommen und ist lediglich als Ausdruck des erhöhten Eiweißgehaltes anzusehen. Sie ist leicht durch ungleich dichte Hornhauttrübungen vortäuschbar (VOGT, 1930). Sie werden heute als Kammerwassertrübung, sog. „aqueous flare“, bezeichnet und flotieren als freie Proteinteilchen. Im Spaltlicht präsentiert sich die Trübung diesig wie ein Scheinwerferlicht im Nebel (LEDFORD und SANDERS, 2006). Gegensätzlich lassen sich dazu (z.B. in Zusammenhang mit einer Entzündung nach Trauma oder Operation) Blutzellen in der vorderen Augenkammer als frei zirkulierende Teilchen aufspüren. Sie sind von den weißen Blutzellen durch ihr leichtes Glitzern bei blassgelber Farbe zu unterscheiden (VOGT, 1930). Kommt es zu einer Ausflockung, so schwanken die Gebilde zwischen 10 und 100 µm Größe und die vorhandene Trübung vermindert sich (VOGT, 1923). Blut in der vorderen Augenkammer wird als Hyphaema bezeichnet. In einzelnen Fällen kann das Blut die gesamte Kammer ausfüllen, so dass das Auge das Aussehen einer 8-er Poolbillard-Kugel annimmt (LEDFORD und SANDERS, 2006). Das Auftreten polymorphkerniger und mononuklearer Zellen in der vorderen Augenkammer begleitet häufig einen Zusammenbruch der Blut-Kammerwasser-Schranke und spiegelt den Schweregrad der Entzündung wider. Bei vorderen Uveitiden entstehen manchmal Koagel chronischer Entzündungszellen oder phagozytischer Zellen. Heften sie anschließend am Hornhautendothel an, spricht man von Hornhautpräzipitaten. Die zelluläre Reaktion kann allerdings auch so stark sein, dass es zur Ansammlung von Eiter, einem sog. Hypopyon, kommt. Eiter in der vorderen Augenkammer erscheint als eine weiße oder weißgelbliche Füllung, die sich, wie auch das Blut beim Hyphaema, meist am Kammerboden ansammelt (BARNETT et al., 1998).

### 2.3.2.2 Iris und Pupille

Die Iris ist ein stark vaskularisiertes Gewebe, wobei die Gefäße nur bei sehr hell gefärbter Iris sichtbar sind. Eine wichtige Eigenschaft dieser Gefäße ist ihr Verlauf. Er entspricht den Muskelfasern der Iris und weist keine Abzweigungen von dieser Ebene auf. Die Gefäße verlaufen mehr innerhalb der Faserschichten, als dass sie der Oberfläche der Iris aufliegen. Schickt man bei gesunder Iris den Lichtstrahl mit der Spaltlampe direkt durch die Pupille, sollte diese aufleuchten, aber kein Licht durch die Iris hindurch zurückreflektieren. Außer zur Veränderung der Pupillengröße sollte die Iris sich bei dieser Prozedur nicht bewegen (LEDFOORD und SANDERS, 2006).

Bezüglich der Irisfarbe gibt es viele physiologische Varianten. Meist ist die Iris beim Pferd hellbraun (GERHARDS, 2004). Pigmentflecken oder -sprenkel können über die Irisoberfläche verteilt sein. Die Irisrückseite ist stark pigmentiert, sodass peripheres Licht nicht ins Auge eindringen kann. Diese pigmentierte Schicht umgreift manchmal ein kleines Stück die Innenkante der Pupille und bildet den dunklen Pupillensaum (BARNETT et al., 1998; GERHARDS, 2004).

Die Pupille ist die durch die Iris begrenzte Öffnung. Sie sollte bei einfallendem Spaltlicht umgehend kleiner werden. Es können unter Umständen taktartige Bewegungen der Pupille beobachtet werden. Sollte bei Nutzung einer Stablampe keine Pupillenreaktion zu verzeichnen sein, eignet sich die Prüfung der Pupillenreaktion mit dem breiten Spaltlicht. Durch die Breite des Spalts kann manchmal eine vorher nicht vorhandene Pupillenreaktion ausgelöst werden (LEDFOORD und SANDERS, 2006).

Bei Veränderungen und Erkrankungen der Iris kann diese die verschiedensten Variationen von Farbe, Textur und Muster annehmen, ihre Gestalt oder Lage sowie ihr Gefäßmuster wechseln. Viele Abweichungen sind angeboren. Bei einer Iris naevus erscheinen auf deren Oberfläche dunkle Flecken, die flach oder leicht erhaben sind. Es kann auch ein Iriskolobom, das Fehlen eines Irisfragments, vorkommen. Durch diese Löcher hindurch kann ein Fundusreflex erhalten werden. Beim Menschen ist meist der inferiore Teil der Iris betroffen, beim Equiden können sowohl die gesamte Iris, als auch nur die vorderen Schichten betroffen sein (BARNETT et al., 1998). Im Gegensatz zum Iriskolobom sind Iriszysten beim Equiden i.d.R. angeborener Natur. Sie stellen sich als eine lichtdurchlässige, flüssigkeitsgefüllte, erhabene Struktur auf der Irisoberfläche dar (LEDFORD und SANDERS, 2006).

In Zusammenhang mit Entzündungen der Uvea kommen beim Pferd Verklebungen der Iris mit der Linse, sog. hintere Synechien, oder der Iris mit der Hornhaut, sog. vordere Synechien, vor (BARNETT et al., 1998; GERHARDS, 2004; LEDFORD und SANDERS, 2006). Auch diese können die Pupillenreaktion beeinflussen. Durch die Verklebung während der Engstellung der Pupille, meist verursacht durch Fibrinausschwitzungen der Iris in Kombination mit einer Reizmiosis, kann es durch darauf folgende Öffnung der Pupille zum Ausreißen von Irisanteilen kommen. Diese verbliebenen Irisresiduen sind anschließend auf der Linse bzw. an der Hornhaut sichtbar und der Pupillenrand kann seine regelmäßige Begrenzung verloren haben (GERHARDS, 2004; LEDFORD und SANDERS, 2006). Hintere Synechien sollten nicht mit einer Membrana pupillaris persistens verwechselt werden. Hierunter versteht man eine nicht vollständig atrophizierte Pupillarmembran, die meist vom mittleren Bereich der Iris ausgeht.

Die Membranen ragen manchmal frei in die vordere Augenkammer hinein oder sind sogar mit dem Endothel der Hornhaut verbunden und können Trübungen zur Folge haben. Auch Verbindungen mit der Linsenvorderkapsel sind nicht selten (LEDFORD und SANDERS, 2006).

### 2.3.2.3 Linse

Für eine gute Beurteilung der Linse ist eine Weitstellung der Pupille notwendig, jedoch selbst bei maximaler Dilatation sind Linsenränder und Zonulafasern nur schwer erkennbar. Die Linse sollte zentral liegen und keine Bewegungen erkennen lassen. Wird der Lichtstrahl gerade und direkt durch die Pupille gerichtet, sollte die Linse gleichmäßig ohne Trübungen erstrahlen. Im Laufe des Lebens entwickelt die Linse mehr Faserschichten bei nur geringem Größenanstieg aus, dadurch wird ihr Kernmaterial kompakt. Da die verschiedenen Schichten verschiedene Refraktionsindices besitzen, lassen sich mit der Spaltlampe feine Unterschiede zwischen ihnen erkennen. Im Linsenkern vereinigen sich die Fasern, sodass zwei Y-förmige Fissuren, die Linsennähte, entstehen. Bei Adulti können die Nähte wie eine Katarakt wirken (LEDFORD und SANDERS, 2006; PHELPS, 1984).

Zur Erzeugung eines klaren und scharfen Bildes auf der Retina muss die Linse transparent, stabil in Lage und fähig zur Akkommodation sein. Die Transparenz resultiert aus ihrem dehydrierten Status, der lamellären Anordnung ihrer Fibrillen und der Löslichkeit der Linsenproteine. Die gleichmäßige, einheitliche Dicke der Linsenkapsel und die epithelialen Zellen in der Pupillarregion tragen ebenfalls zur Klarheit der Linse bei. Diese Transparenz ist jedoch nur bei regelrechter Ernährung gegeben. Der geringe Sauerstoffbedarf wird aus dem Kammerwasser gedeckt. Die Glukose aus dem Kammerwasser passiert die Linsenkapsel

und stellt die Hauptenergiequelle für die Linse dar (SAMUELSON, 2007). Als Hauptbestandteile der Linse gelten Wasser und Proteine. Im Vergleich zu den übrigen Körpergeweben besitzt die Linse einen relativ geringen Wasser- und hohen Proteingehalt (FRANCOIS und HOLLWICH, 1981; NAUMANN, 1997a). Ca. 35% der Linse sind Proteine, davon, in speziesabhängiger Menge, lösliche und unlösliche (DANIEL, NOONAN und GELATT, 1984).

Veränderungen der Linse zeigen sich meist in einer Katarakt. Es werden verschiedene Katarakttypen unterschieden. Polare Linsentrübungen betreffen die vordere oder hintere Linsenkapsel und treten als feine weiße Punkte auf. Zonuläre Trübungen zeigen sich als graue, runde Trübungen, umgeben von einer dunklen, klaren Zone. Die bei Menschen altersbedingt auftretenden Kernsklerosierungen entstehen durch Härtung des Linsenkerns. Hierbei ist der Refraktionsindex des Kerns erhöht. Dem Betrachter erscheint die Sklerosierung des Linsenkerns als generalisierte Gelbfärbung der Linse. Kortikale Trübungen entstehen dadurch, dass die Rinde Wasser absorbiert und anschwillt, wodurch sich eine strahlenförmige Vernebelung entwickelt. Diese Trübungen tauchen als weißliche Linien, Punkte oder Stränge in der Rinde auf und können sich zu einer radspeichenartigen Struktur entwickeln. Oft sind diese Radspeichen jedoch so peripher gelegen, dass eine weit gestellte Pupille nötig ist, um sie zu erkennen. Trübungen an der hinteren Linsenkapseloberfläche erscheinen entlang der optischen Achse oder direkt darunter. Bei Retroillumination erscheinen sie für den Betrachter als dunkle Unregelmäßigkeiten (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Bei genauer Betrachtung mit der Spaltlampe können Präzipitate auf der Linsenrückfläche, wie sie bei equiner rezidivierender Uveitis (ERU) auftreten, zum

Vorschein kommen (GERHARDS und WOLLANKE, 2006). Sie zeigen sich als kleine, meist braune Punkte oder netzartige Ablagerungen. Eine partielle Lageveränderung der Linse aus ihrer normalen Position, Subluxation, kann ebenfalls mittels Spaltlicht gut ermittelt werden (LEDFORD und SANDERS, 2006). Auch typisch für eine ERU sind vakuoläre Veränderungen der hinteren Linsenkapsel (GERHARDS und WOLLANKE, 2006).

### **2.3.3 Befunde der hinteren Augensegmente**

#### **2.3.3.1 Vorderer Glaskörperabschnitt**

Der Glaskörper ist eine gelartige Substanz, die den hinteren Abschnitt des Auges ausfüllt. Er macht mit einem Volumen von ca. 28ml ca. 2/3 des Bulbusvolumens aus. Als Hauptbestandteil enthält der Glaskörper das Zentralgel mit nur wenigen Kollagenfibrillen. Zur Retina besteht durch die Glaskörperbasis mit faserreichen, festeren Verbindungen Kontakt. Der Glaskörperkortex befindet sich mit dicht gepackten Kollagenbündeln im Bereich der Zonulafasern im direkten Kontakt mit dem Kammerwasser (BARNETT et al., 1998; GERHARDS, 2004). Ohne Nutzung spezieller Linsen ist mit der Spaltlampe maximal der vordere Glaskörperabschnitt einsehbar (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Sind nach Weitstellung der Pupille Trübungen des vorderen Glaskörpers mit der Spaltlampe erkennbar, können diese golden, gelb oder weißlich erscheinen und z.B. durch Erythrozyten, Leukozyten, Cholesterol oder Calcium verursacht werden. Funkelnde, goldene Kristalle, die im vorderen Glaskörperabschnitt frei umher schwimmen, können bei einer Glaskörperverflüssigung auftreten. Sie sind meist bei Glaskörperdegeneration oder auch bei alten Traumata zu entdecken (LEDFORD und SANDERS, 2006; TASMAN, 1984).

## 2.4 Spaltlampenfotografie

### 2.4.1 Geschichte und Entwicklung der Spaltlampenfotografie

Durch die Nutzung der Spaltlampe werden Befunde sichtbar, die bei gängiger Allgemeinbeleuchtung und bei Betrachtung mit bloßem Auge nicht erkennbar sind. Diese Tatsache ist durch die Arbeiten von GULLSTRAND und VOGT seit mehr als 80 Jahren bekannt (GULLSTRAND, 1911a; VOGT, 1921a). Damals mussten die Befunde gezeichnet werden, um sie für Vergleiche, Veröffentlichungen oder die Lehre heranzuziehen. Mit der Verbreitung und Verbesserung der fotografischen Technik kam der Wunsch auf, die Zeichnungen durch Fotografien zu ersetzen (LITTMANN, 1965a).

Grundsätzliche Schwierigkeiten in der Spaltlampenfotografie bestehen zum einen darin, dass der Beobachter unwillkürlich immer nur den Bildanteil betrachtet, der sich scharf abbildet. Dadurch, dass der Betrachter diesen scharf abgebildeten Lichtschnitt nacheinander in die verschiedenen Schichten und Bereiche der Augenmedien legt, erhält er im Verlauf seiner Untersuchung, ähnlich wie bei Betrachtung eines Films, einen Gesamteindruck. Dieser soll nun mittels der Spaltbildfotografie mit möglichst wenigen charakteristischen Aufnahmen wiedergegeben werden. Dem Betrachter des Fotos sollen Informationen mehrerer Untersuchungsphasen in möglichst einem Bild vermittelt werden. Eine weitere Schwierigkeit ist, dass die darzustellenden Befunde oft sehr kontrastarm und lichtschwach sind, da die Lichtstreuung bei geringen Trübungen nur minimal ist (LITTMANN, 1965a).

1939 gelang es erstmals Rudolf THIEL, ein Spaltlampenbild fotografisch festzuhalten. Er arbeitete mit einer Bogenspaltlampe. Zur Aufnahme der Fotografien nutzte er ein mikrofotografisches Okular. Das Objektiv war ein ZEISS-Biotar. Zur Verlaufskontrolle und damit zur besseren Behandlung einer Katarakt erhoffte sich THIEL mit der Fotografie von optischen Schnitten Linsentrübungen und deren Entwicklungsstadien dokumentieren zu können. Ein Problem war allerdings noch das wenig lichtempfindliche Aufnahmematerial und die sehr geringe Schärfentiefe. Linsentrübungen konnten deshalb nur bedingt festgehalten werden und die Aufnahmequalität war sehr gering (THIEL, 1930; BAUER, 1968; ZEISS, 2007).

Das Problem der Schärfentiefe hob NIESEL 1966 auf. Er nutzte für die Fotografie das Scheimpflug-Prinzip und ermöglichte somit die tiefenscharfe Darstellung des vorderen Augenabschnittes. Die Scheimpflug-Fotografie basiert auf der geometrischen Anordnung, die durch Theodor Scheimpflug 1906 formuliert wurde. Diese Anordnung beschrieb, dass ein zur Objektivenebene geneigter, flächiger Gegenstand tiefenscharf und unverzerrt abgebildet werden kann, wenn die Abbildungsebene und die Objektivenebene jeweils um den gleichen Winkel zur Objektivhauptebene geneigt sind und sich alle 3 Ebenen in einer Linie schneiden (NIESEL, 1966a; HOCKWIN, 1989). NIESEL und BROWN entwickelten die ersten Geräte nach diesem Prinzip, weitere Verbesserungen der Technik folgten durch HOCKWIN und Dragomirescu (NIESEL, 1966b; BROWN, 1969; MÜLLER-BREITENKAMP und HOCKWIN, 1992).

Pavia, der sich seit 1929 ausgiebig mit der Fundusfotografie beschäftigte, stellte kurze Zeit später auch mit einer Spaltlampe mit Bogenlicht Fotografien von op-

tischen Schnittbildern her. Die Besonderheit seiner Bilder war, dass er es durch Nutzung recht kurzer Belichtungszeiten und ultrasensibler Platten schaffte, die einzelnen Schichten der Linse darzustellen. Weiterhin gelangen ihm Fotografien vom Tyndall-Phänomen in der vorderen Augenkammer (ZEISS, 2007).

In Hinsicht auf die Problematik der Tiefenschärfe bei der Spaltlampenfotografie brachte GOLDMANN ein Gerät vor, das nach dem Sukzessivverfahren arbeitete. Dieses Gerät besaß eine mechanische Kopplung von Spaltbewegung und Filmbewegung, sodass von Hornhaut und Linse gleichzeitig scharfe Spaltabbildungen erstellt werden konnten. Dies war der Beginn fotografischer Messungen am Auge. GOLDMANN veröffentlichte erstmalig im Jahre 1940 befriedigende Schwarz-Weiß-Aufnahmen (GOLDMANN, 1940; LITTMANN, 1965a; ZEISS, 2007). Durch ihn wurde erstmals die Spaltlampenfotografie zur Ermittlung von Dimensionen und Dichte refraktierender Augenstrukturen genutzt (BROWN, 1972).

Über die Kinematografie mittels Spaltlampe wurde bereits 1940 von Heinz berichtet, der erstmals Schmalfilmaufnahmen vom optischen Schnitt veröffentlichte. 1951 berichtete Jonkers von der Kinematografie in diesem Zusammenhang (ZEISS, 2007).

Mit allgemein fortschreitender fotografischer Technik veränderte sich auch die Spaltlampenfotografie. Es wurde 1952 über die ersten Schritte biomikroskopischer Stereofotografie referiert. Belmonte-Gonzales setzte hierzu eine Spaltlampe der Firma LITTMANN ein, an deren Mikroskop bzw. Okulare er eine Stereo-Kamera montierte. Er nutzte relativ lange Belichtungszeiten, bis zu 16-

fache Vergrößerungen und zusätzliche Beleuchtungseinrichtungen. Ähnliche Versuche machte Norton 1964, später auch Lee-Allen. Eine andere Kombination wählte Matthäus. Er arbeitete 1961 mit einem strahlenteilenden Vorsatz gemeinsam mit dem Ringblitz, einem von Ihagee/Dresden produzierten Vielweckgerät. Dieses kombinierte er mit einer Spaltleuchte, deren Mikroskop durch eine Kamera ausgetauscht war. Weiterhin schritt die Entwicklung der Fotografie durch PRINCE 1956, Dugagni 1957, Schiff-Wertheimer 1957, Stepanik 1959 sowie Osswald 1959 weiter voran, die die Glühlampenbeleuchtung durch einen Elektronenblitz ersetzen (PRINCE, 1956; ZEISS, 2007).

1965 kamen nach 15 Jahren relativ geringer Veränderungen einige Erneuerungen bei der Firma ZEISS auf den Markt. Die neue Spaltlampe wies einen kürzeren horizontalen Abstand zum Patienten auf, was durch kürzere Tuben und geringere Brennweiten erreicht wurde. Dies verhalf wiederum zu einer größeren Helligkeit (ZEISS, 2007). Nachteilig erwies sich hierdurch die bis zu 30 Prozent geringere Schärfentiefe und die geringere Spaltlänge, sodass bei Bemessungen der optischen Elemente ein Kompromiss geschlossen werden musste. Es wurde einerseits eine starke Helligkeit benötigt, um auch noch schwache Trübungen sichtbar zu machen (durch große Beleuchtungsapertur möglich) und andererseits war eine große Abbildungstiefe erforderlich, um möglichst viele Schichten hintereinander zur erfassen (durch eine kleine Beleuchtungsapertur möglich) (LITTMANN, 1965a). Für Beobachtungen, für die viel Helligkeit von Nöten war, wie z.B. für den Tyndall-Effekt, konnte die Lampe allerdings kurzfristig überlastet werden und somit eine bis zu 8-fache Leuchtdichte der maximalen Einstellungen erzeugt werden. Weitere Zubehörteile wie die Hruby-Linse zur Fundusbeobachtung waren mit der neuen Spaltlampe kombinierbar (LITTMANN, 1965b).

Auch das Vorderkammertiefenmesser nach JAEGER konnte auf das Mikroskop aufgesetzt werden (JAEGER, 1952). Zur Fotografie war hingegen der Foto-Adapter von LITTMANN und R. Wittekindt notwendig. Mit diesem konnten erstmals bei Betrachtung und Fotografie durch ein und dasselbe Objektiv mittels Kombination aus Spaltlampe mit einem integrierten Elektronenblitz Spaltlampenbefunde als Flachbild oder als Stereobild fotografiert werden (LITTMANN, 1950, 1953; LITTMANN, 1965a).

1976 kam es bei der Firma ZEISS zu weiteren technologischen Fortschritten. Die Umstellung auf Halogenbeleuchtung sowie die Entstehung einer Operationsspaltleuchte als Zusatzeinrichtungen für Operationsmikroskope inklusive der Möglichkeit für einen Stereo-Mitbeobachtertubus und anderen Fotoeinrichtungen erwiesen sich als vorteilhaft. Auch konnten statt dieser Zusätze wahlweise Filmeinrichtungen mit Blendenautomatik oder Fernseheinrichtungen verschiedener Hersteller angeschlossen werden (RIEDEL, 1976).

Für die verschiedenen Anwendungsgebiete der Spaltlampe steht heutzutage immer mehr Zubehör zur Verfügung und die Entwicklung schreitet in diesem Punkt weiterhin deutlich voran. Durch Anschlussmöglichkeiten für Mitbeobachtung und TV werden Forschung, Lehre und Dokumentation gefördert (ZEISS, 2007).

#### **2.4.2 Einsatz der Spaltlampenfotografie beim Pferd**

In der Pferdemedizin ist die Verwendung von Geräten zur Fotografie der Augen allgemein sehr eingeschränkt. Dies liegt hauptsächlich am Wesen dieser Tiere. Das Pferd ist als Fluchttier ein sehr aufmerksames und in ungewohnter Umge-

bung oft sehr unruhiges und schwer umgängliches Tier. Vor allem der Kopf ist beim nervösen Pferd stark in Bewegung und kann durch schnelle Abwehrbewegungen für den Betrachter gefährliche Situation hervorrufen. Deutliche Unruhe bei der Untersuchung entsteht ebenfalls dadurch, dass sich die Augen selbst bei ruhiger Kopfstellung bewegen und die Möglichkeit zur Fotografie verwehren. Auch ein Aufhalten des Auges, was bei manchen Pferden zur kompletten Betrachtung des Auges unumgänglich ist, erschwert häufig die Kooperativität. Besonders während der ersten Zeit nach einer Einlieferung in die Klinik erfordert die Augenuntersuchung viel Geduld. Für eine effektive Fotografie wäre oft eine Fixierung bzw. Sedierung notwendig. So ist die intraoperative Fotografie eine mögliche Umgehung dieser Problematik, wirft aber wiederum neue Probleme auf.

### **2.4.3 Vorteile der Spaltlampenfotografie**

Eine Vielzahl von Erkrankungen des Auges mit sehr variablen Veränderungen kann vom Tierarzt zwar entdeckt werden, gerät jedoch ohne Dokumentation wieder in Vergessenheit. Eine Verlaufsbeurteilung ist ohne Dokumentation nur schwer möglich. Zeichnungen zu Dokumentationszwecken sind auch heutzutage in der Tiermedizin noch eine, wenn auch recht zeitaufwendige, aber wichtige und verlässliche Komponente. Jedoch geben die Zeichnungen nicht auf einen Blick wieder, was mittels der Fotografie möglich wäre. Weiterhin werden durch Zeichnungen nur Schemata erstellt, eine dreidimensionale Vorstellung für nicht in die Untersuchung involvierte Personen ist allein durch Zeichnungen kaum möglich. Die Fotografie stellt daher eine wichtige Komponente sowohl für Untersuchungszwecke als auch für die Lehre dar (FOGLA und RAO, 2003).

In der Humanmedizin wurde in den 70er Jahren noch viel auf Zeichnungen zurückgegriffen. Die fotografische Dokumentation beschränkte sich meist auf Übersichtsaufnahmen der vorderen Augenabschnitte im diffusen Auflicht und Aufnahmen des Augenhintergrundes. Jedoch wurden seit den 30er Jahren bis zu diesem Zeitpunkt durch die Entwicklung hochempfindlicher Filme und den Einsatz des Elektronenblitzes schon recht akzeptable Voraussetzungen für eine leistungsfähige Aufnahmetechnik ermöglicht. MEYNER brachte 1976 mit seinem „Atlas für Spaltlampenfotografie“ eine umfangreiche Sammlung von qualitativ hochwertigen Spaltlampenfotografien des menschlichen Auges hervor. Zum Routineverfahren für gute Befunddarstellung und -dokumentation gehörte die Spaltlampenfotografie jedoch noch nicht (MEYNER, 1976).

Seit den letzten Jahren werden in der Humanmedizin Befundaufnahmen des Auges meistens mittels Digitalfotografie angefertigt. Es sind bereits viele hoch entwickelte Produkte in Kombination mit Computer- bzw. bildgebender Technik handelsüblich für die Ophthalmologie erhältlich (HILDRED, 1999a, b). Von der Nutzung von Nikon Digitalkameras zur Fotografie ophthalmologischer Befunde wurde erstmals 2000 berichtet (KWAN, 2000). Den größten Teil der ophthalmologischen Fotografie machen die Fundusfotografie und die Fluoreszenzangiografie aus. Die Fotografie der vorderen Augensegmente wird meist mit einem Spaltlampenbiomikroskop durchgeführt, da es sowohl eine hohe Vergrößerung als auch die Funktion der Spaltbeleuchtung bietet. In Verbindung mit einer Digitalkamera kommen zusätzliche Vorteile wie ein geringes Gewicht (mobile tragbare Geräteeinheit) und eine deutliche Kostenminimierung zum Vorschein (FOGLA und RAO, 2003). Die digitale Spaltlampenfotografie ist hierdurch in Kombination mit einer schnellen Anfertigung und Speicherung sowie der Möglichkeit der

digitalen Versendung von Befunden ein recht gutes Mittel zur Dokumentation geworden. In der Tiermedizin hingegen, vor allem in der Pferdemedizin, gab es bisher keine Möglichkeit der Spaltlampenfotografie, da mit Fotoapparat gekoppelte tragbare Spaltlampenmodelle noch nicht existierten.

#### **2.4.4 Fotografische Bedingungen bei der Anwendung**

##### Physikalisch optische Gegebenheiten

Durch die physikalischen Voraussetzungen des Auges ist die Spaltlampenfotografie deutlich komplizierter als die Fundusfotografie. Für die Fundusfotografie liegen aufgrund verschiedener Kausalitäten gegenüber der Spaltlampenfotografie nahezu optimale Bedingungen vor. Fotografisch stellt sich der Fundus als annähernd zweidimensionales Objekt dar. Er erscheint ähnlich dem ophthalmoskopisch gesehenen, meist monokular entstandenen Bild, bei dem ebenfalls auf eine stereoskopische Tiefenwahrnehmung verzichtet wird. Die Aufnahmetechnik der Fundusfotografie und die Belichtungsdaten lassen sich in der Pferdemedizin weitgehend standardisieren, die Leuchtdichte der Fläche des Objektes variiert nur in einem sehr geringen Spielraum. Fotografiert wird im diffusen Auflicht (BARNETT und KEELER, 1967; MEYNER, 1976).

Hingegen ist bei der Spaltlampenfotografie ein deutlich höherer Schweregrad zu erwarten, wenn ein Bild erzielt werden soll, das dem vom Untersucher gewonnenen Eindruck entspricht. Im Gegensatz zur Fundusfotografie ist hier das Wiedergeben dreidimensionaler Strukturen erforderlich. Schon die Untersuchung selbst ist mit dem binokularen Stereomikroskop sehr anspruchsvoll. Zur korrekten Untersuchung aller mit der Spaltlampe erfassbaren Medien ist eine ständige individuelle Anpassung der Beleuchtung sowie auch eine wechselnde Fokussie-

rung der einzelnen zu untersuchenden Abschnitte erforderlich. Weiterhin problematisch ist die Tatsache, dass der Untersucher meist durch seine Erfahrung nur auf gezielte Aspekte achtet und störende Komponenten, wie Bildverzerrungen oder störende Lichtreflexe (entstanden durch mangelhafte Einstellungen oder Qualität des Gerätes oder auch durchs Umfeld bedingt) bei der Untersuchung geistig ausblendet. Diese Störfaktoren treten jedoch auf den Fotografien wieder zum Vorschein. Somit muss nun der untersuchende Arzt bei der Fotografie auf die fotografische Darstellung der ihm wichtigen Befunde sowie auf die auftretenden Störkomponenten sowie deren Minimierung achten.

#### Schärfentiefe

Die fehlende Möglichkeit zur Darstellung der Dreidimensionalität bei der Spaltlampenfotografie erfordert zur Tiefendarstellung eine ausreichende Schärfentiefe. Diese kann zum einen durch entsprechende technische Einstellungen erzielt werden. Zum anderen wird die Schärfentiefe eines Objektes auch durch dessen Abbildung innerhalb einer gegebenen Zone bei entsprechend gewählter Richtung von Beobachtung und Beleuchtung erlangt. GOLDMANN erzielte 1940 eine bessere Schärfentiefe durch stufenweise Filmbelichtung bei gleichzeitiger Veränderung der Fokussierung des Objekts. NIESEL verwendete 1966 das Prinzip nach Scheimpflug, bei welchem ohne eine starre Verbindung zwischen Filmebene und Optik gearbeitet wurde (GOLDMANN, 1940; MEYNER, 1976).

#### Beobachtungs- und Kamerastrahlengang

Bei der Spaltlampenfotografie ist es wichtig zu beachten, dass bei Geräten mit getrennt genutztem Okularstrahlengang und Fotostrahlengang es zu Unterschieden zwischen betrachtetem Bild und der Aufnahme kommen kann. Be-

reits kleinste Veränderungen der Beobachtungsrichtung können deshalb dazu führen, dass wichtige Befunde auf der Abbildung nicht mehr zu erkennen sind oder durch spiegelnde Reflexe der Hornhautoberfläche überlagert werden. Bei Geräten mit identischem Beobachtungs- und Fotostrahlengang können störende Reflexe entweder vermieden oder aus dem entsprechenden Bildbereich weg dirigiert werden (MEYNER, 1976).

#### Mehrfache optische Schnitte

Ein weiterer Versuch, mehr Informationsgehalt in einer Aufnahme darzustellen, wurde durch gleichzeitiges Legen mehrerer optischer Schnitte durch das Auge gemacht und diese anschließend auf der gleichen Aufnahme abgebildet. Der Vorteil des höheren Informationsgehaltes pro Bild wird jedoch durch die damit verbundene erschwerte topografische Orientierung nahezu wertlos. Vielmehr sollte die Bildqualität über das Variieren der Spaltbreite aufgewertet werden (MEYNER, 1976).

### **2.4.5 Die spezielle Aufnahmetechnik**

#### Übersichtsaufnahmen des Auges

Bei den Übersichtsaufnahmen ist die Möglichkeit der variablen Beleuchtung nicht gegeben. Dies erleichtert die Aufnahme im Sinne einer Makrofotografie. Die Übersichtsaufnahme bietet dem Betrachter der Aufnahme die Möglichkeit, sich ein Gesamtbild der Situation zu machen. Auch für anschließende Spaltlampenbefunde wird hiermit eine gute Orientierungshilfe geboten und der Wiedereinstieg in zeitlich zurückliegende Fälle wird erleichtert. Ebenfalls für Lehrzwecke ist diese Aufnahme unumgänglich, da der Umgang mit Spaltlampenbildern vorerst die räumliche Orientierung voraussetzt. Da bei der Übersichtsaufnahme nur

die allgemeine Lage von Befunden abgeklärt werden soll, wird mit nur geringen Vergrößerungen gearbeitet (MEYNER, 1976).

#### Lider, Bindehaut

Zur Aufnahme der Lider bzgl. der Dokumentation von Narben, Verletzungen oder tumorösen Veränderungen wird die Spaltlampenfotografie nicht verwendet. Ihre eigentliche Funktion ist nur in Fällen von transparenten Veränderungen des Lidgewebes nützlich (MEYNER, 1976).

Hingegen eignet sich die Aufnahme im Spaltlicht für die Bindehäute wesentlich häufiger. Mit dem Spalt ist z.B. eine gute Darstellung des Oberflächenreliefs bei Symptomen wie Ödemen oder Follikel-Schwellungen erreichbar. Wenn möglich sollte der Spalt bei seitlicher Ausleuchtung in Bezug auf seine Längen- und Breitenausmaße nur so groß gewählt werden, dass nicht die Sklera über das zu untersuchende Objekt hinaus mit beleuchtet wird. Das Mitbeleuchten der Sklera würde hier zu unnötigen Spiegelungen und Überstrahlungen führen und durch Streulicht den Kontrast minimieren (MEYNER, 1976; LEDFORD und SANDERS, 2006).

Noch stärker empfindlich sind bei Überstrahlung der Sklera die Gefäße der Bindehaut. Zur Fotografie ist es dienlich, einen möglichst kurzen und breiten Spalt senkrecht zur Bindehautfläche einzustellen und die Beobachtungsrichtung hierzu größtmöglich zu wählen. Damit kann eine recht gute Bildschärfe erzielt und bei ca. 40-facher Vergrößerung können sogar die Verhältnisse der Blutströmung in den Kapillaren sichtbar gemacht werden (HONNEGER und SCHÄFER, 1968; MEYNER, 1976).

### Hornhaut

Die fotografischen Einstellungen zur Aufnahme der Hornhaut sind aufgrund ihrer Transparenz und eher geringen Tiefenausdehnung deutlich vielfältiger. Pathologische Veränderungen des Hornhautreliefs bei Epithelödemen, Erosionen oder Degenerationen sind im diffusen Auflicht nicht differenziert darstellbar. Hier wird eine seitliche fokale Beleuchtung bei möglichst kurzem Spalt benötigt. Die hierbei auftretenden spiegelnden Reflexe an der Hornhautoberfläche können Hinweis auf ihre Beschaffenheit geben. Zur Darstellung möglichst vieler verschiedener Befunddetails sind meist mehrere Aufnahmen auszuprobieren (MEYNER, 1976).

Pathologische Veränderungen mit scharfen Begrenzungen sind in der Fotografie relativ problemlos darstellbar. Unschärfe Konturen und sehr feine Einlagerungen in die Hornhaut sind jedoch deutlich schwerer abzubilden. Zur Darstellung von sehr feinen und zarten Veränderungen in der Hornhaut ist ein sehr schmaler Lichtspalt von nur 0,1mm Breite zur exakten Lagedarstellung notwendig. Zu beachten ist hier, dass dadurch die Helligkeit des Bildes sehr herabgesetzt ist. Vor allem in der konventionellen Fotografie wird dadurch die Grenze der Beleuchtungs- und Belichtungsmöglichkeiten überschritten, sodass zur Erstellung einer effektiven fotografischen Abbildung keine starke Vergrößerung verwendet werden kann. Vorteilig ergeben sich hieraus dagegen die gute Lageorientierung bei geringer Vergrößerung sowie eine bessere Schärfentiefe. Insgesamt ist mit sehr schmalen Spaltlicht eine detaillierte Untersuchung zur Lagebestimmung inklusive Erkennung der Schichttiefe der Hornhaut möglich, jedoch weisen die Aufnahmen solcher Spaltlampenbefunde meist eine gewisse Informationsarmut auf. Die Aufnahmen lassen zwar eine Lokalisation der betroffenen Bereiche zu,

jedoch ist zur Erzielung einer guten Bildqualität eine zusätzliche Beleuchtung des Umfeldes von Nöten, um eine topografische Orientierung zu erhalten. Als Alternative für die Einstellung eines ganz schmalen Spaltlichts besteht die Nutzung eines verbreiterten, dejustierten Spaltlichts zur Beobachtung der Hornhaut im regredienten Licht. Der dezentrierte breite Spalt wird dazu auf die Iris bei mitotischer Pupillenstellung gerichtet und die davor liegende Hornhaut vor diesem Hintergrund beobachtet. Somit ist zwar keine genaue Lokalisation von Veränderungen fotografisch aufzeigbar, aber eine flächenhafte Darstellung möglicher pathologischer Befunde im Hornhautbereich gegeben. Vor allem für endotheliale oder auch epitheliale, fein verteilte Veränderungen ist diese Methode gut geeignet (MEYNER, 1976; LEDFORD und SANDERS, 2006).

Die Lichtmenge ist gegensätzlich zur Nutzung des schmalen Spaltes deutlich höher anzusetzen und eine höhere Vergrößerung damit möglich, die Schärfentiefe nimmt jedoch in diesem Falle ab. Zur Darstellung von Veränderungen am Endothel eignet sich eine gewisse Breite eines Lichtstrahls, mit der eine entsprechende schmale Zone der Rückfläche der Kornea beleuchtet wird. Bei Beobachtung in dem Ausfallswinkel, der dem Einfallswinkel entspricht, erhält man bei Fokussierung auf die spiegelnde Fläche die dort vorhandenen Konturen mit hoher Leuchtdichte. Am deutlichsten zeigen sich endotheliale Veränderungen bei minimaler Beleuchtung des Epithels und nur geringer Beleuchtung des Parenchyms. Um die Endothelveränderungen mit möglichst großem Kontrast darstellen zu können, muss der betrachtete Bereich so gewählt werden, dass die davorliegende Hornhautoberfläche nicht und das davorliegende Parenchym nur minimal beleuchtet werden. Dies bewirkt, dass die vor der Endothelveränderung liegenden Schichten durch ihre opaleszierende Wirkung nicht den Kon-

trast wegnehmen. Die einzustellende Spaltbreite variiert in Abhängigkeit vom Beleuchtungswinkel. Hierbei muss die Richtung des Beobachters mit dem Ausfallswinkel der Spiegelung zusammenfallen. Bei zu großer Verbreiterung des Spalts wird durch die resultierende Überstrahlung die Qualität des erzeugten Bildes deutlich minimiert (MEYNER, 1976).

### Vorderkammer

Eine Fotografie der vorderen Augenkammer ist nur bei Vorhandensein pathologischer Befunde und zur fotografischen Ausmessung möglich. Das Ausmessen der Tiefe der Vorderkammer wird bei standardisierter Einstellung vorgenommen. Dabei werden Hornhaut und Vorderfläche der Linse in konstanter Distanz zueinander abgebildet. Soll fotografisch das Tyndall-Phänomen in der vorderen Augenkammer dargestellt werden, so ist die Einstellung eines spitzen Beobachtungswinkels nötig. Zum Teil ist es möglich, die im Lichtweg sichtbaren Zellen fotografisch darzustellen. Die Schärfentiefe ist nur gering und es wird nur ein Teil des Lichtbündels konturiert (MEYNER, 1976).

### Iris, Pupille

Zur Darstellung der Iris ist die Übersichtsaufnahme meist das Mittel der Wahl. Im diffusen Auflicht lässt sich gut die gesamte Irisfläche ohne einen seitlichen Abfall an Helligkeit ins Bild rücken. Diese Aufnahme eignet sich vor allem zur topografischen Orientierung. Bei fokaler Beleuchtung ist dies hingegen nicht möglich. Zu berücksichtigen ist bei Einstellung der Belichtung, dass abhängig von der Irisfarbe sich die Leuchtdichte individuell ändert. Des Weiteren ändert sie sich die Leuchtdichte je nach Einfallswinkel und Lichtspaltbreite, die wiederum die Lichtstreuung und Reflexionen an den verschiedenen Medien beeinflussen. Der

Lichtspalt ist hinsichtlich seiner Länge und Breite soweit zu minimieren, dass nur der zu fotografierende Bereich der Iris beleuchtet wird. So werden überflüssige Reflexe vermieden und ein bestmöglicher Kontrast erzielt. Problematisch sind bei der Fotografie der Iris die ebenfalls bei sehr seitlicher Beleuchtung auftretenden spiegelnden Reflexe im Limbusbereich des Lichts. Sie können nur durch Lageveränderung des Gerätes bzw. Änderung der Blickrichtung des Patienten verringert werden. Dieser Lichtreflex bildet nicht nur in der Filmebene, sondern zusätzlich an den Linsengrenzflächen eine Streulichtbildung, sodass die Bildqualität sich durch eine Kontrastverminderung sowie eine allgemeine Verschleierung des Bildes verschlechtert (MEYNER, 1976).

Die fotografische Darstellung des Pupillarsaums sowie eine genaue Darstellung seines Reliefs sind bei starker seitlicher Beleuchtung günstig. Dabei ist eine Beleuchtung des gesamten Pupillarsaums nicht möglich. Der Teil des Saums, der auf der Seite des einfallenden Lichts liegt, wird im Schatten verbleiben. Eine Unterstützung in der Beleuchtung kann gegeben werden, indem die Spiegelreflexe der Linsenvorderfläche ausgenutzt werden. Auch eine getrübbte Linse kann möglicherweise den Kontrast einzelner Abschnitte verbessern (MEYNER, 1976; LEDFORD und SANDERS, 2006).

Zur Darstellung von Synechien kann fokales Licht sowie auch die Beleuchtung im Spaltlicht genutzt werden. Defekte der Iris sowie Veränderungen der Pupillenform sind gut bei durchfallendem Licht aufspürbar. Hierzu eignet sich nach MEYNER in der Humanmedizin ein Spalt von 4 mm Höhe und 3 mm Breite, der direkt neben dem Fotostrahlengang angeordnet und soweit dezentriert wird, bis ein helles Aufleuchten der Pupille erreicht ist (MEYNER, 1976).

Die fotografische Dokumentation der Pupillenreaktion auf Licht kann nach MEYNER durch Anfertigung zweierlei Bilder ermöglicht werden. Hierzu wird die erste Aufnahme bei größtmöglicher Beleuchtung angefertigt, die zweite Aufnahme nach mehreren Sekunden fehlender Beleuchtung. Problematisch erweist sich dabei die fehlende Möglichkeit, die Einstellung bis zum Auslösen optisch unter Kontrolle zu behalten (MEYNER, 1976).

Sowohl mit starker seitlicher fokaler Beleuchtung als auch im Schnittbild lassen sich Tumoren und Zysten der Iris aufnehmen. Hierbei ist zu beachten, dass das Umfeld der Veränderungen nicht zu stark beleuchtet wird, um eine gute Wirkung der veränderten Bereiche zu erreichen. Große und mit klarem Inhalt gefüllte Zysten können bei hoher Vergrößerung und bei daraus resultierender verminderter Schärfentiefe in zwei Aufnahmen, eine mit Scharfstellung der Vorderwand, die zweite bei scharf gestellter Hinterwand festgehalten werden, um ihre räumlichen Ausmaße aufzuzeigen (MEYNER, 1976).

### Linse

Für Darstellung der Vielfalt der möglichen Linsenveränderungen erweist sich die Spaltlampenfotografie als besonders vorteilhaft (LEDFORD und SANDERS, 2006). Auch hier gilt es, störende Reflexe zu vermeiden. Dies ist besonders bei sehr feinen Linsenstrukturveränderungen wichtig. Schon nahezu unvermeidbare Störfaktoren wie spiegelnde Reflexe von Konturen wie der Lidkante, den Wimpern und sogar der Hand des Untersuchers können die Bildqualität stören. Linsentrübungen lassen sich meist bei fokaler Beleuchtung am besten beurteilen. Zur kontrastreichen Darstellung einzelner Trübungsabschnitte sind diese selektiv als einzelne Schichten zu beleuchten (MEYNER, 1976).

Eine weitere erwähnenswerte Technik bei der Spaltlampenfotografie der Linse ist die Aufnahme im durchfallenden Licht. Durch sie können Trübungen der Linse sowie Unregelmäßigkeiten in der Struktur in flächenhafter Projektion dargestellt werden. Bei hoher Primärvergrößerung können hierdurch sogar Trübungsfiguren einer einzelnen Schicht dargestellt werden. Dabei werden durch die geringe Schärfentiefe Trübungen in anderen Ebenen so unscharf, dass sie auf der Fotografie verschwinden. Somit können mit zwei verschiedenen Aufnahmen Trübungen verschiedener Schichten der Linse dokumentiert werden (MEYNER, 1976).

#### Glaskörperraum

Die Fotografie des Glaskörpers gestaltet sich äußerst schwierig. Dies liegt hauptsächlich an der Geringgradigkeit der Veränderungen sowie deren daraus resultierenden geringen Reflexionen. Dabei ist ein Kompromiss zwischen starker Vergrößerung und Lichtstärke einerseits und einer hohen Schärfentiefe andererseits zu schließen. Besonders bei aphaken Augen ist die Beurteilung des Glaskörpers im Spaltlicht bedeutsam. Die Beurteilung kann sowohl im durchfallenden Licht als mit fokalem Licht erfolgen. Zur fotografischen Darstellung ist ein Vorhandensein von eingelagerten Stoffen wie z.B. Blut hilfreich, da sich diese als reflektierende Partikel darstellen (MEYNER, 1976). Nach CIBIS gibt es zur Aufnahme des Glaskörpers eine Technik der Langzeitbelichtung. Hierbei ist das Bild insgesamt recht unscharf, der lichtschwache Glaskörper jedoch gut erkennbar. 1976 war nach MEYNER jedoch auch schon die Fotospaltlampe ausreichend, um Glaskörperabhebungen scharf abzubilden (CIBIS, 1967; MEYNER, 1976).

### **3 MATERIAL UND METHODE**

#### **3.1 Patientengut**

Für diese Arbeit wurden im Zeitraum vom 1.Mai bis 14.September 2007 100 Pferde mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät der Firma Dioptrix untersucht, davon wurden 80 Pferdeaugen fotografiert. Für die Untersuchungen und Aufnahmen dienten stationäre Patienten der Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität München. Hierzu zählten 18 augengesunde Pferde. Die restlichen untersuchten Patienten wurden wegen Augenerkrankungen vorgestellt.

Die fotografierten Patienten waren zwischen 1 und 23 Jahren alt. Darunter befanden sich 2 Hengste, 29 Stuten und 49 Wallache, davon 57 Warmblüter der Zuchtgebiete Hannover, Westfalen, Württemberg, Bayern, Holstein, Rheinland, Hessen und Sachsen, aber auch 5 Isländer, 3 Friesen, 3 Arabische Vollblüter, 3 Quarter Horses, 2 American Paint Horses, 1 Haflinger, 1 Shettlandpony, 1 Percheron, 1 Argentinisches Reitpferd, 1 Appaloosa, 1 Deutsches Reitpony und 1 Englisches Vollblut wurden in die Untersuchungen mit einbezogen.

## **3.2 Untersuchungsmethode**

### **3.2.1 Allgemeinuntersuchung**

Nach Eingang in der Klinik wurden alle Patienten vorerst einem allgemeinen Untersuchungsgang unterzogen.

### **3.2.2 Spezielle ophthalmologische Untersuchungen**

Nach gründlicher Aufnahme des Vorberichtes (inkl. Signalement, Hauptsymptomatik, gleichzeitig vorliegende, nicht ophthalmologische Erkrankungen, derzeitige Therapie bzw. Medikation) wurde erst die Sehfähigkeit des Pferdes durch Beobachtung des Verhaltens des Pferdes in neuer Umgebung getestet und eine Prüfung der Droh- und Lichtreflexe vorgenommen. Die Bulbi wurden sowohl adspektorisch als auch palpatorisch auf Position, Größe und Druck untersucht. Nach Durchführung eines Schirmer-Tränentests zur Beurteilung der Produktion von Tränenflüssigkeit (sofern erforderlich) erfolgte die Untersuchung von Adnexe und vorderen Augensegmenten. Hierzu gehörten die Lider hinsichtlich ihrer Haut, Lidspalte, Lidschluss und abnormalen Strukturen wie ektopischen Zilien, Neoplasien o.ä., sowie die Konjunktiven, Nickhaut, Kornea, vordere Augenkammer und die Iris. Beurteilt wurden die Konjunktiven bezüglich Farbe, Oberfläche sowie möglicher Fremdkörper, die Nickhaut in Hinsicht auf ihre Position und Fremdkörper an palpebraler, kornealer oder Randfläche, die Hornhaut vor allem hinsichtlich ihrer Transparenz, Glanz und Oberfläche, die vordere Augenkammer bezüglich ihrer Transparenz und Tiefe und die Iris auf ihre Farbe und sonstige Besonderheiten. Die Pupillenbeurteilung erfolgte in Anbetracht ihrer Symmetrie, Größe und Form sowie auch ihrer dynamischen Reaktion auf Licht. Nach genauerer Untersuchung der Hornhaut mit einer Kopfbandlupe (Stereo Work Mas-

ter 2.2x EMO) wurde bei Verdacht auf Defekte der Hornhaut eine Anfärbung mit Fluoreszein (SE THILO®, Fa. Alcon) vorgenommen. Noch vor Weitstellung der Pupille bestand bei einem Verdacht auf Veränderungen des Augeninnendrucks die Möglichkeit der Messung desselben mit einem elektronischen Applanations-tonometer der Fa. Medtronic Solan (Tono-Pen XL®) nach vorheriger Applikation von Ophthocain®-N-Augentropfen der Fa Dr. Winzer Pharma GmbH zur lokalen Anästhesie. Die anschließende Gabe von Tropicamid (Mydriatikum Stulln®) zur Weitstellung der Pupille ermöglichte die nachstehende Untersuchung der Linse sowie des hinteren Augensegments mit Glaskörper und Fundus. Diese Untersuchung fand durch Verwendung eines Ophthalmoskops, z.B. des Handophthalmoskops Beta 200 der Fa. Heine, statt und die Linse wurde in Bezug auf ihre Position, Größe, Form, Oberfläche sowie Transparenz, der Glaskörper auf Transparenz oder mögliche Einlagerungen und Verflüssigungen und der Fundus mit seinem Tapetum lucidum, Tapetum nigrum und dem Sehnerv nach Form, Farbe und Größe beurteilt.

Je nach den ermittelten Befunden folgten weitere Untersuchungen wie z.B. Ultraschallaufnahmen oder elektroretinografische Untersuchungen des Auges. Nach der Untersuchung wurden die Befunde zusammen mit dem Vorbericht schriftlich und zeichnerisch dokumentiert. Die in diese Arbeit einbezogenen Patienten wurden anschließend oder innerhalb der folgenden Tage einer Spaltlampenuntersuchung mit dem digitalen Spaltlampengerät Hawk Eye der Firma Dioptrix untersucht und die Befunde, sofern möglich, fotografisch am stehenden oder ggf. auch am liegenden Patienten dokumentiert.

### 3.2.3 Die Hawk Eye Spaltlampe Gerät als verwendetes System zur Fotografie

#### 3.2.3.1 Prinzip und Bedienung

Bei dem Hawk Eye Gerät der Firma Dioptrix handelt es sich um eine Spaltlampe zur Anfertigung von digitalen Aufnahmen bei handgehaltenem System (technische Daten s. Anhang, Tab. 2). Das mobile Modell ist mit vier verschiedenen Spaltvarianten und zwei Farbfiltern ausgestattet. Die Lampe besitzt eine weiße LED-Lichtquelle mit dimmbarer Lichtintensität. Über einen Adapter ist die Spaltlampe mit der 6Mpixel-Digitalkamera Pentax Optio S60 verbunden. Ursprünglich zur Anwendung beim Menschen vorgesehen wird das Gerät bereits auch in der Kleintiermedizin bei Hund und Katze angewendet. Zur Anwendung beim Pferd sind einige zusätzliche Details zu beachten.



Abb. 1: Das digitale Spaltlampengerät Hawk Eye der Firma Dioptrix

### **3.2.3.1.1 Auf den Untersucher bezogene Justierungen**

Vor der Nutzung der Spaltlampe musste diese auf den Untersucher eingestellt werden. Dazu wurde das Gerät vom Nutzer am Griff der Haupteinheit mit einer Hand festgehalten. Mit derselben Hand war es später möglich, die Lichtintensität zu regulieren sowie auch den Auslöser zur Bildaufnahme zu bedienen. Die andere Hand diente zur Unterstützung der gesamten Geräteeinheit, zur Bewegung der Lichteinheit oder auch zur Manipulation am Patienten. Des Weiteren war ein Justieren des Abstands zwischen den Okularen zur Anpassung an den Augenabstand des Benutzers mit dem Ziel eines adäquat runden Gesichtsfeldes durchzuführen. Auch ein spezifisch auf den Untersucher bezogenes Justieren der Okulare in ihrer Dioptrienzahl musste ausgeführt werden, um ein gleichmäßig scharfes Sehen beider Augen zu ermöglichen.

### **3.2.3.1.2 Korrekter Abstand zur Kornea**

Zur Untersuchung musste sich der Untersucher auf eine sehr geringe Distanz dem Patientenauge nähern. Der Fokusabstand ist durch Variieren des Abstands zum Auge aufzusuchen (s. Kap. 2.2.1.3).

### **3.2.3.1.3 Vergrößerung**

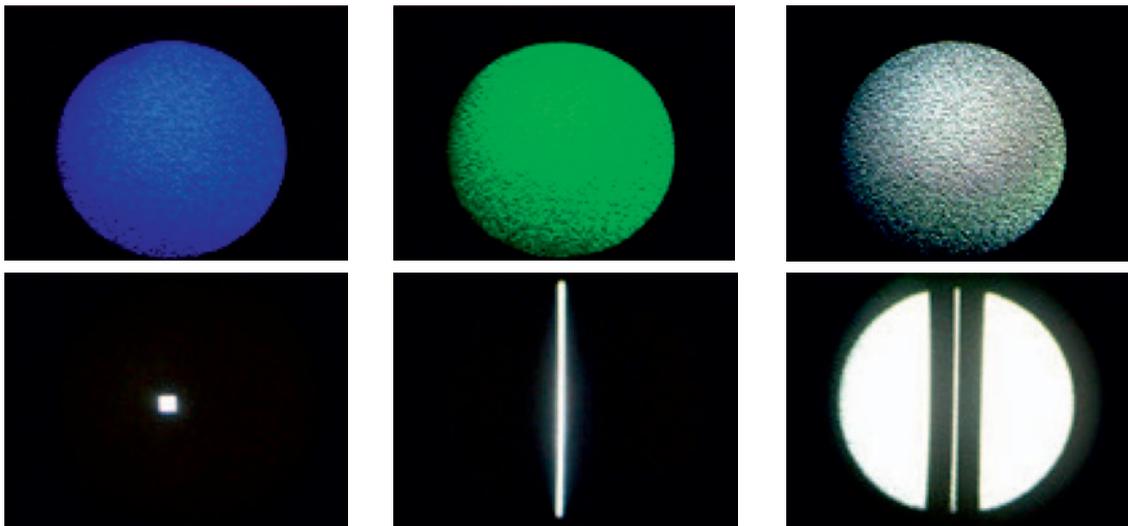
Zur Wahl der Vergrößerung besitzt die Hawk Eye Spaltlampe einen Vergrößerungswechsler, der mittels Drehkreuz auf eine 8-fache, 12,5-fache sowie eine 20-fache Vergrößerung eingeschwenkt werden kann. Für die Aufnahmen der Digitalkamera gilt eine Vergrößerung von grundsätzlich 12,5-fach, unabhängig von der vorher genannten Einstellung der Spaltlampe. Eine Vergrößerung der erstellten Bilder kann allein nur durch Nutzung der Zoomfunktion der Digitalkamera moduliert werden.

#### **3.2.3.1.4 Lichtregulation**

Zu Beginn der Untersuchung sollte mit geringer Lichtintensität begonnen werden. Die Hawk Eye Spallampe ist in ihrer Lichtintensität durch Bedienen der elektronischen Lichtregulation linear zu verstärken bzw. zu vermindern. Anhand eines Signaltons kann das Erreichen des Lichtmaximums bzw. -minimums erkannt werden, sodass direkt während der Untersuchung eine Kontrollmöglichkeit über die Lichtregulation ermöglicht wird. Ebenfalls über einen Signaltone (mehrfach) wird nach fünfminütiger Nichtbenutzung der Lichtregulation das automatische Ausschalten des Gerätes angekündigt.

#### **3.2.3.1.5 Anwendung von Spaltlicht und Filtern**

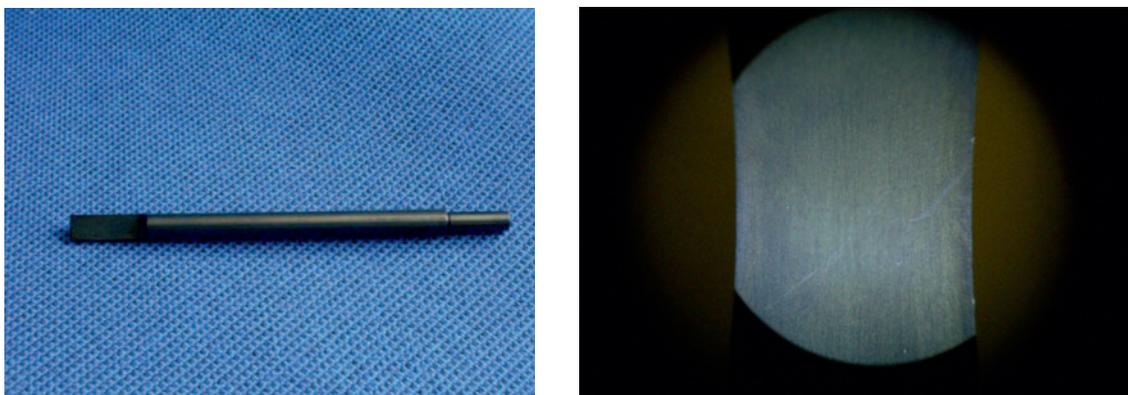
Je nach Untersuchung kann das Licht durch Variieren der Filter- und der Spaltscheibe, die sich an der Basis der Lichteinheit befinden, in Größe bzw. Form und Farbe verändert werden. Die Filterscheibe bietet die Möglichkeiten Spaltlicht (normales weißes Spaltlicht), Grünfilter, Blaufilter und Fotospaltlicht (zusätzliche seitliche Ausleuchtung des Feldes neben dem Spaltlicht für Fotografien) an. Die Spaltscheibe ermöglicht je nach Einstellung der Filterscheibe weitere Optionen. Bei eingestellter Filterscheibe auf Spaltlicht, Grün- oder Blaufilter können durch Drehen der Spaltscheibe ein 0,2mm breiter Spalt, ein 1mm breiter Spalt, ein 1x1mm großes Quadrat sowie ein Fotospalt eingerichtet werden. Bei eingestellter Filterscheibe auf das Fotospaltlicht kann durch Veränderung der Spaltscheibe ein 0,2mm breiter Fotospalt, ein 1mm breiter Fotospalt, ein 1x1mm großes Fotoquadrat sowie ein rundes punktförmiges Licht von 15mm ausgewählt werden.



**Abb. 2: Filter- und Spaltoptionen der Hawk Eye Spaltlampe**  
Erste Reihe: Blaufilter, Grünfilter und neutrales weißes Licht  
Zweite Reihe: Quadrat (1x1mm), Spalt (0,1mm) und Fotospalt  
(0,1 mm Spalt mit zusätzlicher seitlicher Ausleuchtung)

### 3.2.3.1.6 Erstellen von Bildern und Videos

Noch vor der Erstellung der Bilder sollte eine individuelle Justierung des Brechungsindex des Untersucherauges mit dem im Set mitgelieferten Metallstab, der in der Drehachse des Gerätes befestigt wird, durchgeführt werden. Hierzu wird das Relief des Stabs bei maximaler Lichtintensität für beide Okulare einzeln scharf eingestellt.



**Abb. 3: Links: Justierstab der Hawk Eye Spaltlampe**  
Rechts: Relief des Justierstabs

Die mit der Spaltlampe erhaltenen Bilder können beim Hawk Eye Gerät mit einer Digitalkamera Optio S60 festgehalten werden. Die Kamera wird über einen Adapter mit dem Mikroskop verbunden. Zur Bildaufnahme muss der Kamerazoom auf die weiteste Objektentfernung, der Modus auf Programm, die Fernsteuerung aktiv (zur Kommunikation zwischen Kamera und Auslöser an der Spaltlampe), der Blitz aus und der Fokusmodus auf „unbegrenzte Landschaft“ eingestellt sein.



**Abb. 4: Pentax Optio S 60**

Um nicht den Auslöser der Kamera selbst verwenden zu müssen, kann zur einfacheren Handhabung der Auslöser am Mikroskopgriff betätigt oder ein extra Fußschalter genutzt werden. Zur Verwendung des Auslösers an der Spaltlampe oder auch des Fußauslösers war die Herstellung optimaler Bedingungen nötig. Bezogen auf die Verwendung der Kamera gehörten hierzu eine absolut exakte Fokusdistanz, gute Kontrastgegebenheiten sowie gute Lichtbedingungen.



**Abb. 5: Fußauslöser der Hawk Eye Spaltlampe**

### **3.2.3.1.7 Speichern und Dokumentation**

Die aufgenommenen Bilder werden im JPEG-Dateiformat auf der SD-Speicherkarte der Digitalkamera abgespeichert. Alle Bilder werden gespiegelt dargestellt, sollten also vor weiterer Bildbearbeitung heruntergeladen und zurückgespiegelt werden. Die Fa. Dioptrix bietet für die Pentax-Digitalkamera die Software S-SW32 CD, mit der das entsprechende Programm zum Übertragen und Bearbeiten der erstellten Bilder installiert werden kann. Über ein USB-Kabel kann anschließend die Digitalkamera mit dem Computer verbunden und die Bilder können heruntergeladen werden.

### **3.2.3.2 Anfertigung der Spaltlampenfotos**

#### **3.2.3.2.1 Fixierung des Patienten und Untersuchungsort**

Zur Untersuchung mit der Hawk Eye Spaltlampe musste das Pferd als stehender Patient vorerst fixiert werden. Dies war einerseits nötig, um den Untersucher vor Abwehrbewegungen zu schützen, andererseits auch, um ihm ruhige Untersu-

chungsbedingungen zu ermöglichen. Bei den meisten Patienten war hierzu eine Person nötig, die das Pferd an Strick und Halfter in Position hielt. Bei einigen Patienten empfahl es sich, die Untersuchung in der Box durchzuführen, da diese dem Pferd vertrautere Umgebung dem Patienten weniger ungewohnte Reize bot und somit die Untersuchung erleichterte. Eine Sedation der Patienten war zum alleinigen Untersuchungsgang mit der Spaltlampe nicht von Nöten.

#### **3.2.3.2.2 Aufsuchen des korrekten Fokusabstands**

Zur Untersuchung musste sich dem Pferd mit äußerster Ruhe genähert werden und anschließend das Pferdeauge mit der Spaltlampe unter Beachtung möglicher Abwehrbewegungen aufgesucht werden. Um sich dem Auge vorsichtig auf die erforderliche, sehr geringe Entfernung dem Auge zu nähern, erwies es sich als hilfreich, die Basis des Gerätes an die Massetermuskulatur des Pferdekopfes anzulehnen. Dadurch war bei der Suche nach der richtigen Distanz ein Kontaktpunkt zum Pferd hergestellt, der keinen Lidschluss auslöst, und durch den bei leichten Bewegungen des Patienten das Erstellen und Aufrechterhalten des Fokusabstands nicht maßgeblich gestört wurde.

#### **3.2.3.2.3 Untersuchung des Pferdeauges mit dem Spaltlicht**

Zur Untersuchung schien es geeignet, das Auge erst mit dem runden Lichtstrahl zu betrachten, um einen Überblick bzw. die topografische Orientierung, v.a. bei Vorhandensein pathologischer Veränderungen, zu gewinnen.

Anschließend wurde die Untersuchung mit dem Spaltlicht vorgenommen. Hierzu wurde der Lichtstrahl in einem Winkel von 20-45 Grad zur Mikroskopachse eingestellt, während die Okulare gegen die Augenbrauen des Betrachters ge-

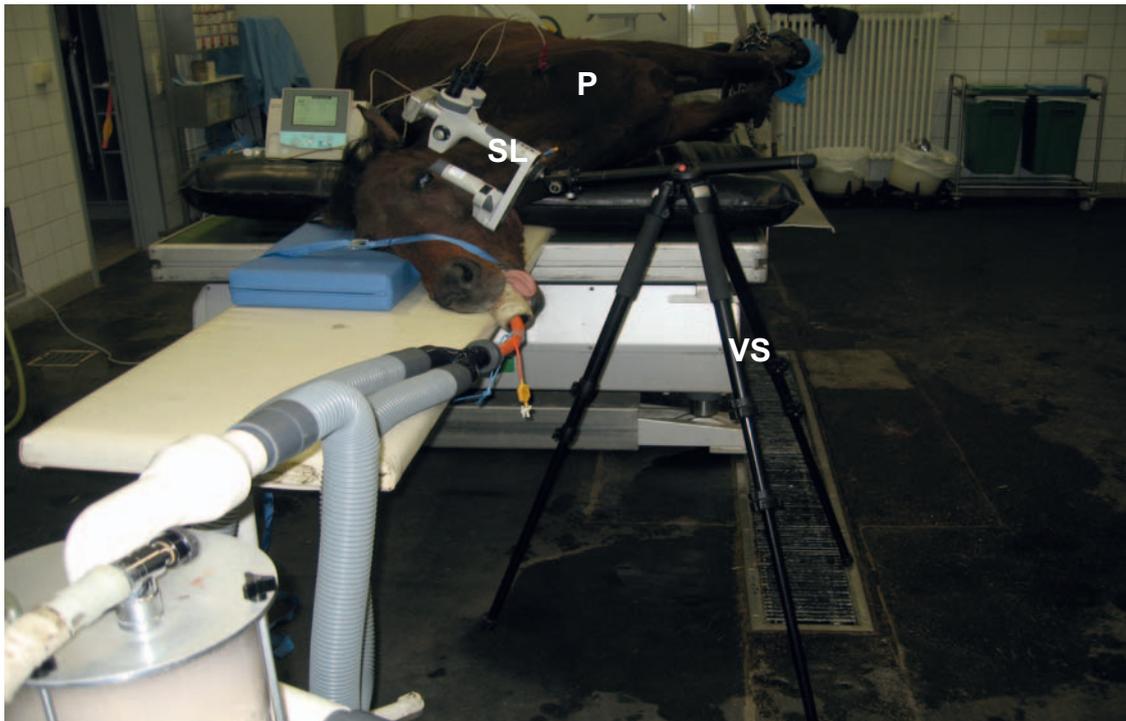
lehnt wurden. Aufgrund der Kopfhöhe des Patienten erschien es leichter, die Lichtquelle entgegengesetzt zum Maul zu schwenken und aus leicht nasaler Richtung das Auge zu betrachten. Bei Schwenken der Lichtquelle in nasale Richtung musste sich der Untersucher meist auf ein Podest stellen, um Höhenunterschiede auszugleichen. Der Fokusabstand wurde mit verschiedenen Methoden, durch Annäherung an das Patientenaugeweg bzw. Zurückweichen vom Auge weg, aufgesucht (s. Kap. 2.2.1.3).

#### **3.2.3.2.4 Fotografieren der Befunde und spezielles Zubehör**

Bei der Erstellung der Bilder der zuvor untersuchten Pferdeaugen wurden durch Einstellung des punktförmigen Lichts zunächst Übersichtsaufnahmen bei geringster, also 8-facher, Vergrößerung angefertigt. Anschließend wurde je nach Befund und Lokalisation mit dem schmalsten Spalt von 0,2 mm Breite, bzw. mit dem Fotospalt ein Bild der Hornhaut erstellt. Danach wurde der Spalt auf 1,0 mm verbreitert und es wurden Aufnahmen von Befunden der vorderen Augenkammer, der Iris sowie der Linse angefertigt. Hierbei variierte die Einstellung des Winkels zwischen Beleuchtungs- und Fotostrahlengang befundabhängig. Zur Aufnahme von spezifischen Befunden in der vorderen Augenkammer oder auf bzw. an der Iris oder der Linse wurde teilweise auch das punktförmige Licht in Zusammenhang mit einer stärkeren Vergrößerung gewählt. Das Auslösen der Bilder wurde durch Bedienung des Auslösers am Mikroskop mit dem Zeigefinger durchgeführt. Auch die Variante des Auslösens mittels Fußschalter per Fuß oder durch eine weitere Person per Hand wurde wahlweise verwendet. Nach Angaben des Herstellers erhöht sich die Zeit des Auslösens bei ungünstigem Kontrast, nicht exakter Fokusdistanz sowie ungünstigen Lichtbedingungen von 0,2 auf 0,9 Sekunden. Sobald nur eine dieser Komponenten nicht optimal gegeben ist, ist ein schnelles Auslösen der Aufnahme unmöglich.

Aufgrund von Beschwerlichkeit der Bilderstellung am stehenden Pferd wurde ein großer Teil der Aufnahmen bei in Narkose gelegten Pferden angefertigt und nur ein kleiner Teil am stehenden Pferd fortgeführt.

Die in Narkose liegenden Patienten wurden direkt nach dem Ablegen fotografiert. Bei Pferden mit Kurznarkose in der Aufwachbox, z.B. zur Entnahme von Kammerwasser, kniete der Untersucher neben dem liegenden Pferd und die Spaltlampe wurde per Hand gehalten. Bei längeren Operationen im Operationsaal wurde zur Stabilisierung des Gerätes ein Kamerastativ „Pro Tripod Black 055RROB“ der Firma Manfrotto mit Schwenkarm zur waagerechten Überbrückung des Weges über den liegenden Patientenkopf genutzt. Die Spaltlampe wurde über einen zusätzlichen „Profifriktionskugelkopf CB32FB-P“ der Firma Maki (FLM GmbH) am Stativ montiert. Somit ergab sich eine variable Bewegungsmöglichkeit des Spaltlampengerätes und die Spaltlampe konnte individuell für die jeweilige Liegeposition des Pferdes, die wiederum von der Lagerung, Tischhöhe oder auch den anatomischen Kopfverhältnissen abhängig ist, positioniert und fixiert werden. Bei dieser Variante eignete sich die Nutzung des Fußauslösers, mit dem durch das Auslösen entstandene Bewegungen der Spaltlampe umgangen werden konnten.



**Abb. 6/7: Anwendung der Hawk Eye Spaltlampe am liegenden Patienten**

**P: In Narkose liegender Patient, VS: Verwendetes Stativ**

**S: Schwenkarm zur Überbrückung**

**SL: Hawk Eye Spaltlampe**

### 3.2.3.2.5 Umfeld und Beleuchtung

Die Umgebung während der Aufnahmen stellt eine sehr wichtige Komponente bei der Fotografie des Pferdeauges dar. Wie schon erwähnt wirken optische und akustische Reize aus dem Umfeld störend auf den Umgang mit dem Pferd während der ophthalmologischen Untersuchung und der Fotografie. Weiterhin ist die Ausleuchtung des Raums ein wichtiger Faktor.

Zur ophthalmologischen Untersuchung eignet sich grundsätzlich immer ein möglichst stark abgedunkelter Raum, da jegliche Beleuchtungseinrichtungen Reflexionen an der Hornhaut hervorrufen können und eine korrekte Beurteilung erschweren. Solche Bedingungen sind nur in einem Untersuchungsraum ohne oder mit nur wenig Lichteinfall durch vorhandene Fenster oder in einer sehr dunklen Pferdebox erreichbar. Zur Erstellung von Fotografien sind noch deutlich höhere Anforderungen zu stellen, als an die Untersuchung, da eine Kompensation bzw. geistige Korrektur und Ausblendung der Artefakte durch die Erfahrung des Untersuchers auf den Abbildungen nicht zum Tragen kommt. Hingegen tritt bei sehr dunkler Umgebung das Problem der mangelnden Ausleuchtung des Auges bei Nutzung des Spaltlichtes auf.

Wird allein der Spalt verwendet, so ist auch allein dieser auf dem Foto sichtbar und eine topographische Zuordnung der Befunde nicht möglich. Aus diesem Grund kann beim Hawk Eye Spaltlampengerät der Fotospalt (Dioptrix Patent) eingeschwenkt werden. Dies ist die Funktion des Spaltlichts mit zusätzlicher beidseitig halbkreisförmiger Ausleuchtung des Gesichtsfeldes durch eine spezielle einschwenkbare Filterscheibe. Sie bietet die Möglichkeit einer Spaltaufnahme bei gleichzeitig ausgeleuchtetem Gesichtsfeld.

Da eine separate Drosselung der seitlichen Ausleuchtung jedoch nicht möglich war, wurden die Bilder teilweise mit der normalen Spaltfunktion durchgeführt und das Auge durch ein zusätzliches, von einer weiteren Person gehaltenes Licht (Handophthalmoskop) beleuchtet.

Bei in Narkose liegenden Pferden diente zur Anfertigung der Bilder bei Kurznarkosen die Zeit direkt nach dem Niederlegen in der Aufwachbox bzw. bei längeren Vollnarkosen die Zeit direkt nach Anschluss an das Narkosegerät oder bei Augenoperationen nach Vorbereitung des OP-Feldes.

Um einer fortschreitenden Austrocknung der Hornhaut bzw. einer Änderung der Beschaffenheit der Hornhautoberfläche entgegenzuwirken, wurde durch kontinuierliches, sehr häufiges Tropfen mit Alcon-BSS®-Lösung sowie auch mit Natriumchloridlösung auf die Hornhaut versucht, die zur Fotografie nötige Transparenz aufrecht zu erhalten.

Zur Vermeidung von Reflexionen durch das einfallende Licht der Deckenstrahler im Operationssaal wurde das Licht während der die Erstellung der Fotografien kurzfristig ausgeschaltet und das Auge, wie bereits erwähnt, mit einem zusätzlichen Licht ausgeleuchtet. Um das Auge nicht aufhalten zu müssen, bestand die Möglichkeit, einen Lidsperrer nach GERHARDS zur Hilfe zu nehmen.

#### **3.2.3.2.6 Zusatzoption Funduslinse**

Als zusätzliche Option bietet die Hawk Eye Spaltlampe die Möglichkeit, durch Nutzung einer Nichtkontakt-Linse (Funduslinse) den Fundus zu untersuchen und fotografisch festzuhalten. Die Linse wird in der vorgesehenen Vorrichtung in der Rotationsachse der Spaltlichteinheit fixiert.



**Abb.8: Funduslinse der Hawk Eye Spaltlampe**

Zur Untersuchung des Fundus ist eine Weitstellung der Pupille notwendig. Die Aufnahmetechnik entspricht im Allgemeinen der Technik der Übersichtsaufnahmen. Der Lichteinfall erfolgt im  $0^\circ$ -Winkel, der richtige Fokusabstand wird durch langsame Annäherung mit der Funduslinse Richtung Auge aufgesucht. Auch mit der Funduslinse wurden sowohl Aufnahmen am stehenden als auch am liegenden Pferd durchgeführt.

Zur Untersuchung des Fundus ist eine Weitstellung der Pupille notwendig. Die Aufnahmetechnik entspricht im Allgemeinen der Technik der Übersichtsaufnahmen. Der Lichteinfall erfolgt im  $0^\circ$ -Winkel, der richtige Fokusabstand wird durch langsame Annäherung mit der Funduslinse Richtung Auge aufgesucht. Auch mit der Funduslinse wurden sowohl Aufnahmen am stehenden als auch am liegenden Pferd durchgeführt.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Untersuchung und Fotografie

Die 100 untersuchten Pferde ließen alle eine Untersuchung im Stehen ohne Sedation zu. Die fotografische Dokumentation im Stehen erforderte hingegen ein sehr ruhiges Wesen des Tieres, sodass nur bei 16 von 80 Pferden unsediert erfolgreich fotografiert werden konnten. Die 64 weiteren fotografierten Pferde konnten mit dem Spalllampengerät maximal untersucht werden, fotografische Aufnahmen waren bei diesen Patienten stehend jedoch nicht erstellbar. Sie wurden deshalb nur im liegenden Zustand während der Operation fotografiert.

Grundsätzlich wurde von allen Pferden eine Übersichtsaufnahme angefertigt. Die darauf folgenden Aufnahmen variierten befundabhängig. Als Orientierungshilfe wurde vor Beginn der Untersuchung der Pferde die Fotografie des menschlichen Auges ausgeübt. Somit bestanden Vergleichsmöglichkeiten in Bezug auf die Geräteeinstellung, die Größendimensionen im Vergleich zum Pferdeauge sowie auch bezüglich der Artefakte, die z.B. durch Bewegungen ausgelöst werden.

## 4.2 Fotografische Dokumentation

### 4.2.1 Verschiedene Beleuchtungsmethoden

#### 4.2.1.1 Übersichtsbeleuchtung

Es sollte grundsätzlich zu Beginn jeder Untersuchung eine Übersicht gewonnen werden. Bei voll geöffnetem Lichtdurchlass kann beim menschlichen Auge mit dem Spaltlampengerät Hawk Eye eine Übersicht über die gesamte Irisfläche im zirkulär ausgeleuchteten Feld gewonnen werden.

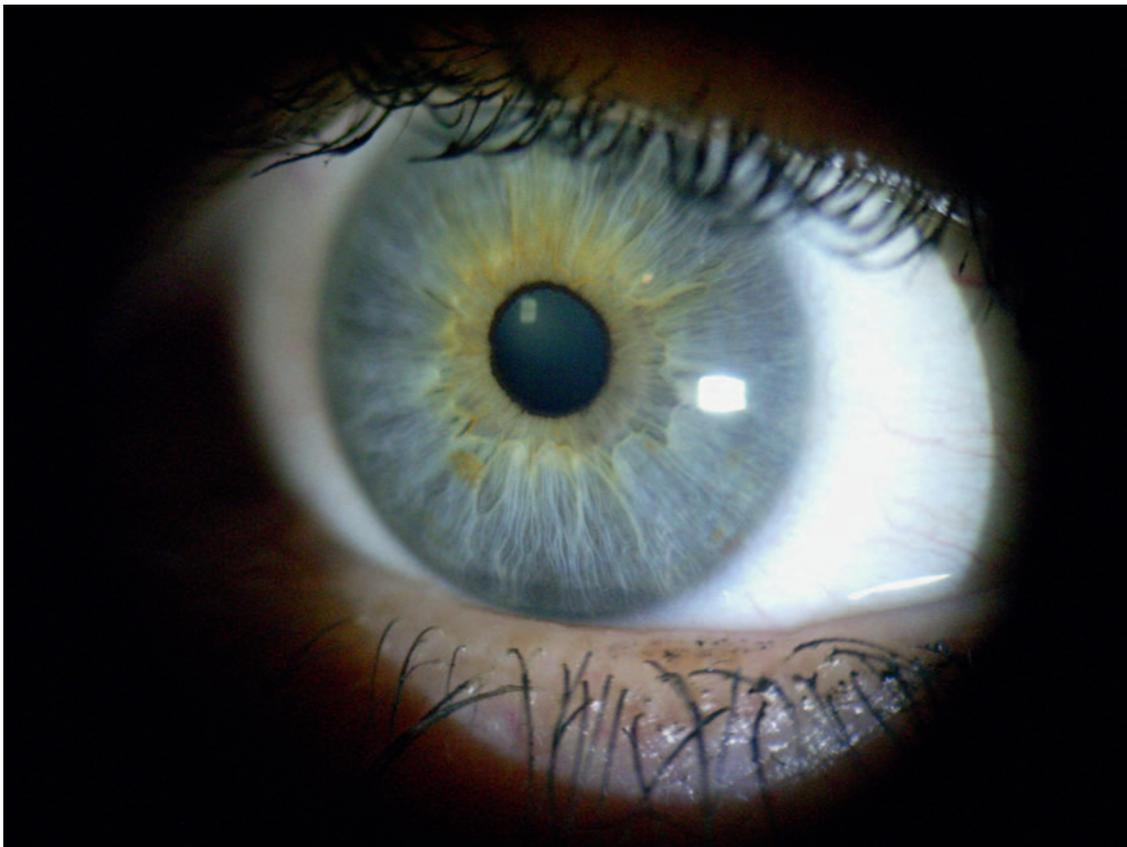
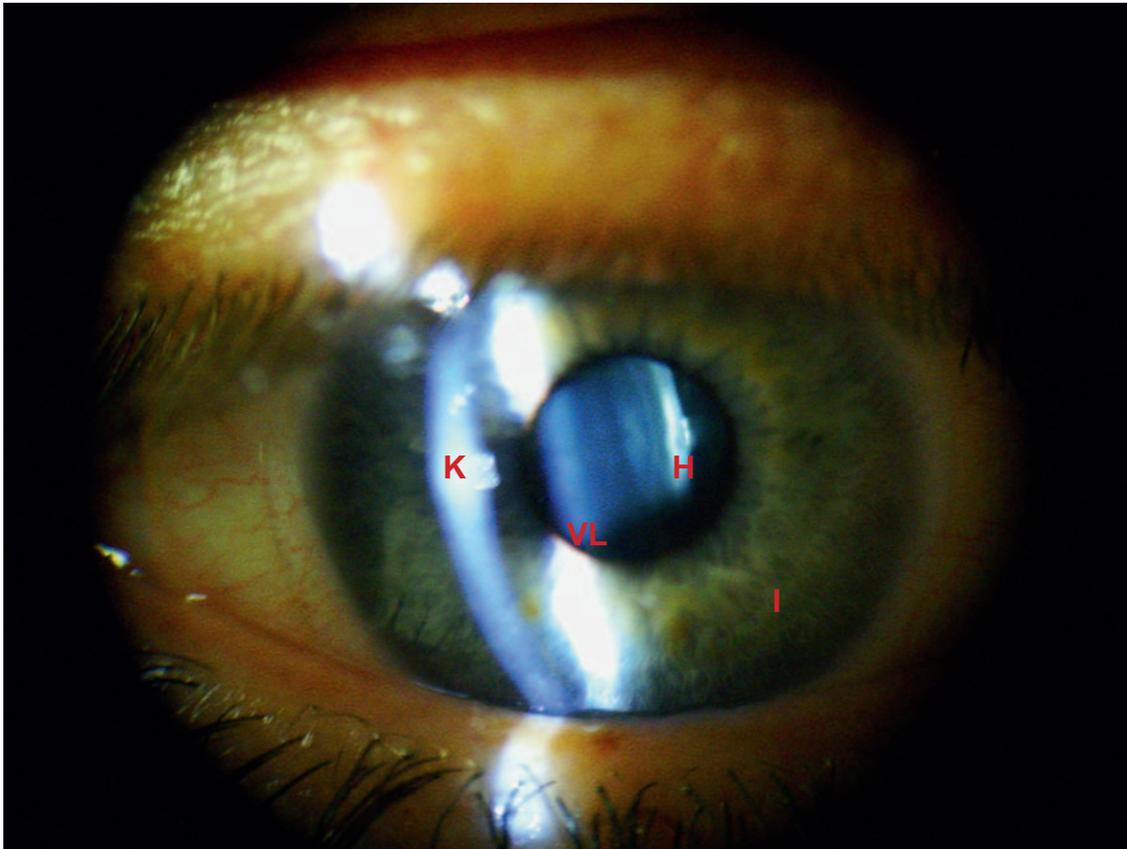


Abb. 9: 34-jährige Frau, OS, Normalbefund

Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5

### 4.2.1.2 Direkte Beleuchtung

#### 4.2.1.2.1 Direkte diffuse Beleuchtung



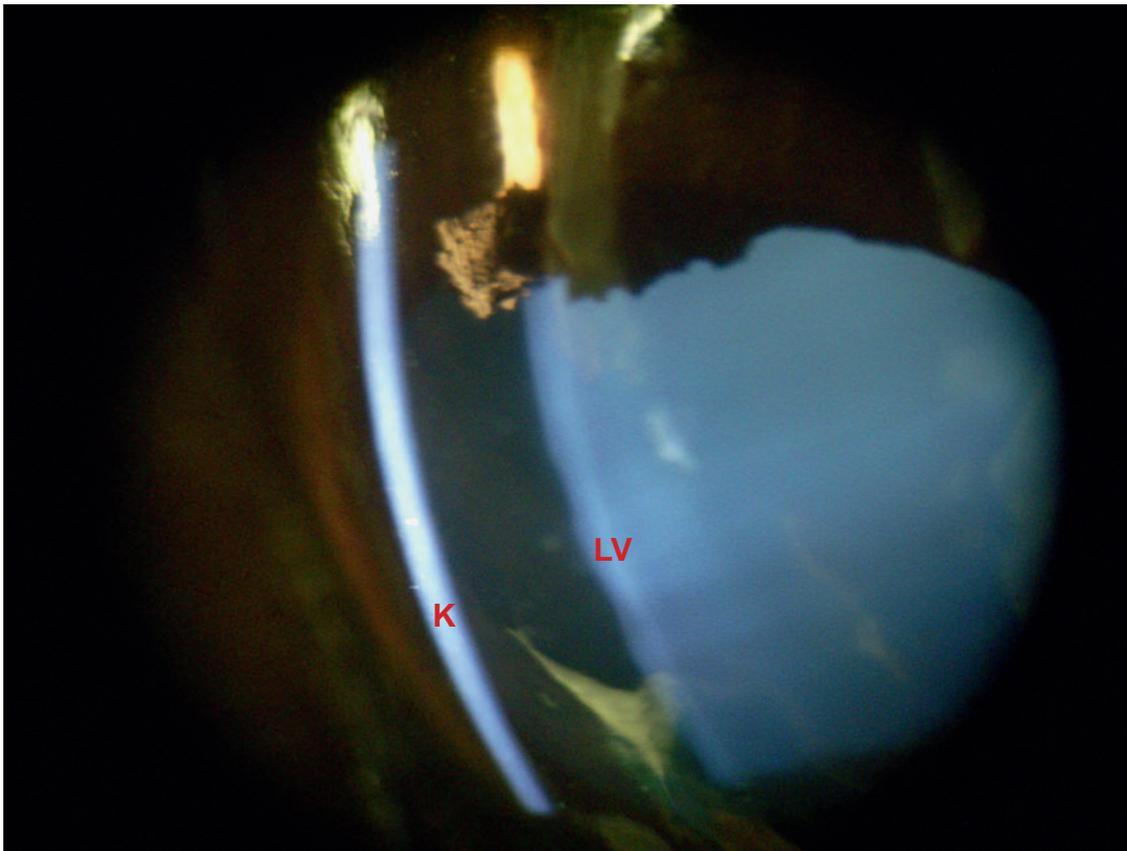
**Abb. 10: 29-jährige Frau, OD, Normalbefund**

**Beleuchtung mit 1,0 mm breitem Spalt, Vergrößerung: x12,5**

**K: Kornea, VL: Vordere Linsenkapsel, H: Hintere Linsenkapsel**

**I: Iris**

Abbildung 10 zeigt das gesunde rechte Auge einer 29-jährigen Frau bei direkter diffuser Beleuchtung. Wie auf diesem Bild erkennbar, wird bei einem Mikroskopwinkel von  $0^\circ$  und einem Winkel der Spaltbeleuchtungseinrichtung von ca.  $30-40^\circ$  eine gute allgemeine Betrachtung der vorderen Augenabschnitte wie auch von Linsen- und Hornhautoberfläche ermöglicht.



**Abb. 11: Stute, Warmblut, 15-Jahre, OD, Normalbefund**

**Beleuchtung mit 1,0mm breitem Spalt, Vergrößerung: x12,5**

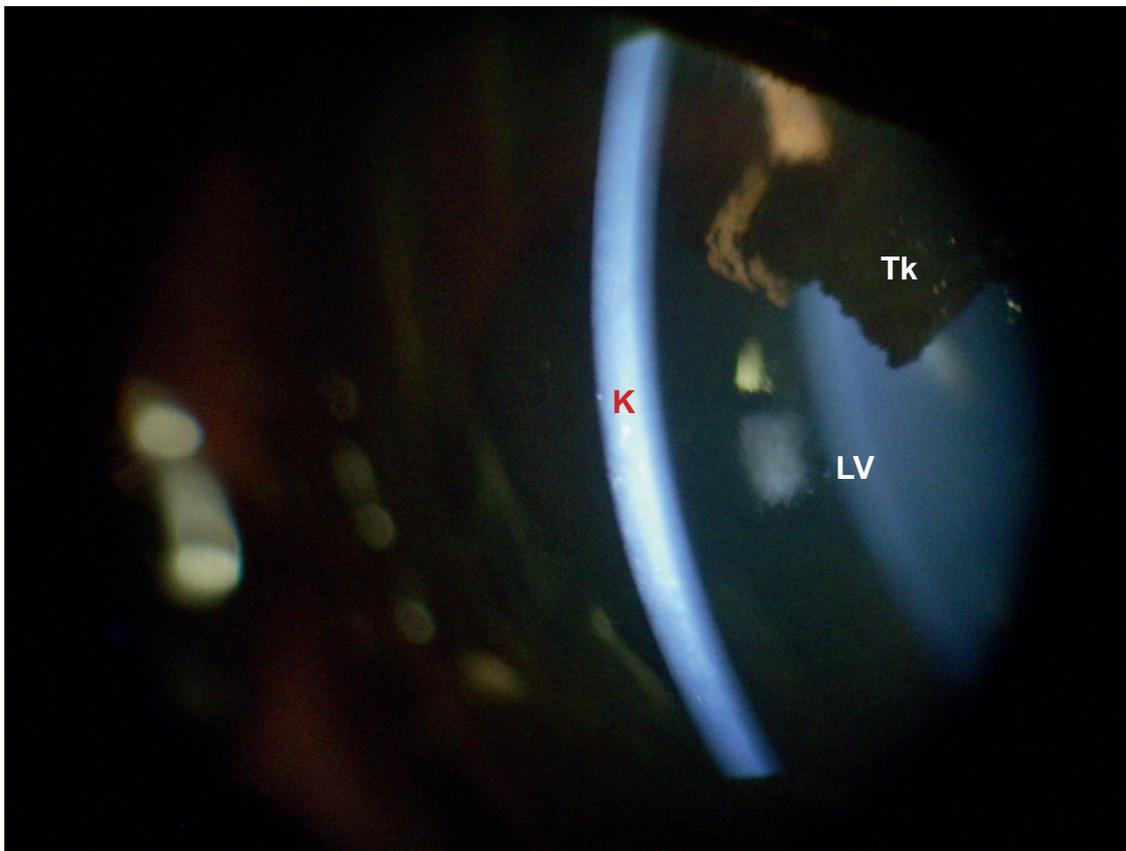
**K: Kornea, VL: Vordere Linsenkapsel**

Abbildung 11 zeigt das gesunde rechte Auge einer 15-jährigen Warmblutstute. Ebenfalls mit direkter diffuser Beleuchtung bei 1,0mm breitem Spaltlicht kann hier eine Übersicht über die vorderen Augenabschnitte gewonnen werden. Jedoch wird im Vergleich zu Abb.10 deutlich, dass aufgrund der Größe des Pferdeauges anders als beim menschlichen Auge nicht der gesamte vordere Augenabschnitt beurteilt werden kann. Der Spalt deckt in seiner Länge den vertikalen Hornhautäquator zwischen den Lidspalten nicht durchgehend ab. Weiterhin ist es fotografisch nicht möglich, mit gleicher Leichtigkeit wie beim menschlichen

Auge den Lichtstrahl bei Durchdringung der verschiedenen Medien des Pferdeauges bis hin zur hinteren LinsenkapSEL festzuhalten.

#### 4.2.1.2.2 Direkte fokale Beleuchtung

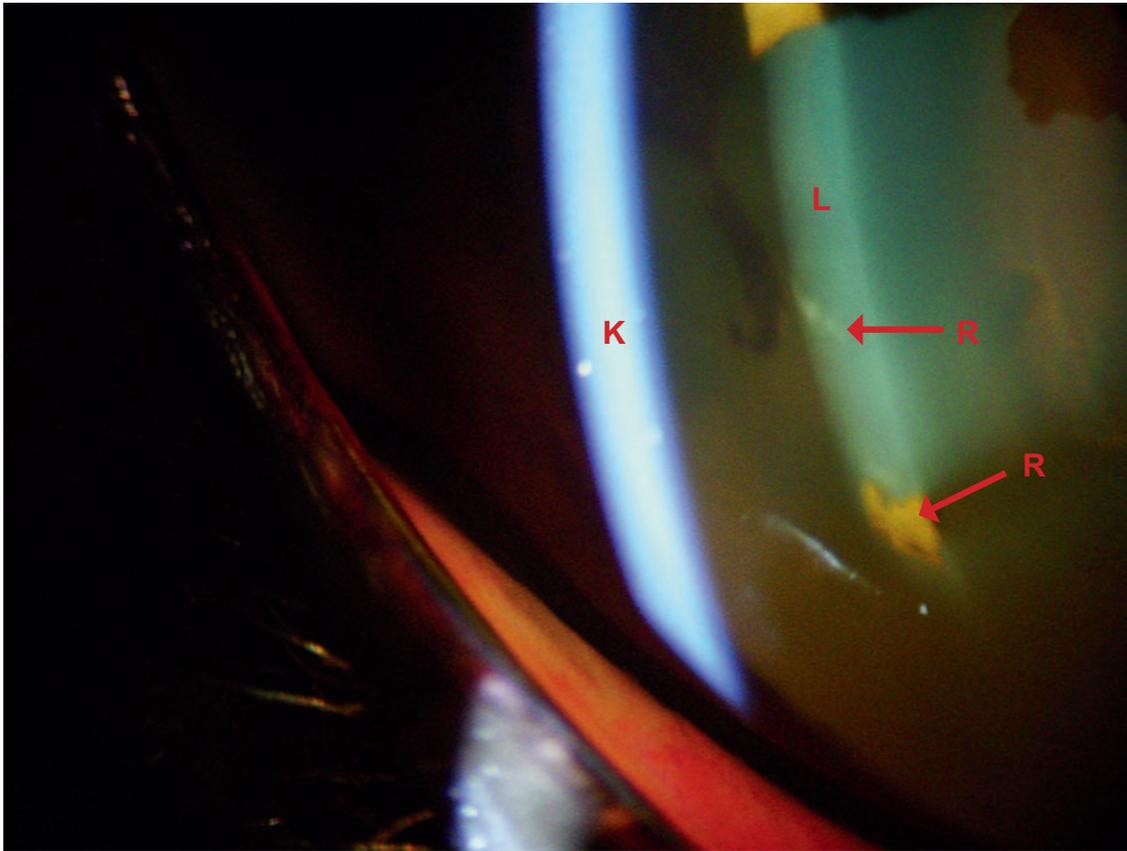
##### 4.2.1.2.2.1 Hornhautbetrachtung mit breitem Spalt



**Abb. 12: Wallach, Islandpferd, 14 Jahre, OD, Normalbefund**  
**Beleuchtung mit 1,0mm breitem Spalt, Vergrößerung: x12,5**  
**K: Kornea, Tk: Traubenkorn, LV: Linsenvorderfläche**

Die Beobachtung im optischen Schnitt ist die häufigste angewandte Methode zur Spaltlampenuntersuchung und kann mit breitem und schmalem Spalt durchgeführt werden. Abb. 12 stellt ein Schnittbild der Hornhaut eines 14-jährigen Isländerwallachs bei 1,0mm breitem Spalt dar. Das Foto zeigt die Hornhaut als

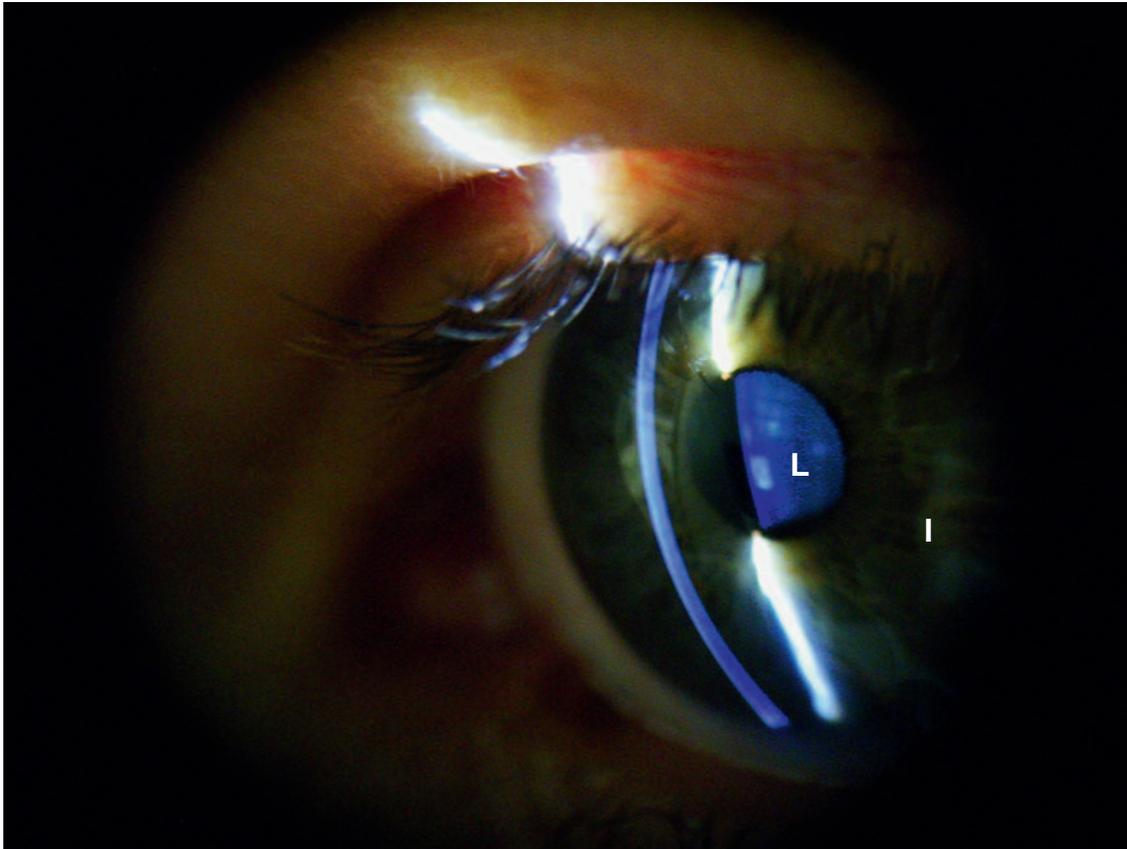
einen parallelfächigen, optischen Block illuminierten Gewebes. Bei Hornhautdefekten wäre mit dieser Technik eine gute Tiefenlokalisierung von Veränderungen möglich.



**Abb. 13: Hengst, Shagya-Araber, 5 Jahre, OD, ERU**  
**Beleuchtung mit 1,0mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**  
**K: Kornea, L: Linse,**  
**R: Irisresiduen auf der Linsenvorderfläche**

Abbildung 13 zeigt ebenfalls die Beleuchtung mit breitem Spalt. Die vordere Augenkammer des 5-jährigen, an equiner rezidivierender Uveitis erkrankten Hengstes weist eine ggr. verminderte Transparenz auf. Die Linse erscheint als leicht grünlich gefärbter, trüber Gewebblock. Auf der Linsenvorderfläche sind Irisresiduen erkennbar, die kein Licht durch die Linse hindurch lassen und einen Schatten hinter sich werfen.

#### 4.2.1.2.2.2 Hornhautbetrachtung mit schmalen Spalt

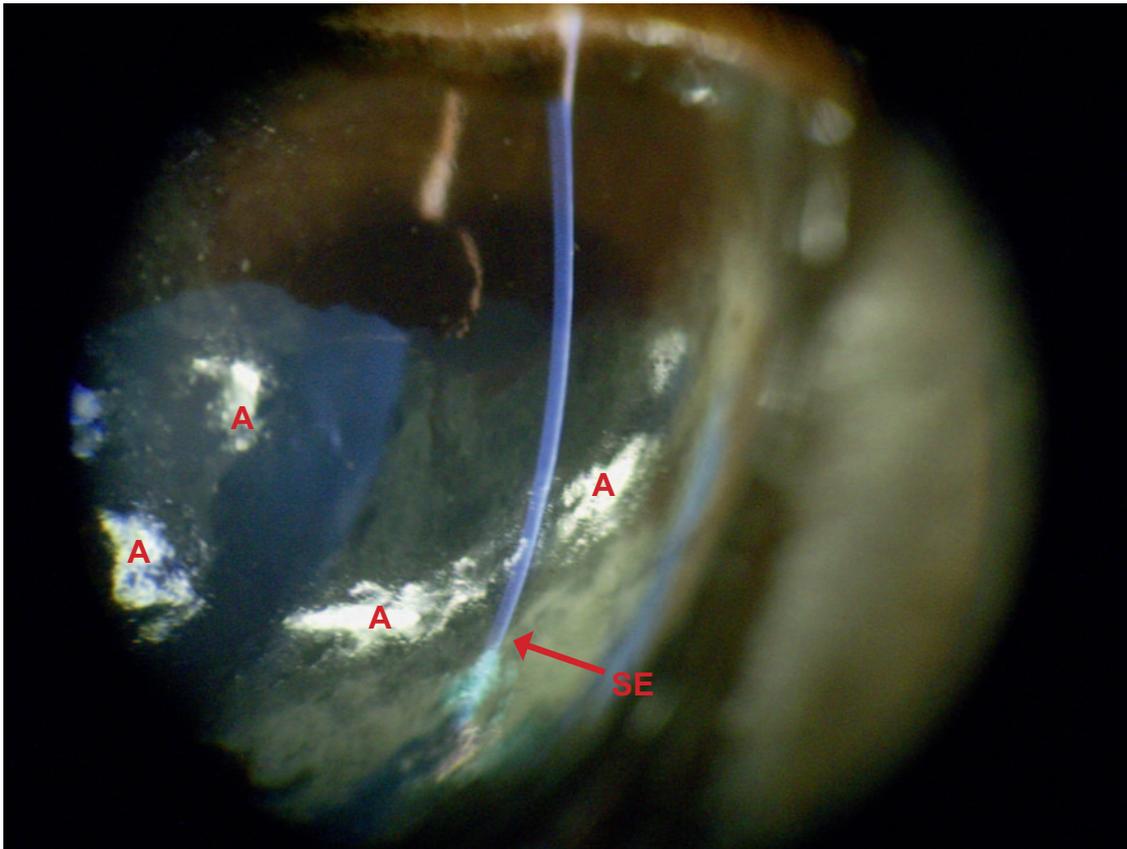


**Abb. 14:** 29-jährige Frau, OS, Normalbefund

**Beleuchtung mit 0,2 mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**

**L: Linse, I: Iris**

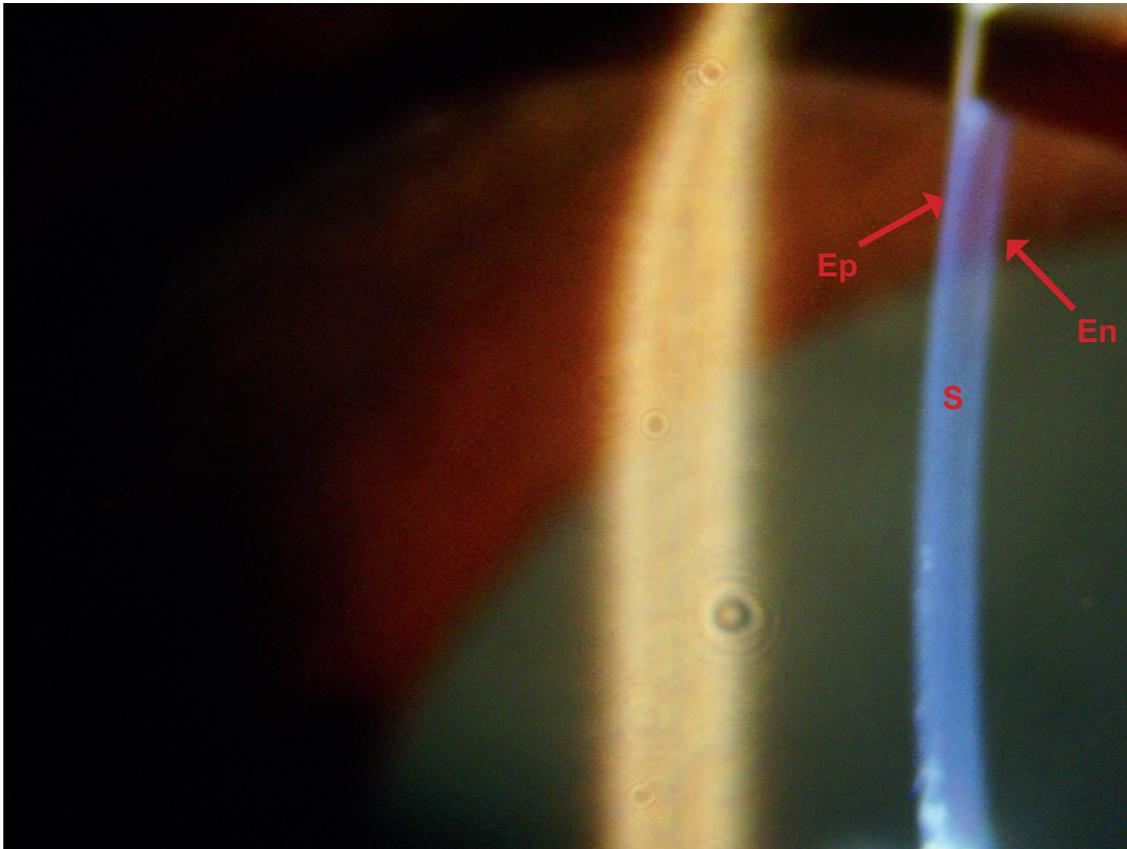
Durch Verwendung des schmalen Spalts kann die Kornea detailliert beurteilt werden. In Abbildung 14 wird eine exakte Darstellung der gesunden Hornhaut durch Betrachtung bei 0,2mm schmalen Spalt gezeigt. Die Hornhaut erweist sich im Bereich des optischen Schnitts als durchgehend unversehrt.



**Abb. 15: Stute, Bayerisches Warmblut, 12 Jahre, OS, Normalbefund  
Beleuchtung mit 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5  
SE: Spaltlichtende, A: Artefakte durch Raumbelichtung**

In Abb.15 ist ein exakter Schnitt durch die Hornhaut einer 12-jährigen Bayerischen Warmblutstute abgebildet. Mit dem 0,2mm schmalen Spalt kann die Kornea in ihrer Form, Erhabenheit und Dicke evaluiert werden. Auf diesem Foto lässt sich die Hornhaut aufgrund der Dimensionen des Pferdeauges nur zur Hälfte ihrer vertikalen Länge detailliert beurteilen, dann verliert sich der Spalt aufgrund seiner begrenzten Längenausmaße.

#### 4.2.1.2.2.3 Hornhautschichten



**Abb. 16: Wallach, Warmblut, 10 Jahre, OD, Normalbefund**

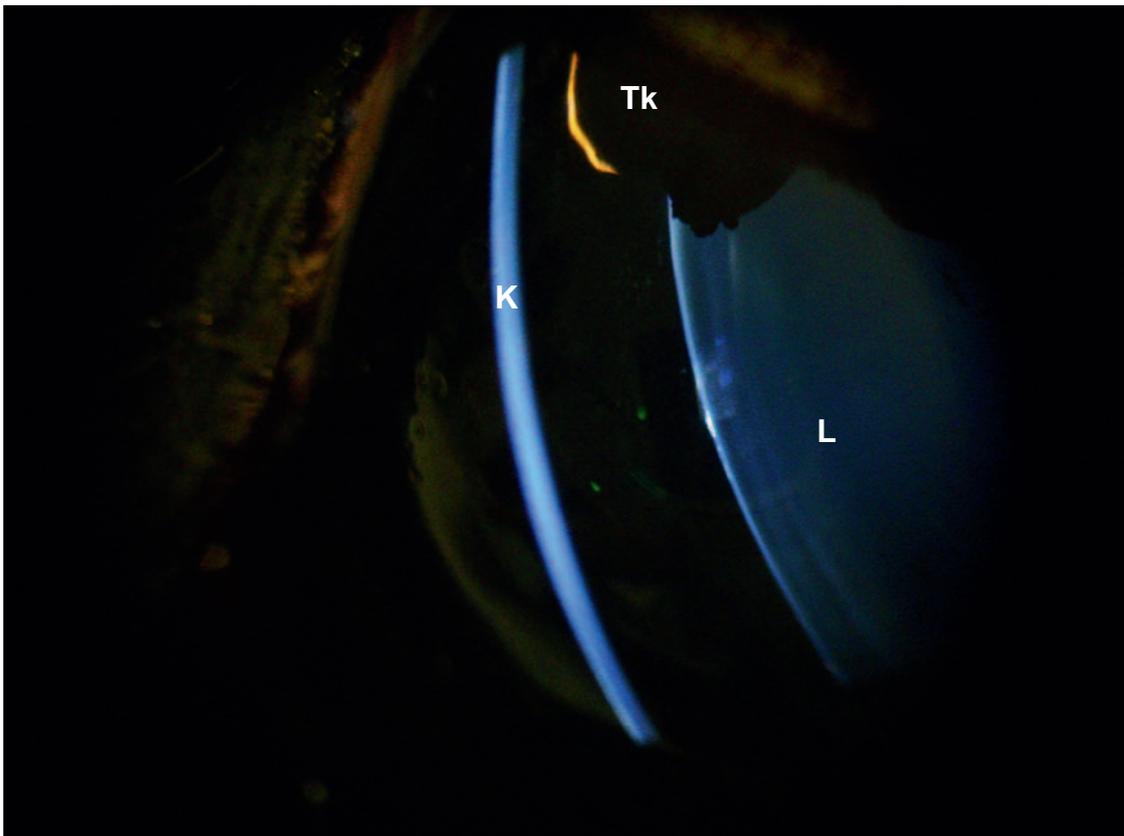
**Beleuchtung mit 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x20**

**Ep: Epithel der Kornea, En: Endothel der Kornea, S: Stroma**

Unter starker Vergrößerung können mit dem schmalen Spalt die einzelnen Schichten der Hornhaut erkannt werden. Die vordere scharfe Linie wird durch den Tränenfilm gebildet. Die dunkle Zone darunter zeigt das Epithel. Die breiteste, sich diffus grau und transparent darstellende Schicht bildet das Hornhautstroma. Bei guter Einstellung bilden sich dahinter als breite, tiefe Linie die Descemetsche Membran und das Endothel ab.

In Abbildung 16 sind die einzelnen Schichten nur ansatzweise erkennbar. Während der Untersuchung war eine detailliertere Schichtdifferenzierung möglich, diese ließ sich jedoch fotografisch leider nicht darstellen. Grund dafür scheint vor allem die hohe Vergrößerung der Aufnahme zu sein.

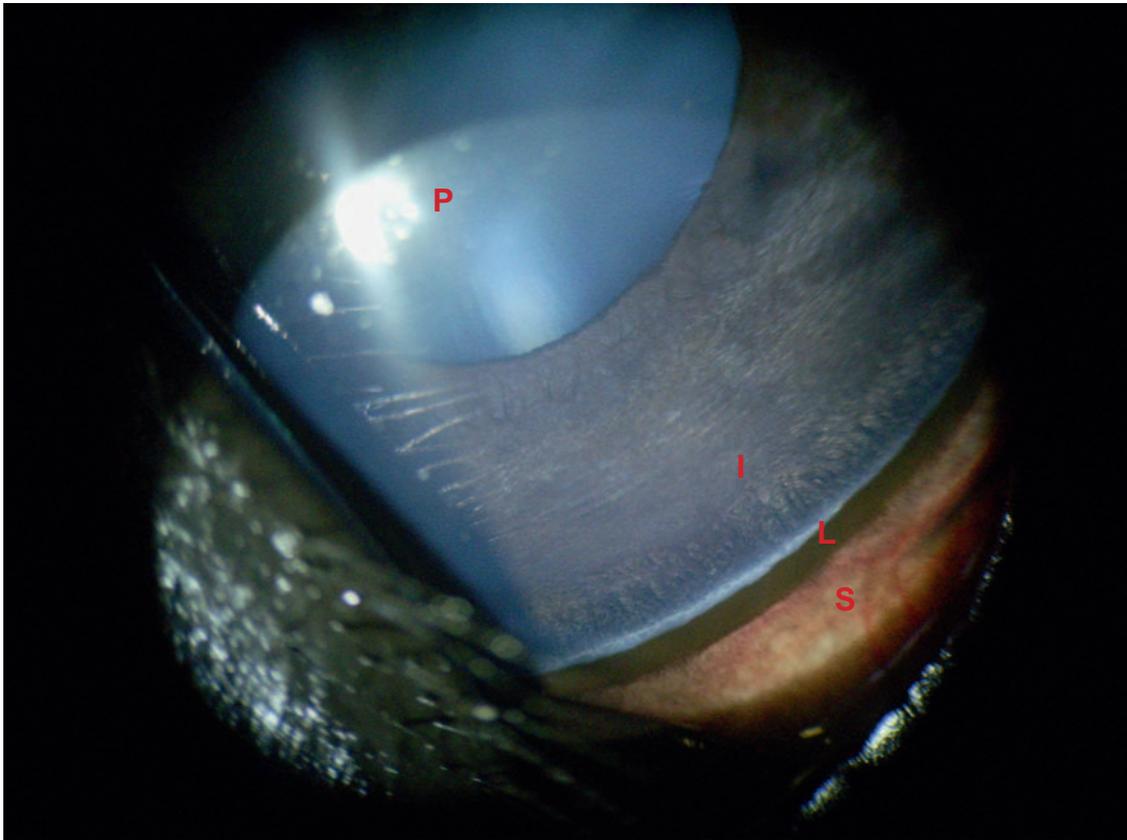
#### 4.2.1.2.2.4 Schnitt durch die vordere Augenkammer



**Abb. 17: Wallach, Holsteiner, 12 Jahre, OS, ERU**  
**Aufnahme mit 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**  
**Hornhaut und vordere Augenkammer o.b.B.,**  
**auf der Linsenvorderfläche zentral ggr. Auflagerungen**  
**Tk: Traubenkorn, L: Linse, K: Kornea**

Der Schnitt mittels Spaltlicht durch die vordere Augenkammer ermöglicht eine schnelle Erkennung von Veränderungen des Kammerwassers, eine Einschätzung der Kammertiefe wie auch der Erkennung verschiedener Befunde.

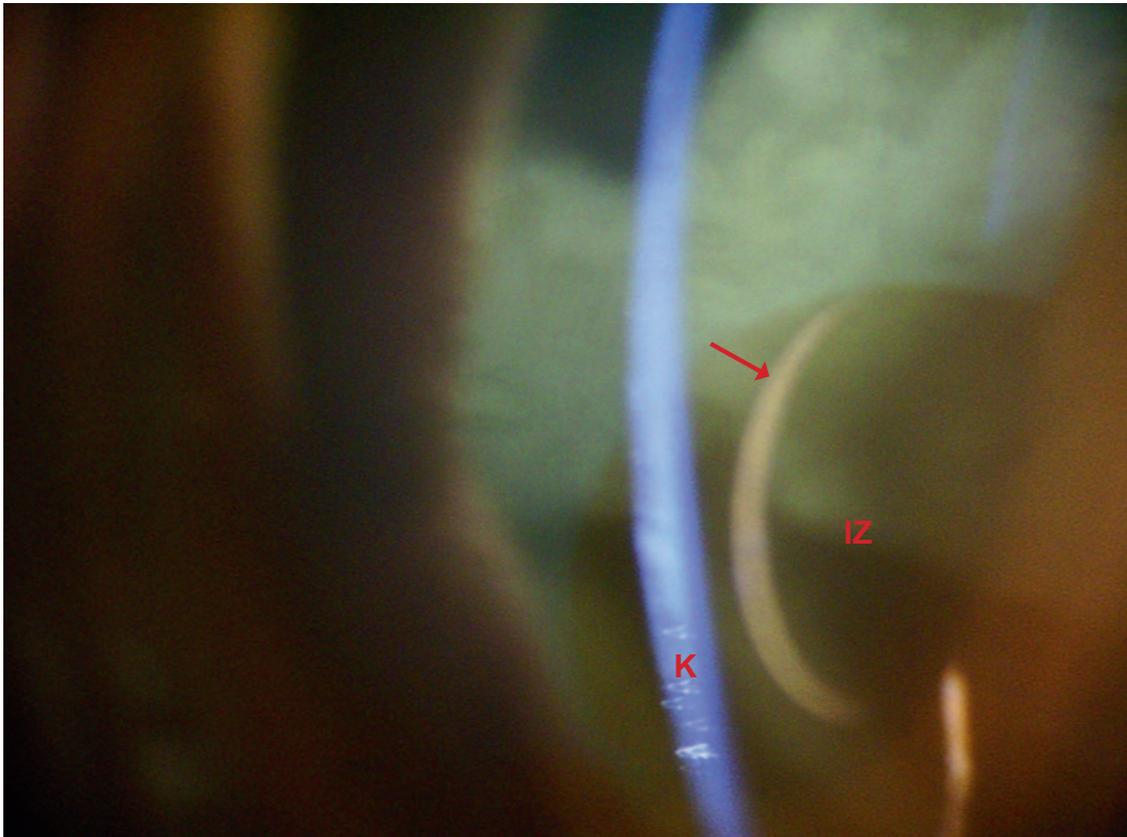
#### 4.2.1.2.2.5 Zweidimensionale Irisbetrachtung



**Abb. 18: Wallach, Westfälisches Warmblut, 9 Jahre, OS, Normalbefund**  
**Direkte fokale Beleuchtung, Vergrößerung: x 12,5**  
**P: Pupille, I: Iris, S: Sklera, L: Limbus**

Das Pferdeauge ist zu groß, um mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät die komplette Iris zu betrachten und zu fotografieren. In Abbildung 18 wird deutlich, dass die Iris als nicht transparenter Abschnitt sich annähernd zweidimensional präsentiert.

#### 4.2.1.2.2.6 Tangentiales Streifen mit dem Spalt

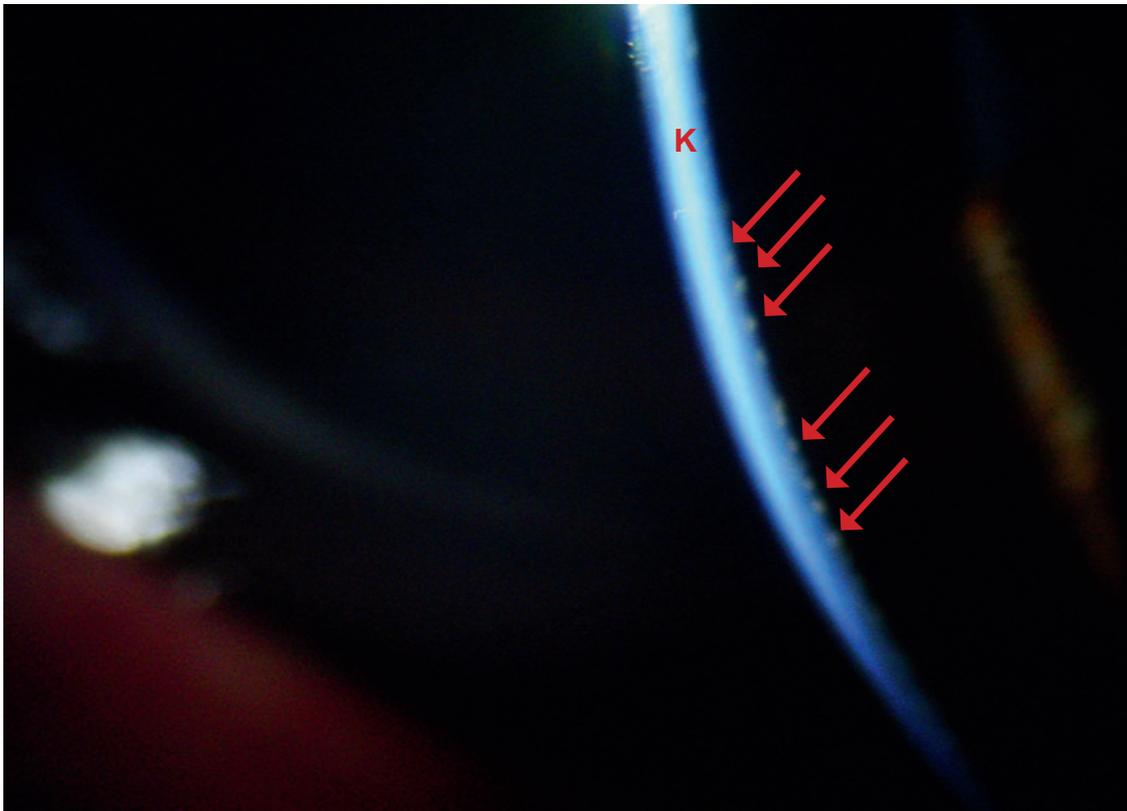


**Abb. 19: Wallach, Westfälisches Warmblut, 13 Jahre, OD**  
**Beleuchtung mit 1,0mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**  
**K: Kornea, IZ: Iriszyste**  
**Pfeil: Spaltbeleuchtung auf der Zystenoberfläche**

Die nichttransparenten Abschnitte werden mit tangentialer Beleuchtung untersucht. Aus einem schrägen Winkel einfallend bewirkt der Lichtspalt eine Schattenbildung sowie das Aufleuchten unregelmäßiger Strukturflächen.

Abbildung 19 zeigt einen Wallach mit Iriszyste. Die runde und glatte Oberflächenstruktur der Zyste wird durch die Beleuchtung hervorgehoben.

#### 4.2.1.2.3 Spiegelnde Reflexionen



**Abb. 20:** Stute, Warmblut, 18 Jahre, OS, Keratitis bds.

**Aufnahme am stehenden Patienten**

**direkte Beleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

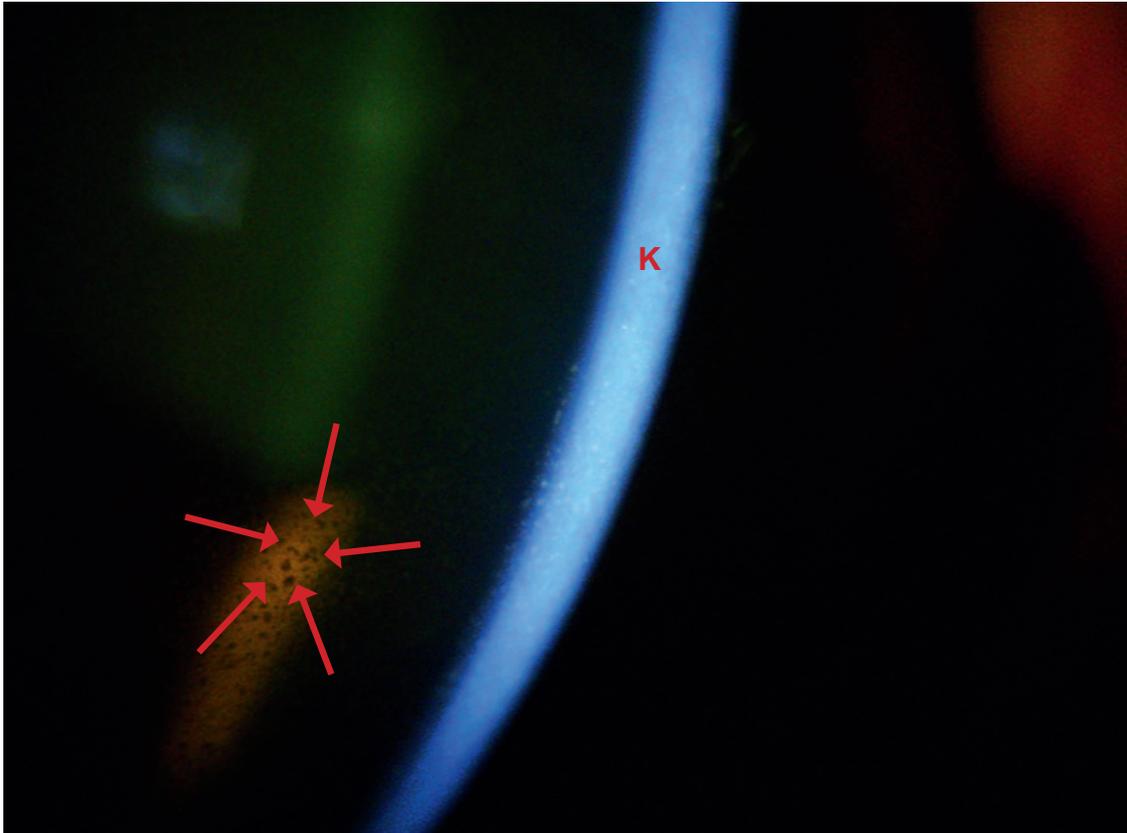
**Pfeile: Endotheliale Auflagerungen der Kornea, K: Kornea**

Mittels Spiegelreflexionen lässt sich, wie auch bei der 18-jährigen Stute von Abbildung 20, hervorragend die Intaktheit der Hornhaut beurteilen. Bei geringer Vergrößerung und schmalen Spalt können diese Reflexe vor allem zur Bewertung der allgemeinen Beschaffenheit des Korneaendothels beitragen. Problematisch erwies sich bei der Aufnahme, dass die endothelialen Auflagerungen der Kornea des abgebildeten Auges zwar gut mit der Spaltlampe zu erkennen waren, aber wegen ihrer Kontrastarmut und vieler störender Artefakte die Fo-

tografie dieses Befundes erschwert wurde. Ein weiteres Hindernis war, dass dieser Patient nicht in Narkose gelegt wurde. Die Aufnahmen fanden deshalb am stehenden Pferd statt, sodass durch die häufigen Kopfbewegungen die Erstellung qualitativ guter Aufnahmen sehr erschwert wurde.

### 4.2.1.3 Indirekte Beleuchtung, Retroillumination

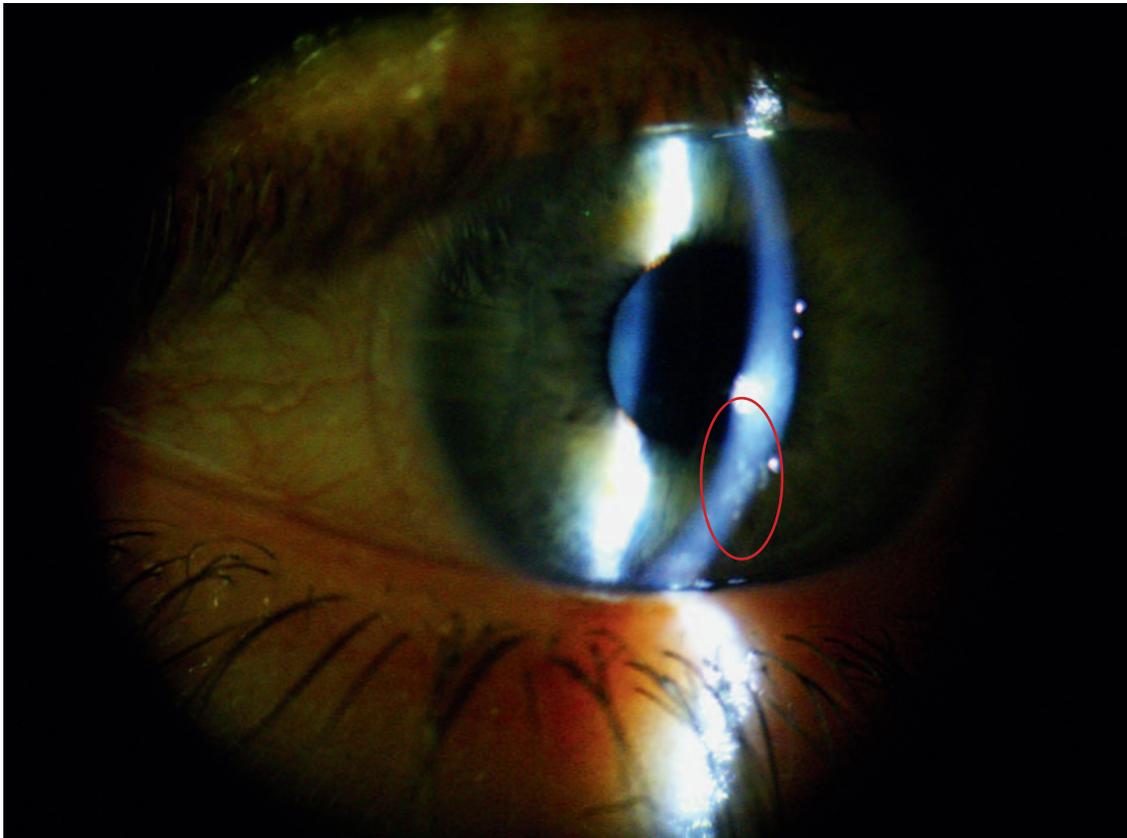
#### 4.2.1.3.1 Direkte Retroillumination



**Abb. 21: Stute, Araber-Berber, 10 Jahre, OS, ERU bds.  
Direkte Retroillumination, Vergrößerung: x12,5  
Pfeile: Hornhaut-Endothelauflagerungen vor beleuchtetem  
Irisabschnitt, K: Kornea**

Wie auch in der vorherigen Abbildung werden in Abbildung 21 endotheliale Auflagerungen gezeigt, in diesem Falle jedoch mittels direkter Retroillumination. Das Spaltlicht wird an der Iris reflektiert und hellt indirekt die Auflagerungen des Korneaendothels retrograd auf. In Abbildung 21 erscheinen die trüben Veränderungen dunkel vor dem hell aufleuchtenden Irisabschnitt.

#### 4.2.1.3.2 Indirekte Retroillumination



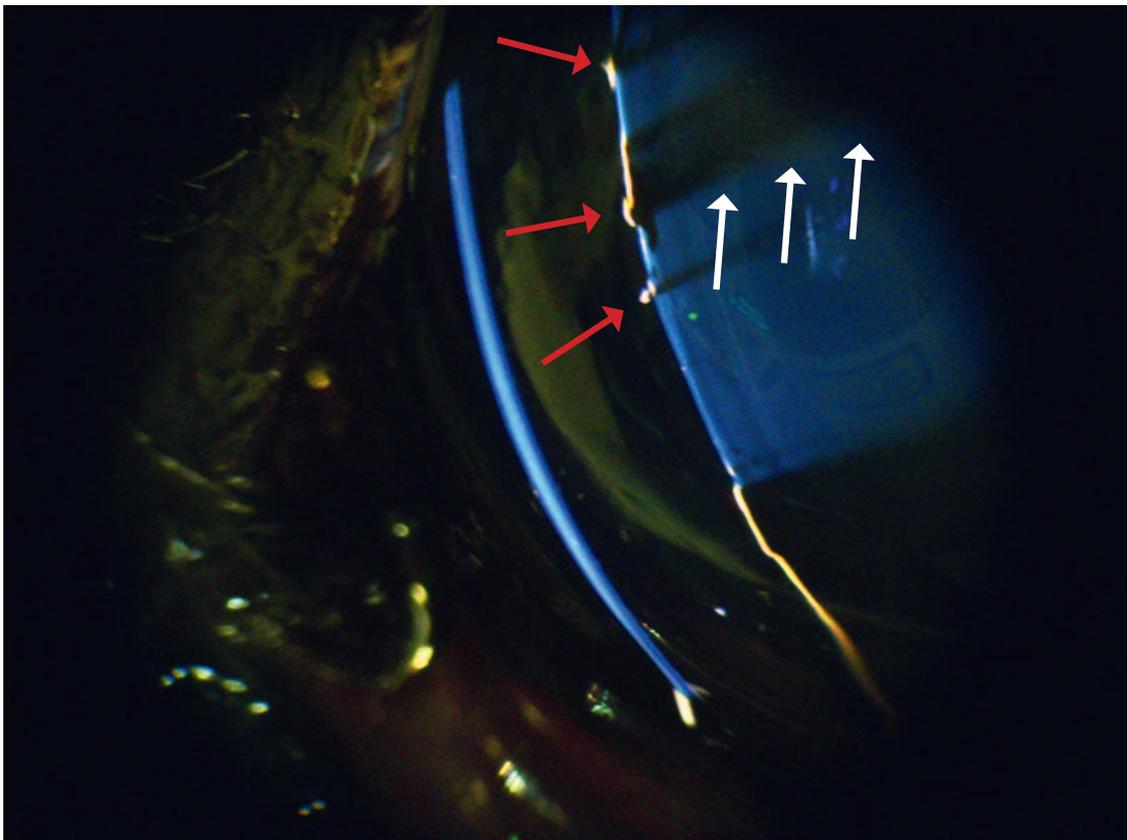
**Abb. 22: 29-jährige Frau, OD mit Kontaktlinse**  
**Indirekte Retroillumination, Vergrößerung: x12,5**  
**Ellipse: Proteinablagerungen auf der Kontaktlinse**

Das Foto der 29-jährigen Kontaktlinsenträgerin in Abbildung 22 verdeutlicht das Prinzip der indirekten Retroillumination. Bei dieser Beleuchtungstechnik bewirkt das reflektierte Licht eine bessere Erkennung transparenter Veränderungen. Wie in Abbildung 22 können derartige Läsionen oder Niederschläge vor einem dunklen Hintergrund, hier vor dem unbeleuchteten Anteil der Iris, als helle Veränderungen identifiziert werden. Ursache der in Bild 22 erkennbaren hellen Flecken sind Proteinablagerungen an der Innenseite der Kontaktlinse. Die Hornhaut selbst ist in diesem Fall nicht betroffen.

#### 4.2.1.4 Direkte und indirekte Beleuchtung

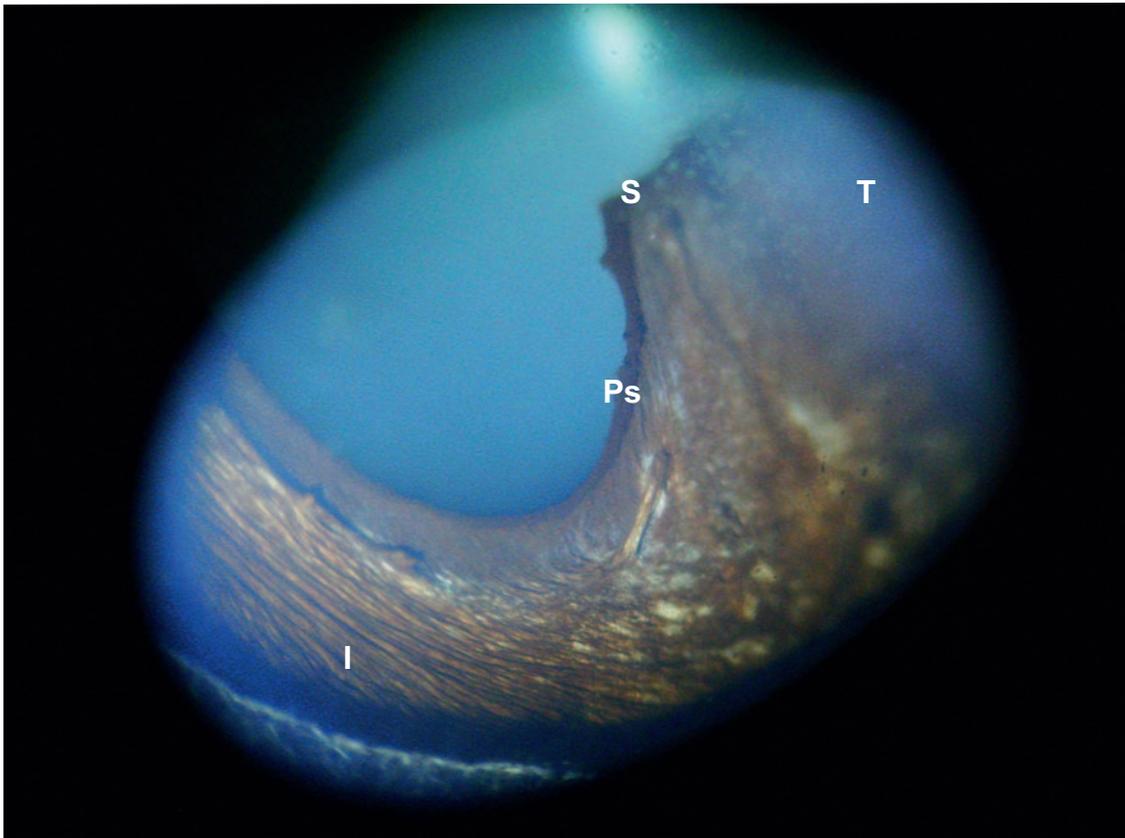
Die folgenden Abbildungen verdeutlichen, welche verschiedenen Auswirkungen Veränderungen – sowohl bei direkter Beleuchtung als auch bei der Retroillumination – auf den Verlauf des ein- oder ausfallenden Lichtes haben können.

##### 4.2.1.4.1 Obstruktive Veränderungen



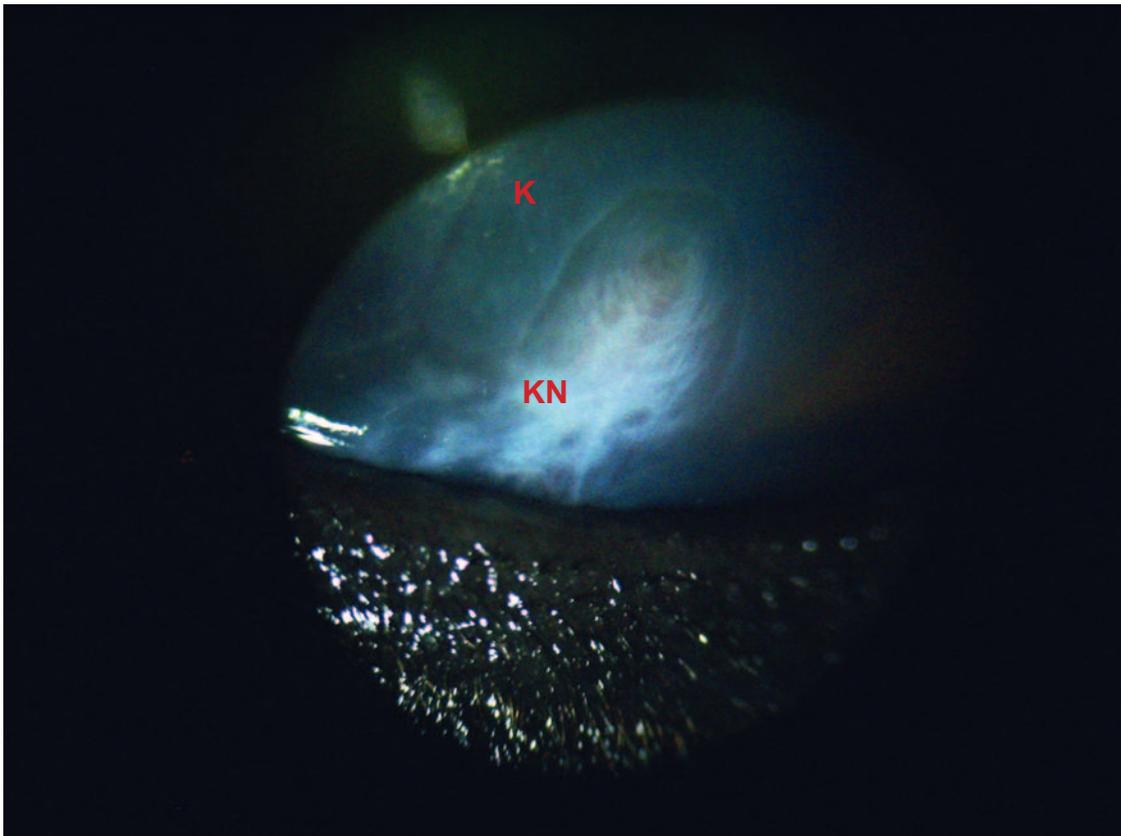
**Abb. 23:** Wallach, Warmblut, 12 Jahre, OS, Zustand vor Synechiolyse  
Abgedunkelter Raum ohne Zusatzbeleuchtung  
0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5  
Direkte fokale Beleuchtung  
Pfeile rot: Irisresiduen auf der Linse  
Pfeile weiß: Durch Residuen verursachte Schatten

Abbildung 23 zeigt das linke Auge eines 12-jährigen Wallachs mit multiplen Irisresiduen als Folge von hinteren Synechien bei ERU. Die Residuen blocken den Lichtstrahl ab und wirken dadurch als obstruktive Veränderungen.



**Abb. 24: Wallach, Vollblut, 6 Jahre, OS, Zustand vor Synechiolyse**  
**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**  
**T: Korneatrübung, S: Hintere Synechie, Ps: Pupillarsaum,**  
**I: Iris**

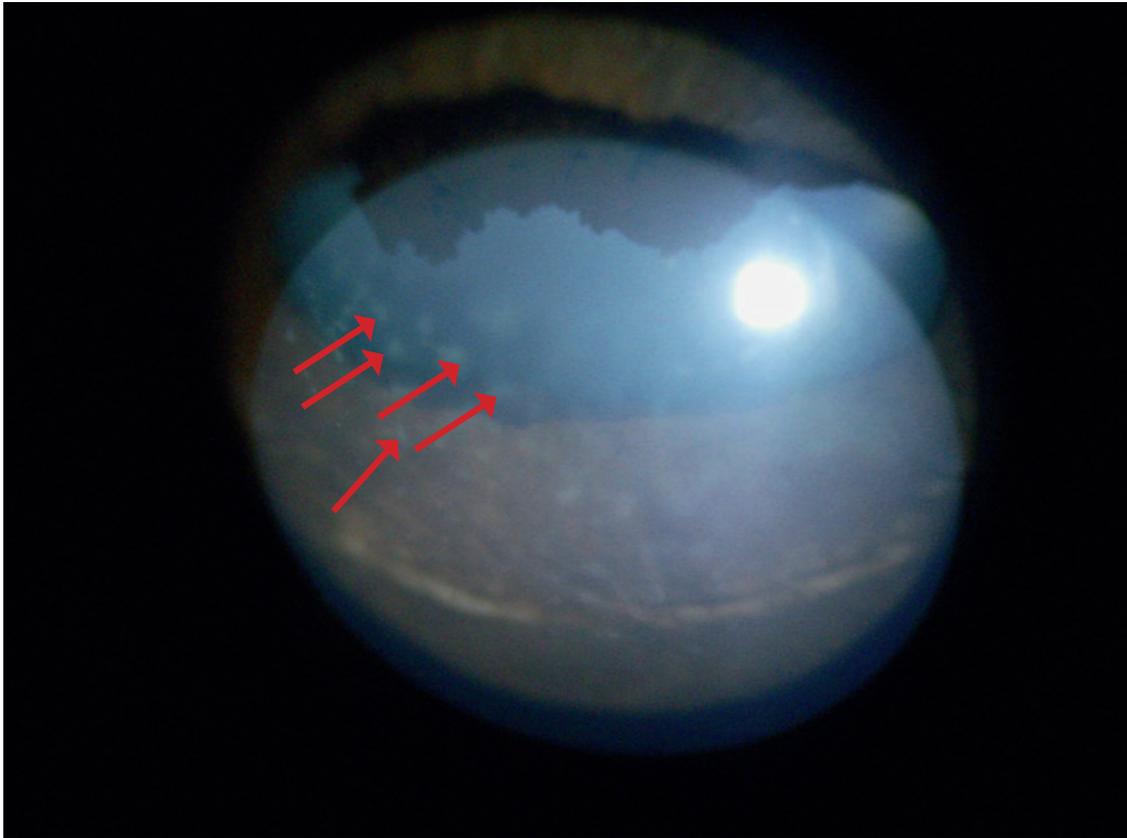
Ebenfalls obstruktiv agieren die fast flächhaften punktförmigen Hornhauttrübungen des Vollblutwallachs in Abbildung 24. Im Bereich dieser Trübungen ist die dahinter liegende Synechie der Iris mit der Linse nur im ventronasalen Irisabschnitt teilweise zu sehen, ein großer Anteil wird durch die Hornhauttrübung verdeckt und abgeschattet.



**Abb. 25: Wallach, Warmblut, 13 Jahre, OS**  
**Hornhautnarbe nach Trauma**  
**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**  
**K: Kornea, KN: Korneanarbe**

Auch Narbengewebe kann obstruktiv den Lichteinfall verhindern. Der Patient in Abbildung 25 zeigt eine ca. 0,5 x 0,7 cm große, weißliche, mit Blutgefäßen versorgte und bereits vernarbte Hornhautveränderung, hinter der das Irisgewebe nicht mehr erkennbar ist.

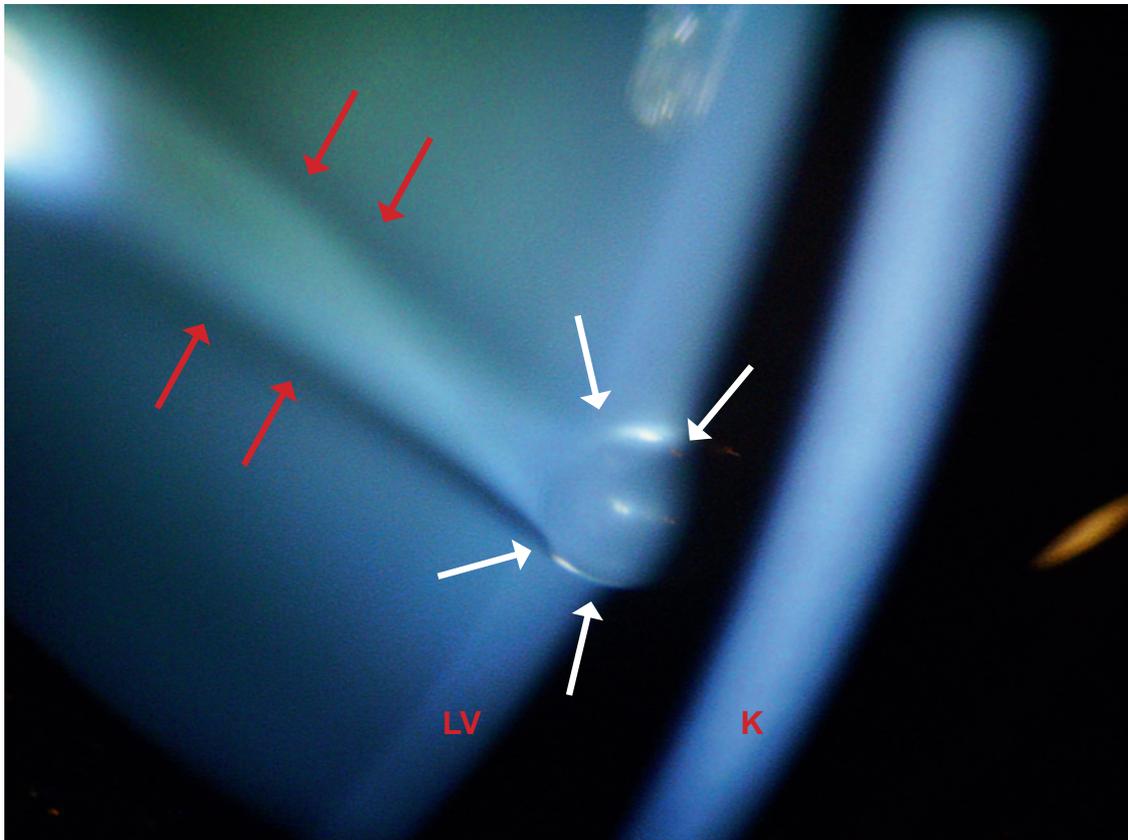
#### 4.2.1.4.2 Lichtdurchlässige Veränderungen



**Abb. 26: Wallach, Warmblut, 15 Jahre, OS, Keratitis punctata**  
**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**  
**Pfeile: Punktförmige Trübungen der Kornea**

Im Gegensatz zu den obstruktiven Veränderungen verhalten sich die lichtdurchlässigen Veränderungen. Sie zeigen zwar keine vollständige Transparenz, lassen jedoch noch Licht hindurch treten und die Iris ist erkennbar. Solche lichtdurchlässigen Veränderungen sind in Abbildung 26 zu sehen. Es handelt sich um das linke Auge eines 15-jährigen Warmblutwallachs mit einer Keratitis punctata.

#### 4.2.1.4.3 Lichtbrechende Veränderungen



**Abb. 27: Wallach, Rheinl. Warmblut, 8 Jahre, OD**

**Vakuoläre Veränderung im Bereich der Linsenvorderfläche**

**Fokale Beleuchtung bei 1,0 mm Spaltbreite, Vergrößerung: x20**

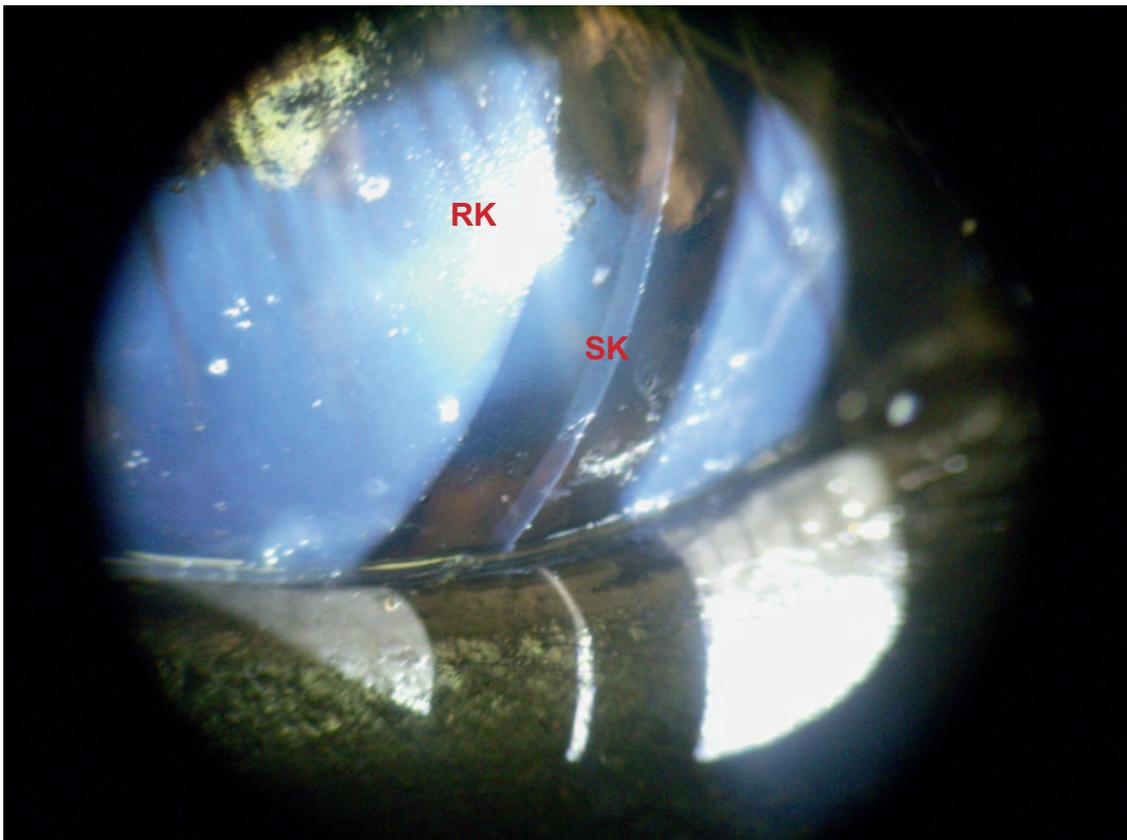
**K: Kornea, LV: Linsenvorderkapsel**

**Pfeile weiß: Vakuole, Pfeile rot: Gebrochener Lichtstrahl**

Als lichtbrechend werden Veränderungen oder Läsionen bezeichnet, durch welche das Licht ungehindert hindurch treten kann, dahinter jedoch gestreut wird. Zu derartigen Veränderungen gehören auch Linsenvakuolen wie in Abb. 27. Das 8-jährige Rheinländische Warmblut weist im vorderen Linsenbereich des rechten Auges eine Vakuole auf. Der Lichtstrahl des seitlich einfallenden Spaltlichts passiert diese erst ungehindert, wird aber an ihrer hinteren Fläche gebrochen.

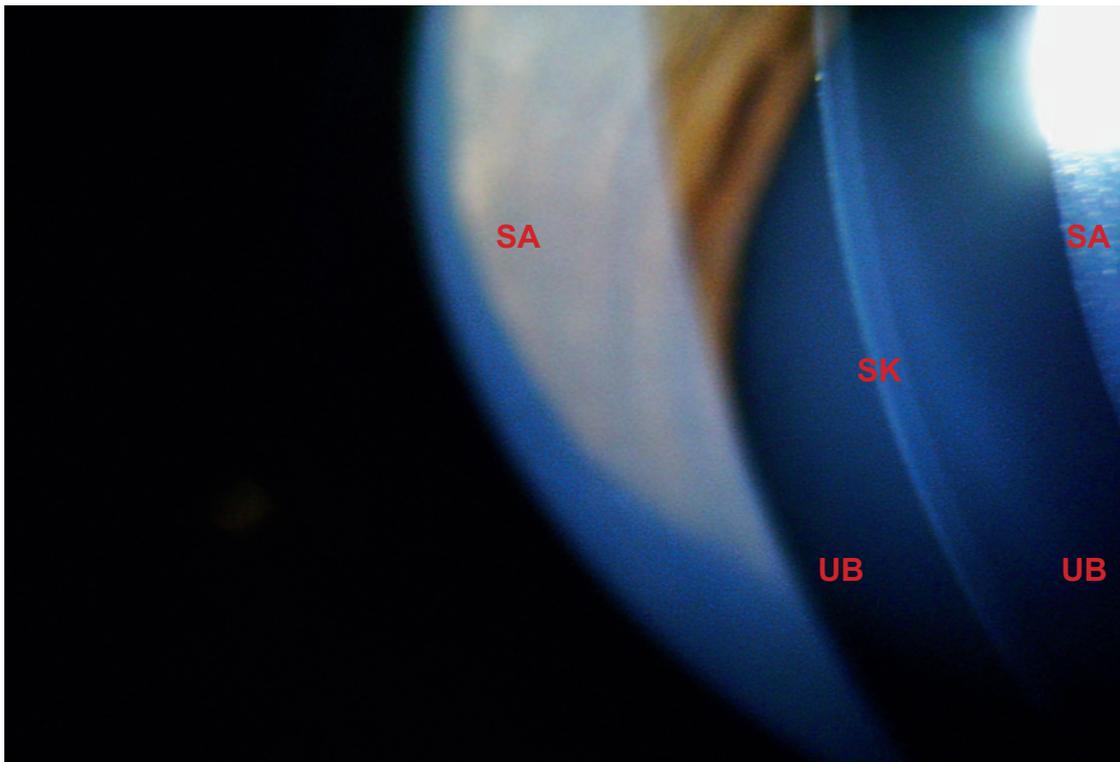
#### **4.2.1.5 Beleuchtung mit dem Fotospalt**

Der Fotospalt als Dioptrix Patent bietet zusätzlich zur Spaltbeleuchtung eine zusätzliche Ausleuchtung des Auges. Die Abbildungen 28 und 29 wurden mit dem Fotospalt bei abgedunkelter Umgebung erstellt. Sie zeigen den nur in Dunkelheit erreichbaren Kontrast des Spaltbildes. Durch den Fotospalt wird gleichzeitig neben dem Spalt eine Übersichtsbeleuchtung ermöglicht, die keine Auswirkung auf den mit dem Spalt beleuchteten Abschnitt bewirkt.



**Abb. 28:** Stute, Warmblut, 11 Jahre, OD, Aufnahme während Narkose mit Fotospalt, 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5  
**SK:** Spaltförmiger Schnitt durch Kornea,  
**RK:** Stark reflektierende Korneabereiche durch Veränderung ihrer Oberflächenbeschaffenheit

Abbildung 28 zeigt eine Aufnahme mit dem Fotospalt bei einem in Narkose liegenden Pferd. Zwar konnte mit dieser Technik eine bessere Übersichtsbeleuchtung erzielt werden, doch stellte sich als nachteilig heraus, dass sich die seitlichen, zusätzlich zum Spalt beleuchteten Abschnitte in der Fotografie mit einer starken Hornhautreflexion darstellten.



**Abb. 29: Wallach, Friese, 6 Jahre, OS, Normalbefund**  
**Aufnahme am stehenden Pferd mit Fotospalt**  
**Spaltbreite 0,2 mm, Vergrößerung: x12,5**  
**SK: Spaltförmiger Schnitt durch Kornea, SA: Seit-**  
**liche beleuchtete Abschnitte, UB: Unbeleuchtete Bereiche**

Die Aufnahme in Abbildung 29 wurde am stehenden, unseidierten Pferd angefertigt. Nur am stehenden Patienten war es möglich, eine gewisse Transparenz, v.a. der seitlich ausgeleuchteten Bereiche, trotz voller Lichtintensität zu bewahren. Eine Minimierung der Lichtintensität bewirkte zwar eine Erhöhung der Transparenz und somit eine bessere topografische Übersicht, verminderte jedoch den scharfen Kontrast des Spalts gegenüber der angrenzenden, unbeleuchteten Abschnitte und somit seine Schärfe und Exaktheit. Ebenfalls problematisch zeigte sich die hohe Lichtintensität in Hinsicht auf die Toleranz des Pferdes. Gegen-

sätzlich zum einfachen Spaltlicht ließ der Fotospalt mit seiner Helligkeit starke Unruhe beim stehenden Patienten Pferd aufkommen. Das Erstellen qualitativ ausreichender Aufnahmen wurde dadurch oft verhindert.

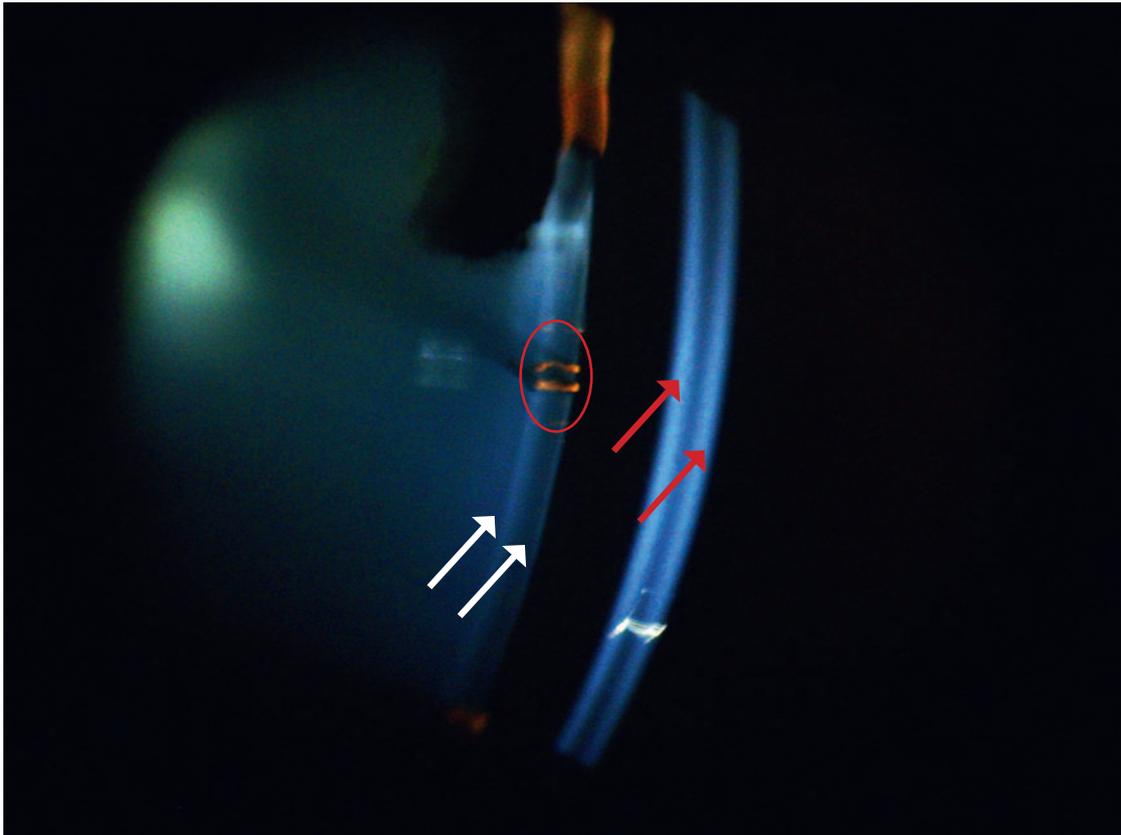
## **4.2.2 Artefakte**

Leider begrenzten zahlreiche Artefakte die Ergebnisse dieser Arbeit. Nur ein Teil dieser Störkomponenten konnte durch verschiedene Maßnahmen umgangen werden. Zum Teil entstanden hierdurch jedoch wiederum neue Probleme.

### **4.2.2.1 Tierartbedingte Artefakte**

Das Pferd als Fluchttier stellt für die ophthalmologische Untersuchung und besonders für die Fotografie des Auges immer wieder eine Herausforderung dar. Die Schwierigkeiten bei der Fotografie am stehenden Pferd wurden hauptsächlich durch die ständigen Bewegungen verursacht, die weder durch eine Fixierung des Pferdekopfes, noch durch eine Sedation zu verhindern waren. Auch die Bewegungen des Pferdeauges selbst, sowie Bewegungen der Untersucherhand und nicht optimale Lichtverhältnisse spielten hier eine große Rolle.

Die Bewegungen wiederum bewirkten, dass durch die Unmöglichkeit einer über einen kurzen Zeitraum anhaltenden Fokussierung kein Auslösen eines Bildes möglich war. Konnte in einem ruhigen Moment die Kamera doch ausgelöst werden, so kam es häufig zu Verwacklungen oder mangelnder Schärfe. Beispiele für solche Artefakte sollen in den folgenden Abbildungen verdeutlicht werden. Insgesamt eigneten sich Aufnahmen am stehenden Pferd nur bei Tieren mit sehr ruhigem Gemüt oder bei Pferden, die zu anderen Zwecken sediert wurden.



**Abb. 30: Wallach, Warmblut, 16 Jahre, ERU OD**

**Irisresiduen auf der Linsenvorderfläche**

**Beleuchtung mit 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x 12,5**

**Pfeile weiß: Doppelt dargestellte Linsenkapsel**

**Pfeile rot: Doppelt dargestellte Hornhaut**

**Ellipse: Doppelt dargestellte Irisresiduen**

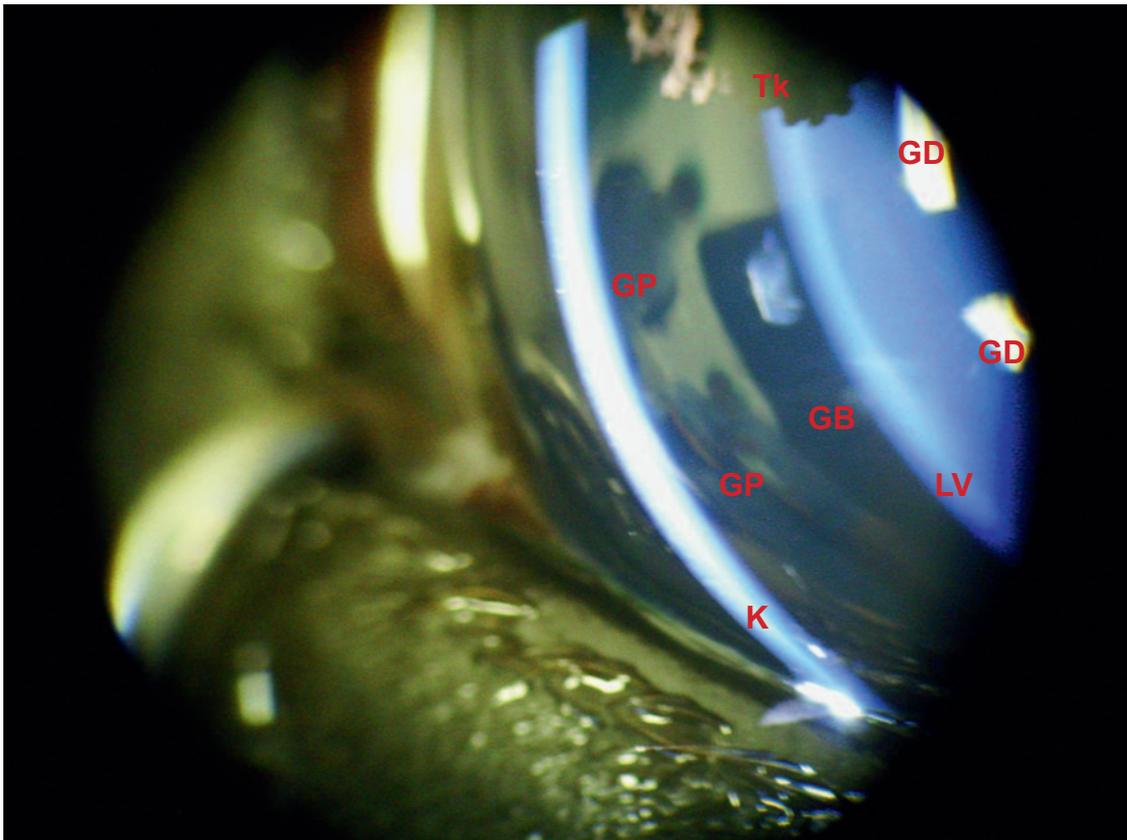
In Abbildung 30 wird gezeigt, wie sich Bewegungen beispielsweise während des Auslösens auswirken können. Das Foto des rechten Auges eines 16-jährigen Wallachs lässt Irisreste auf der Linse erkennen. Eine genaue Lokalisation, Ausmaße oder Tiefe dieser Residuen sowie eine Beurteilung der Hornhaut ist jedoch an einem solchen Bild nicht möglich. Resultierend aus dieser nicht zu verhindernden, anhaltenden Problematik wurde ein großer Anteil der in dieser Arbeit untersuchten Patienten während ihrer Narkose fotografiert. Die Fotografie in Narkose ließ diese Störfaktoren verschwinden, warf allerdings neue Probleme auf.

Selbst bei Nutzung des Fußauslösers durch den Untersucher oder durch einen Helfer mittels Absprache ließ sich der Auslöser in vielen Momenten nicht aktivieren. Der Versuch, mit einem professionellen Einbeinstativ (MA 681B, Fa. Manfrotto) mit aufgesetztem Friktionskugelkopf eine Stabilität der Aufnahmen zu erzielen, scheiterte an stetigen kleinen Auf- und Abwärtsbewegungen des Pferdekopfes. Das Stativ musste somit in der Höheneinstellung ständig korrigiert werden. Nach dieser Korrektur hatte sich das Pferd meist bereits wieder aus seiner Position entfernt, sodass ein Stativ am stehenden Pferd letztlich keine Erleichterung verschaffte.

#### **4.2.2.2 Artefakte durch Umfeldbeleuchtung**

Einen großen Anteil der Artefakte wurde durch die Beleuchtung des Umfeldes bewirkt. Eine sehr dunkle Umgebung, wie sie sich für die Untersuchung sehr gut eignet, ist für die Fotografie nur bedingt vorteilhaft. Bei zu starker Dunkelheit wurde auf den Fotos nur noch ein Spalt abgebildet, weitere Strukturen waren nicht mehr erkennbar. Hingegen kam es in recht heller Umgebung schnell zu Reflexionen an der Hornhaut und damit zur Verhinderung der korrekten Beurteilung und Dokumentation. Bei Aufnahmen eines Pferdes in Seitenlage erwies es sich zusätzlich als nachteilig, dass die Deckenstrahler stark an der Kornea reflektierten und sich die gesamte Umgebung auf der Hornhaut spiegelte.

Letzteres zeigt sich sehr deutlich in Abbildung 31. Bei dieser Spaltaufnahme des linken Auges eines 3-jährigen Wallaches wurden Personen des Umfeldes, die Deckenstrahler und auch die Beleuchtungseinheit des Spaltlampengerätes auf der Kornea gespiegelt.



**Abb. 31: Wallach, Warmblut, 3 Jahre, OS**

**Beleuchtung mit 1,0mm Spaltbreite**

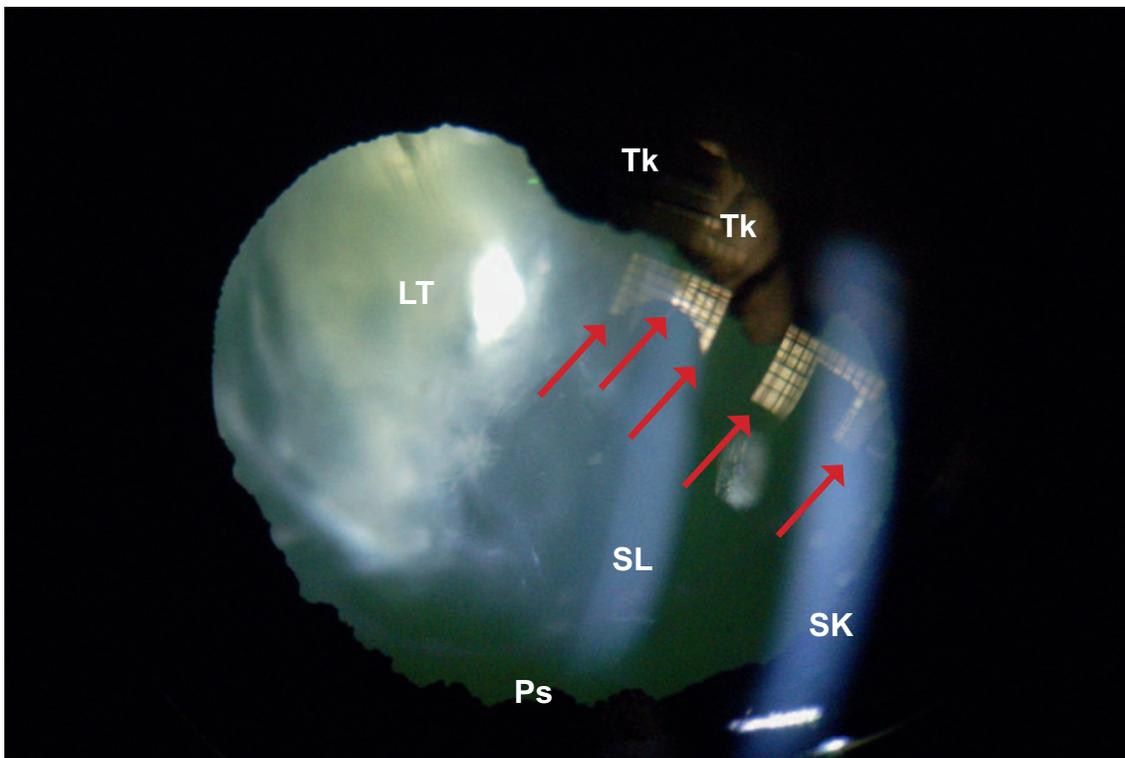
**K: Kornea, GP: Gespiegelte Person**

**GB: Gespiegelte Beleuchtungseinheit**

**GD: Gespiegelte Deckenstrahler**

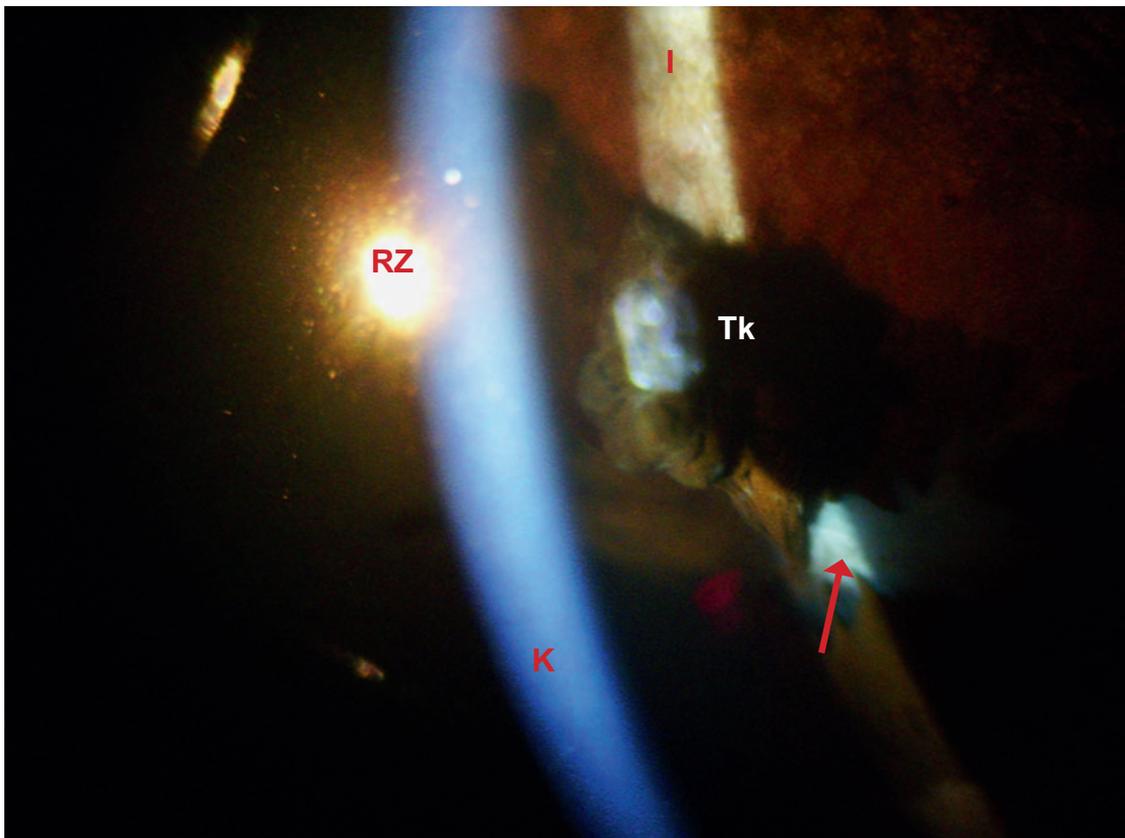
**Tk: Traubenkörner, LV: Linsenvorderkapsel**

In Abbildung 32 ist zu sehen, dass selbst bei abgedunkeltem Raum die Fenster im Hintergrund auf der Hornhaut gespiegelt werden.



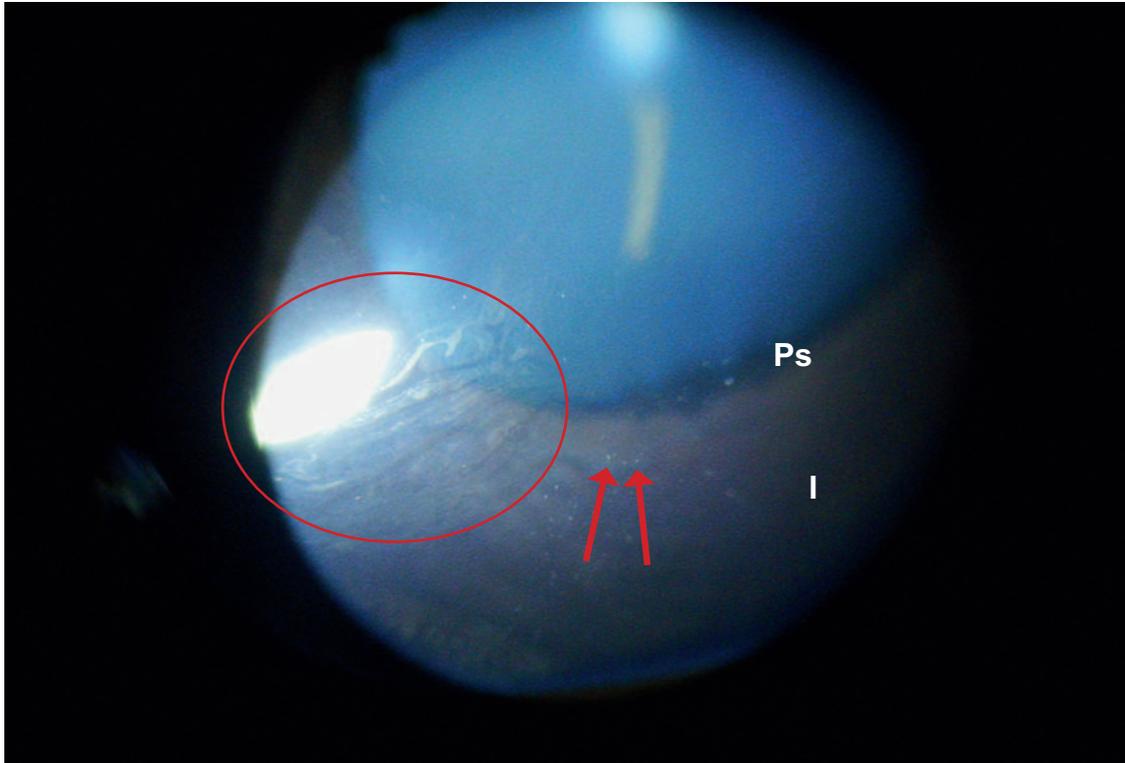
**Abb. 32: Stute, Warmblut, 12 Jahre, OD**  
**Aufnahme am stehenden Patienten,**  
**1,0mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**  
**Pfeile: Spiegelbilder der Fenster**  
**Tk: Traubenkörner, Ps: Pupillarsaum**  
**LT: Linsentrübung, SK: Spaltreflex an der Kornea**  
**SL: Spaltreflex an der Linsenvorderkapsel**

In Abbildung 33 handelt es sich um einen an ERU erkrankten Isländerwallach. Das Foto wurde mit Spaltbeleuchtung angefertigt. Zusätzlich wurde das Auge mit einem Handophthalmoskop durch eine zusätzliche Person beleuchtet. Dies ermöglichte eine bessere Ausleuchtung des gesamten Auges und somit eine gute topographische Orientierung. Nachteilig ist jedoch der Lichtreflex der Zusatzbeleuchtung.



**Abb. 33: Wallach, Isländer, 17 Jahre, OS, ERU**  
**hintere Synechien in Miosis, Occlusio pupillae**  
**Beleuchtung bei 1,0 mm Spaltbreite und Zusatzbeleuchtung**  
**RZ: Reflexion durch die Zusatzbeleuchtung**  
**Pfeil: Verklebung der Iris mit der Linse, I: Iris,**  
**Tk: Traubenkörner, K: Spaltreflex an der Kornea**

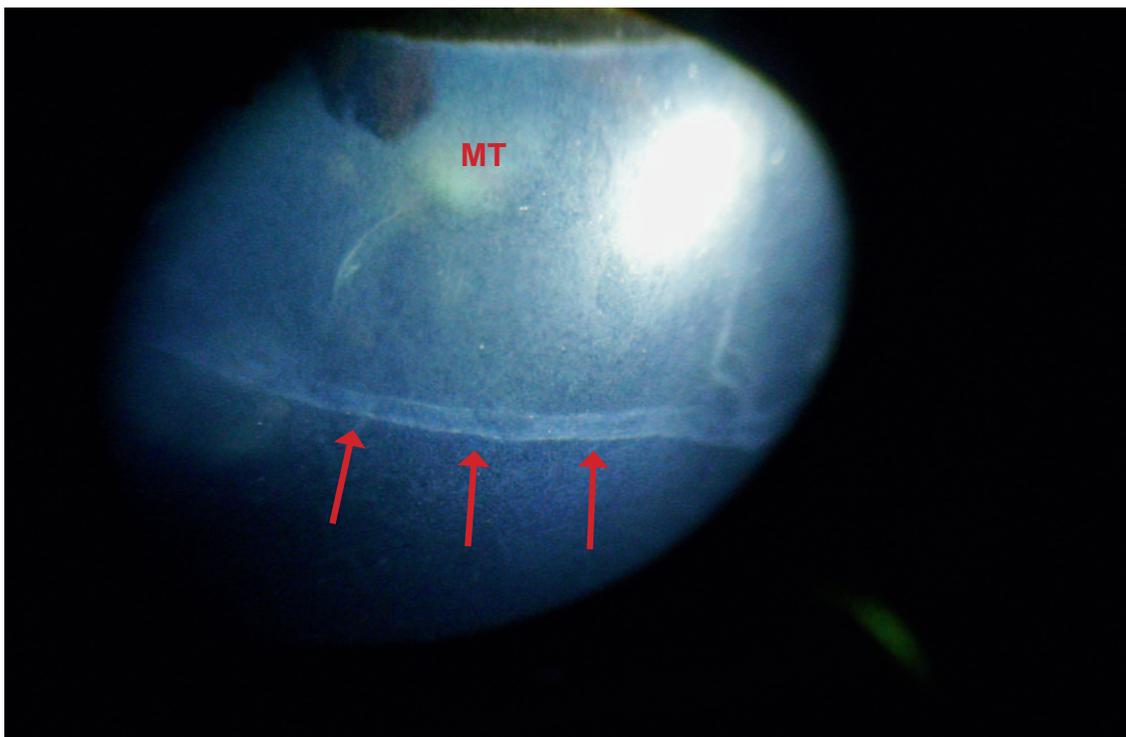
#### 4.2.2.3 Artefakte durch Veränderung der Beschaffenheit der Kornea- oberfläche und Vorbehandlung der Kornea



**Abb. 34: Hengst, Warmblut, 2 Jahre, OS, Übersichtsbeleuchtung**  
**Ellipse: Schlieren auf der Kornea, Ps: Pupillarsaum, I: Iris**  
**Pfeile: Punktförmige, stecknadelspitzenartige Trübungspunkte**  
**im Bereich des Hornhautendothels**

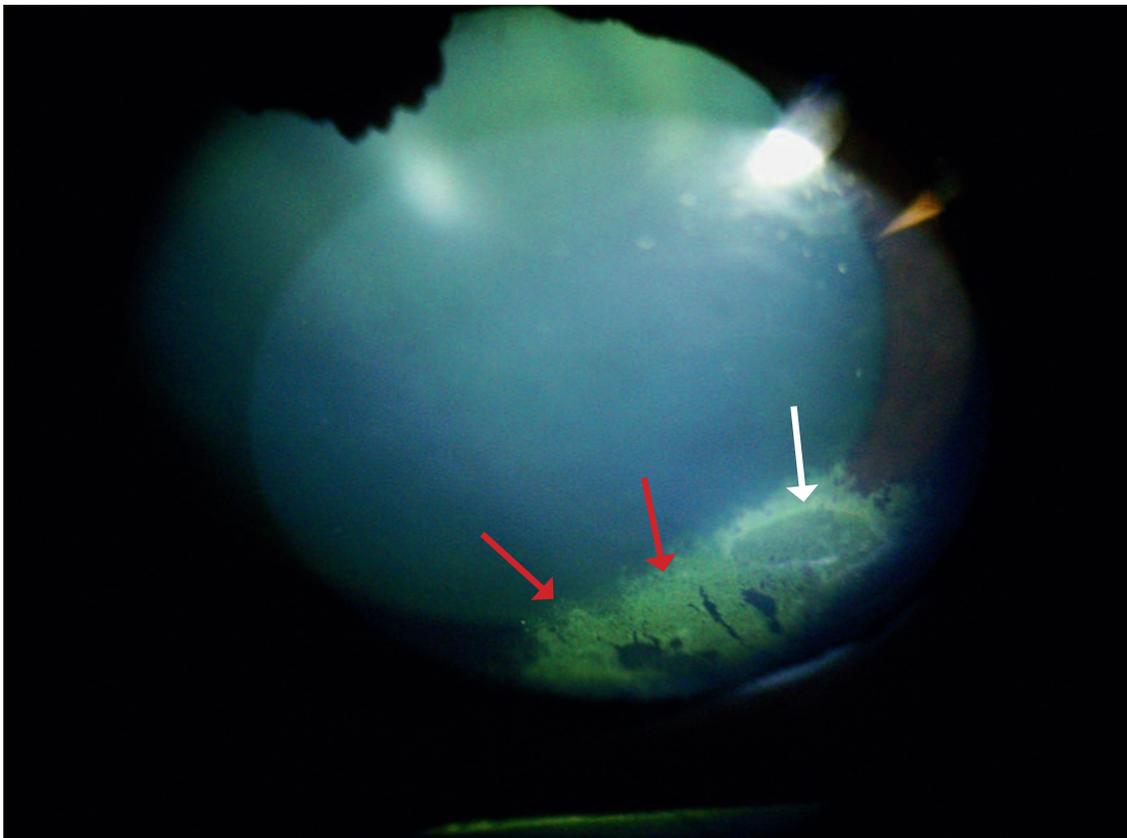
Den problematischsten Faktor bei den während der Narkose fotografierten Pferden stellte die Veränderung der Beschaffenheit der Hornhautoberfläche dar, die selbst bei durchgehendem Betropfen mit gepufferter Lösung nicht aufgehoben werden konnte. Sowohl die Verwendung von BSS®-Lösung als auch von NaCl-Lösung zeigten sich als ungeeignet, die für die Fotografie erforderliche Oberflächenbeschaffenheit der Kornea zu bewahren. Vor allem das Erstellen von Vergleichsaufnahmen des Auges vor und nach der Operation wurde hierdurch verhindert. Das Problem wurde zusätzlich durch die Vorbehandlungen des Auges mit speziellen Medikamenten unterstützt. Vor allem die Gabe von Ophthocain®-

Augentropfen (Tetracainhydrochlorid) zur Lokalanästhesie ließ die Hornhautveränderungen schneller voranschreiten und führte zusätzlich zu einer Schlierenbildung auf der Kornea. Abbildung 34 zeigt das linke Auge eines mit Ophtocain vorbehandelten Hengstes und die entstandenen Schlieren nach Auftropfen von BSS®-Lösung auf die Hornhaut. Die Beurteilung der Hornhaut wurde hierdurch ungünstig beeinflusst. Eine ähnliche Problematik zeigte sich bereits ohne Narkose, sofern ein Hornhautödem oder Hornhauttrübungen vorlagen. In Abbildung 35 ist das linke Auge einer 11-jährigen Friesenstute abgebildet. Die starke Hornhauttrübung verhinderte die fotografische Dokumentation der hinter der Kornea liegenden Strukturen, die Lichtreflexionen störten erheblich.



**Abb. 35: Stute, Friese, 11 Jahre, OS, ERU, Aufnahme im Stehen  
Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5  
Diffuses, überwiegend rauchiges Hornhautödem  
MT: Dorsal gelegene, erbsengroße milchige Trübung  
Pfeile: In der Mitte horizontal verlaufende Bändertrübung**

Ein weiterer Störfaktor in der Beurteilung entstand durch die Vorbehandlung mit dem Farbstoff Fluoreszein. Dieser konnte bei Beleuchtung mit einem Handophthalmoskop kaum erkannt werden, mit der Hawk Eye Spaltlampe waren die Fluoreszeinreste auf bzw. in der Hornhaut jedoch sofort erkennbar. Besonders auf den Fotos zeigten sie sich sehr deutlich und störten dadurch die Beurteilung der Strukturen. Der ventrale Hornhautbereich des in Abbildung 36 dargestellten rechten Auges einer 7-jährigen Stute verdeutlicht eine derartige nachhaltige Fluoreszeinanfärbung.



**Abb. 36: Stute, Warmblut, 7 Jahre, OD, ERU**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

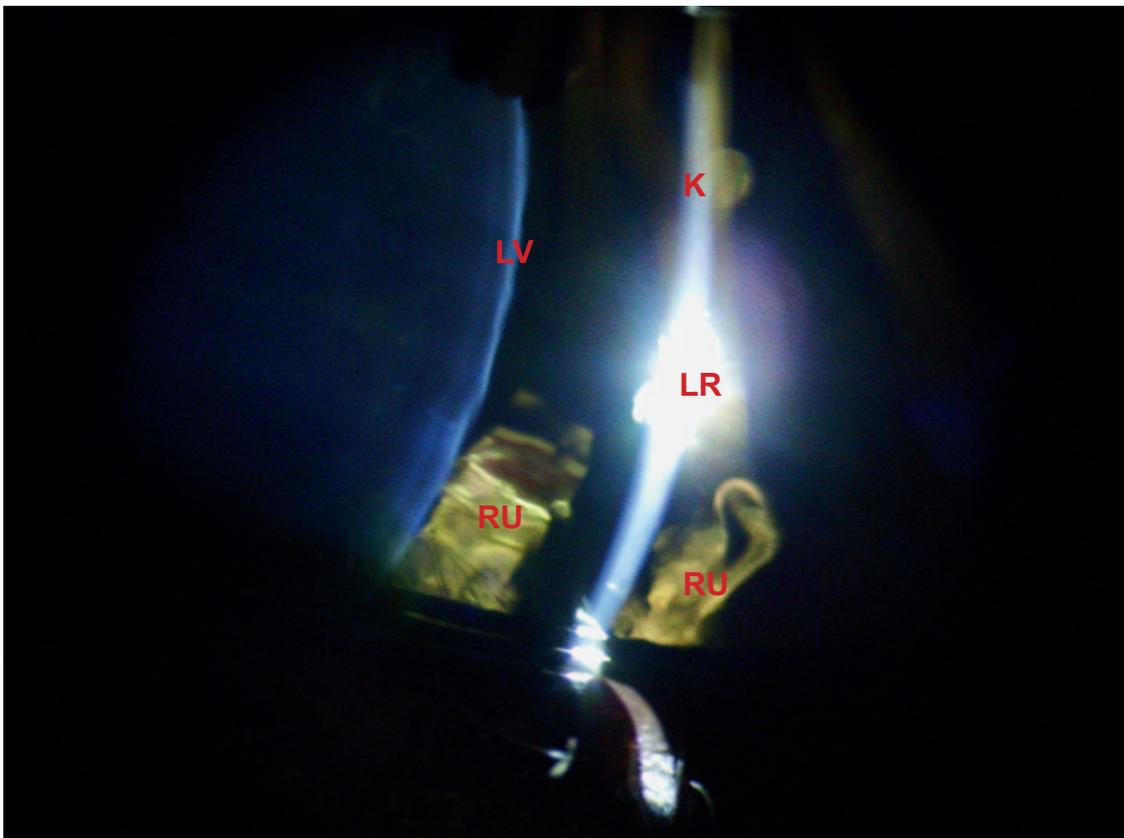
**Pfeile rot: Im ventralen Bereich Fluoreszein an der Hornhaut**

**Pfeil weiß: Querovale, alte Epithelläsion**

#### 4.2.2.4 Einstellungsbedingte Artefakte

Natürlich werden viele Artefakte auch durch den Untersucher selbst produziert. Je nach Beleuchtungswinkel, Beobachtungswinkel, Lichtintensität, Spaltbreite, Verwendung von Zusatzbeleuchtung, Wahl des Umfeldes etc. werden Artefakte verursacht oder vermieden.

Die Abbildungen 37, 38 und 39 zeigen Beispiele für Artefakte, die durch die Einstellungen des Gerätes verursacht wurden.



**Abb. 37:** Wallach, Warmblut, 15 Jahre, OS

**Beleuchtung bei 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**

**LR: Lichtreflexion durch hohe Beleuchtungsintensität**

**LV: Spaltreflex an der Linsenvorderkapsel, K: Spaltreflex an der Kornea, RU: Reflexionen durch Umfeldbeleuchtung**

Abbildung 37 zeigt, wie es bei hoher Lichtintensität und zu geringem Winkel zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungseinheit zu starken Reflexionen im angestrahlten Hornhautbereich kommen kann. Eine Bewertung der Hornhaut, die der eigentliche Interessensbereich sein sollte, ist so nicht möglich.



**Abb. 38/39: Wallach, Rheinl. Warmblut, 8 Jahre, OD**

**Vakuoläre Veränderung im Bereich der Linsenvorderfläche**

**Beleuchtung bei 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**

**L: Linse, Pfeil weiß: Spaltreflex an der Kornea**

**Pfeil rot: Vakuoläre Linsenveränderung**

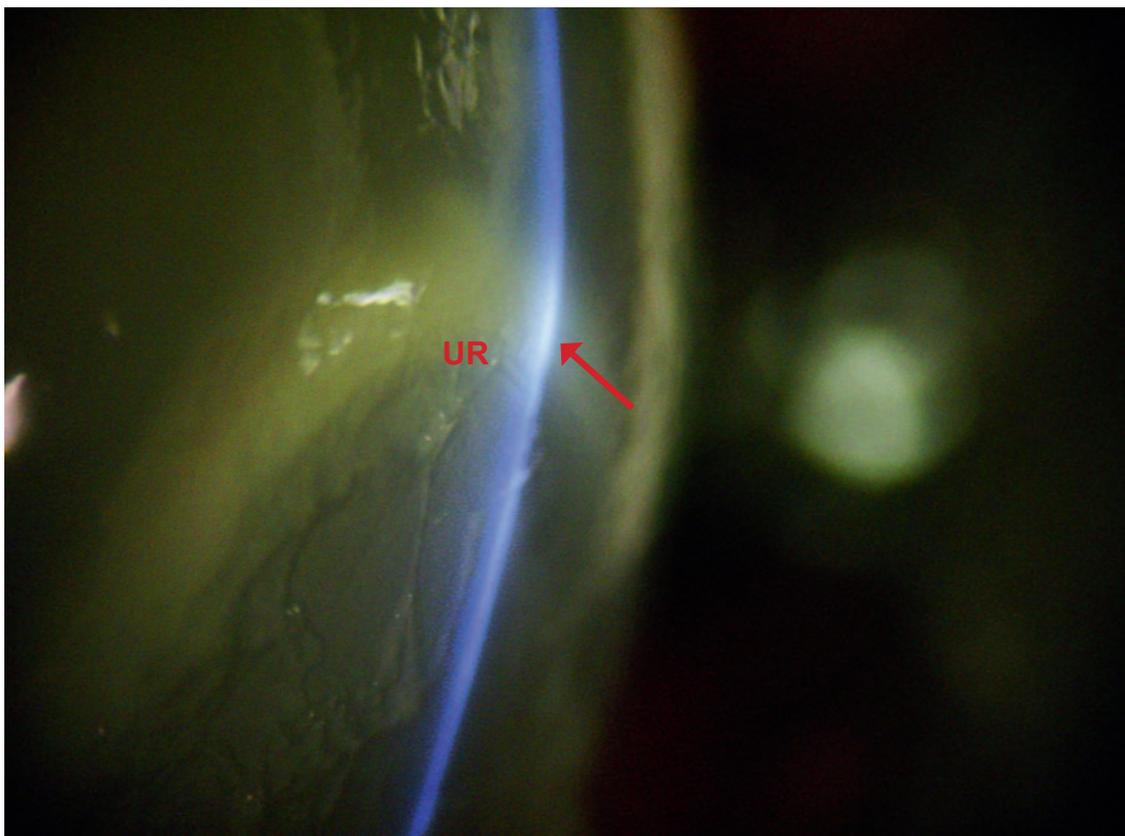
Die Abbildungen 38 und 39 stellen zwei kurz nacheinander erstellte Spaltlampenaufnahmen bei schmalen Spalt dar. Zwischen den Aufnahmen wurde der Einfallswinkel geringgradig verändert, die rechte Abbildung entstand aus etwas vermehrt dorsaler Richtung. Dies hatte zur Folge, dass das Objekt des Interesses (vakuoläre Veränderung der Linse) aus dem fotografierten Bild „herauswanderte“. Der Untersucher konnte dieses Geschehen nicht bemerken, da der Befund mit der Spaltlampe noch eingestellt war und das Verschwinden des Befundes vom fotografierten Bild nur auf dem Bildschirm der Digitalkamera ersichtlich gewesen wäre.

### 4.2.3 Verschiedene Untersuchungsbefunde

#### 4.2.3.1 Befunde der Kornea

##### 4.2.3.1.1 Korneaulkus

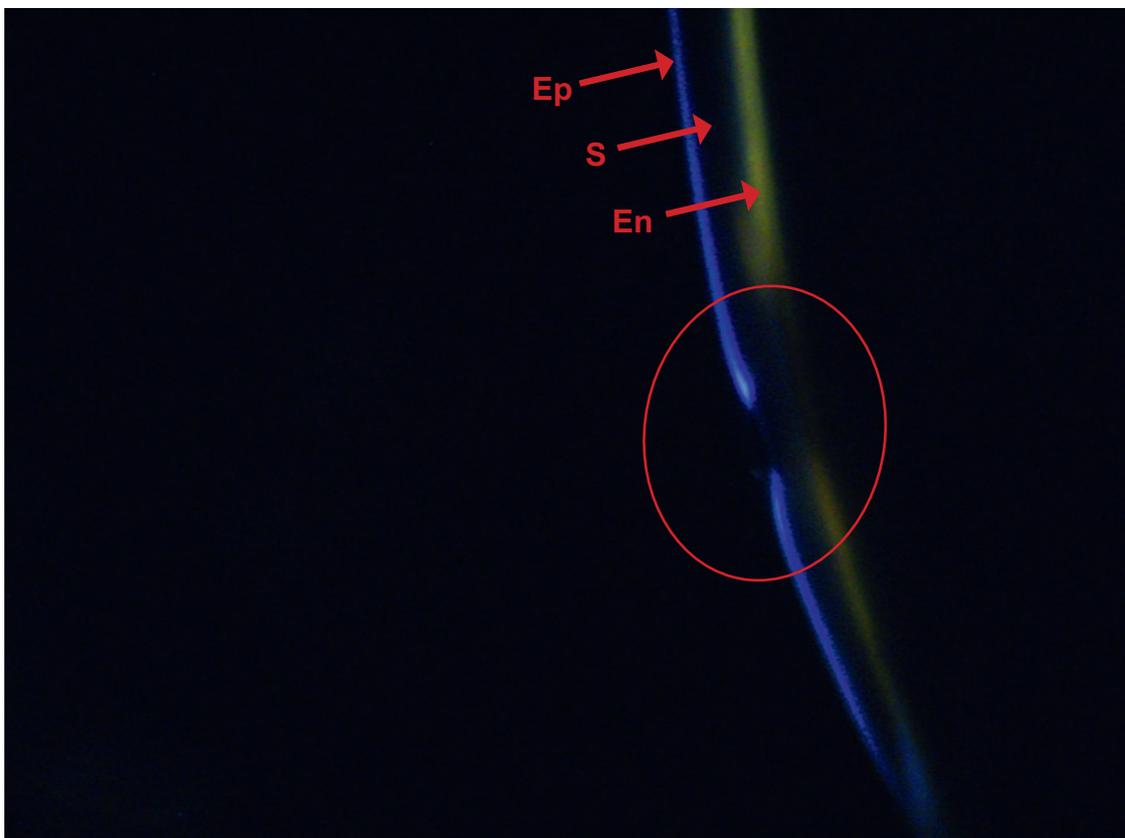
Die Spaltlampe eignet sich hervorragend zur Untersuchung der Hornhaut. Besonders zur Oberflächenbeurteilung und Tiefenlokalisierung ist sie unabdingbar. Abbildung 40 zeigt ein 16-jähriges American Paint Horse mit einem großflächigen Hornhautulkus. Das Spaltlicht veranschaulicht die Verzerrung des Oberflächenreliefs (Winkelabweichung von der ursprünglich regelmäßigen Oberflächenlinie) durch eine vermehrte Reflexion im erhabenen Randbereich des Ulkus.



**Abb. 40:** Stute, 16 Jahre, American Paint Horse, OS, Zustand vor Keratektomie, Beleuchtung mit 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5  
**UR:** Ulkusrandbereich, **Pfeil:** Vermehrte Reflexion am Ulkusrand bei bereits aufgequollener Hornhaut

#### 4.2.3.1.2 Fremdkörper in der Kornea

Auch zur Tiefenlokalisierung von Fremdkörpern in den vorderen Augensegmenten leistet die Spaltlampe gute Dienste. In Abbildung 41 ist ein 14-jähriger Wallach dargestellt, der wegen eines winzig kleinen Fremdkörpers in der Hornhaut in die Klinik eingeliefert wurde. Mit bloßem Auge war dieser nicht erkennbar. Nur mit Lupenvergrößerung (Kopfbandlupe) oder mit dem binokularen Spaltlampenmikroskop ließ sich der Fremdkörper in seiner Lage ausmachen.



**Abb. 41: Wallach, Warmblut ,14 Jahre, OD, Defekt durch Fremdkörper im vorderen Abschnitt der Hornhaut**

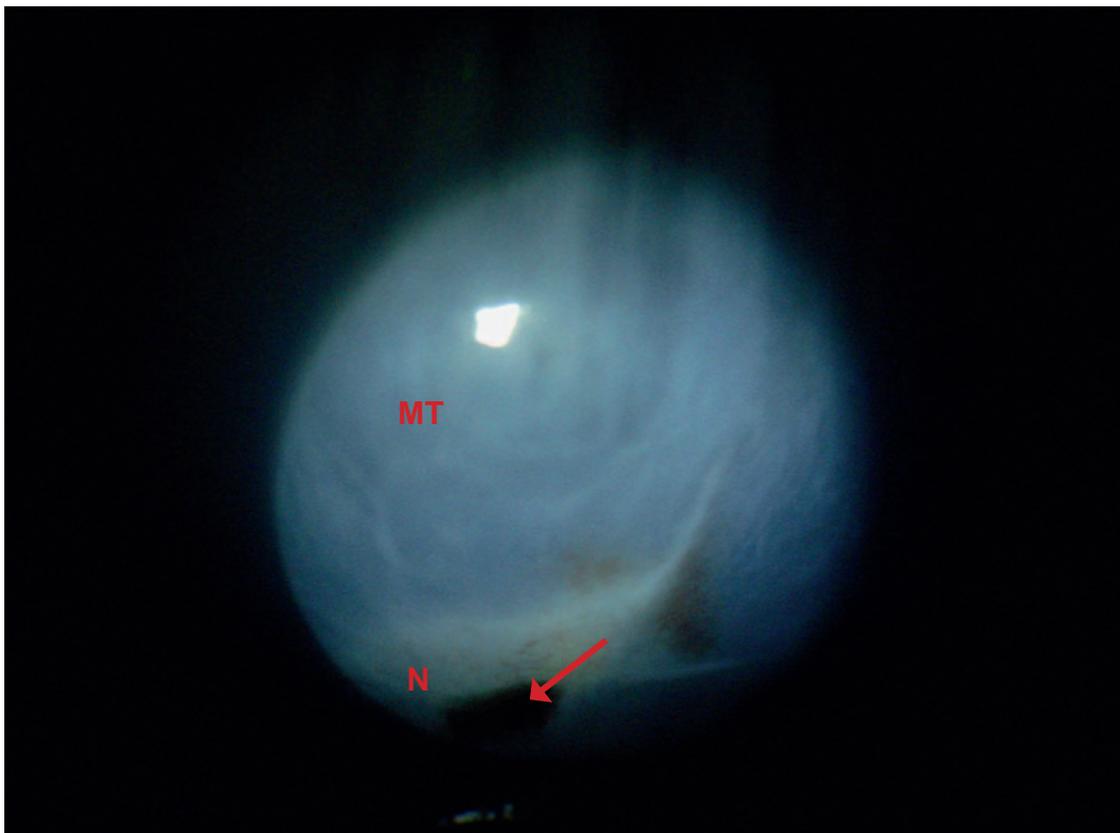
**Beleuchtung bei 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**

**Ep: Spaltlichtreflex am Epithel, S: Stroma, En: Spaltlichtreflex am Hornhautendothel, Ellipse: Lichtreflex des Epithels aufgrund des Fremdkörpers hier unterbrochen, Lichtreflex des Endothels schwer, aber noch durchgängig erkennbar**

Bei sehr genauer Betrachtung der Aufnahme 41 wird offensichtlich, dass der Fremdkörper das Epithel und vordere Anteile des Stromas der Kornea durchdrungen hat, die hinteren Stromabereiche und das Hornhautendothel jedoch ihr gleichmäßiges Relief beibehalten haben und so nicht betroffen sind.

#### 4.2.3.1.3 Korneanarbe

Nach Abheilung erheblicher Hornhautschäden bleiben oft Veränderungen (Narben) in der Kornea zurück. Das Foto in Abbildung 42 zeigt das linke Auge eines Haflingerwallachs mit einem diffusen, unregelmäßigen, rauchig-milchigen Ödem über die gesamte Kornea und einer narbenartigen Veränderung im ventralen Bereich inklusive eingewandertem Pigment.

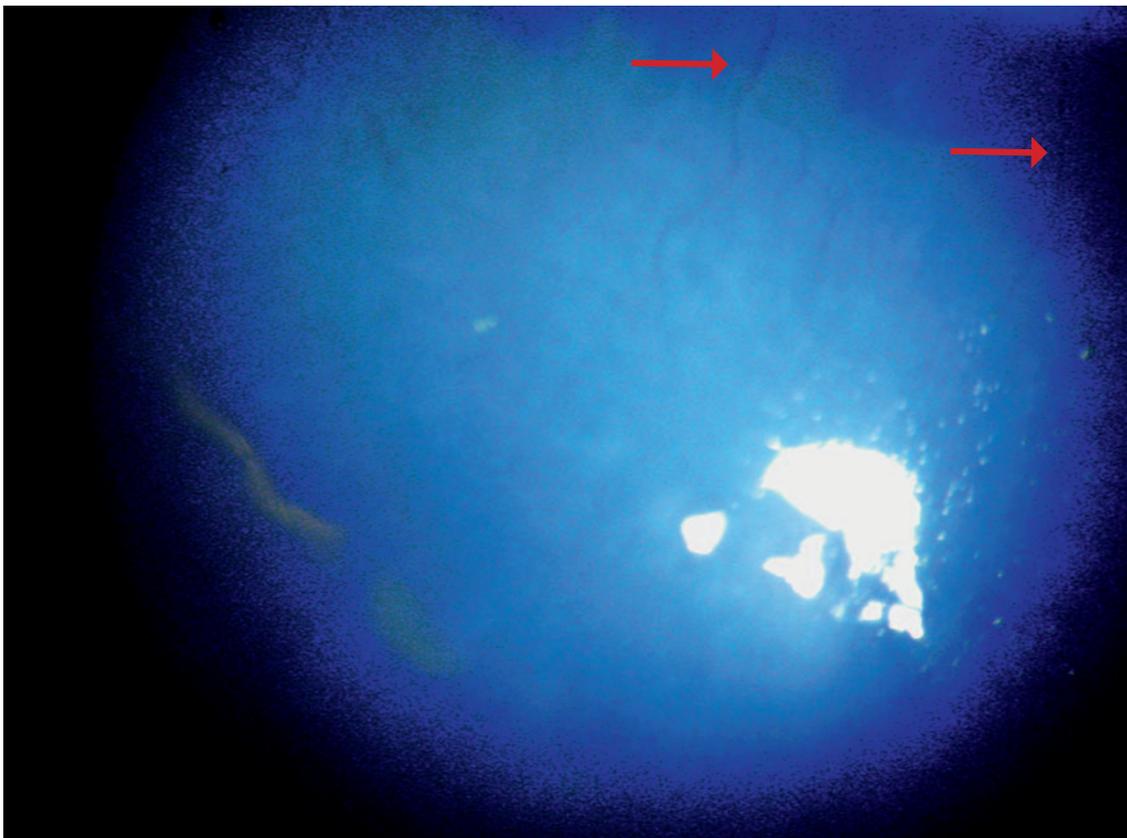


**Abb. 42: Wallach, Haflinger, 11 Jahre, OS, Übersichtsbeleuchtung  
MT: Milchige Hornhauttrübung, N: Narbenartige Veränderung  
im ventralen Hornhautbereich, Pfeil: Eingewandertes Pigment**

#### 4.2.3.1.4 Korneaödem

Hornhautödeme kommen umschrieben oder diffus über die ganze Kornea ausgebreitet vor. Die diffuse Ausbreitung des Ödems zeigt sich v.a. bei Glaukom, vorderer Uveitis oder vorderen Synechien.

Der Patient in Abbildung 43 litt unter einem Glaukom. Das Hornhautödem stellte sich wie matt geschliffenes Glas dar. Eine oberflächliche, vom dorsalen Limbus ausgehende Vaskularisation der Kornea ist in der Abbildung gut erkennbar. Aufgrund des überwiegend milchigen Ödems war es jedoch nicht möglich, ein qualitativ gutes Spaltlampenfoto mit entsprechender Aussagekraft zu erstellen.



**Abb. 43: Stute, Warmblut, 19 Jahre, OD**

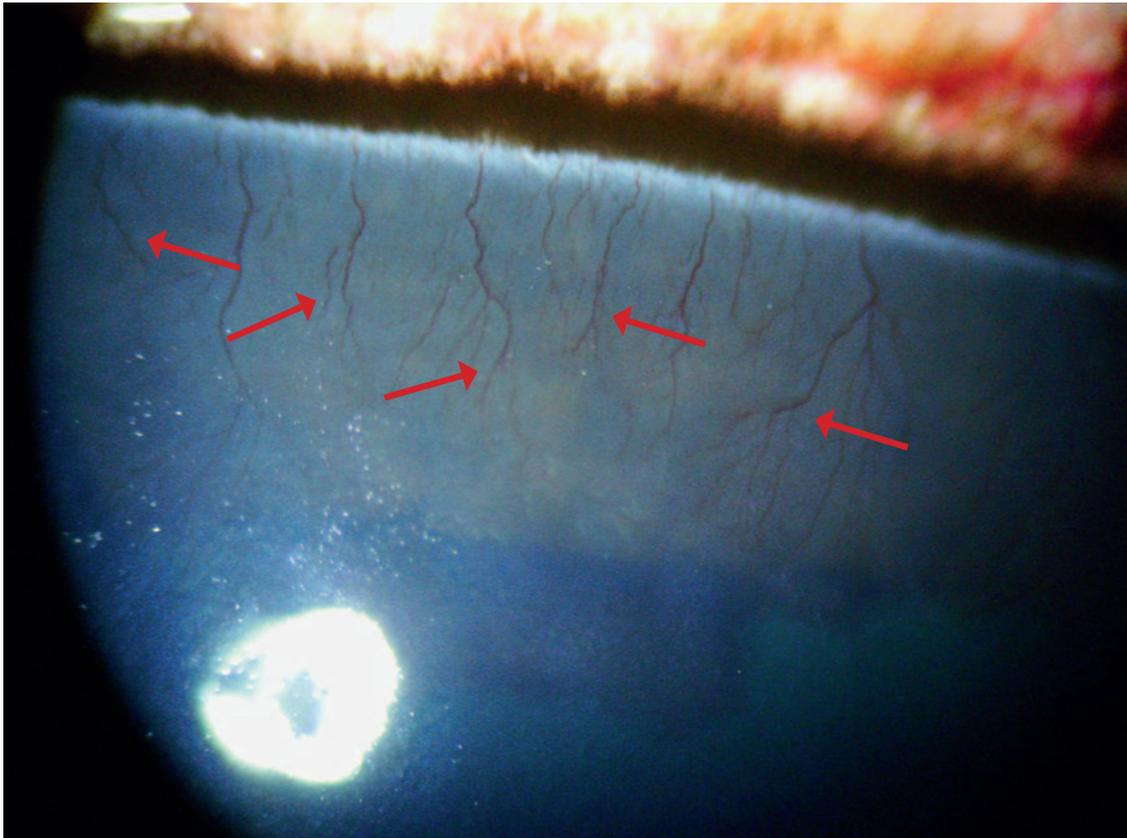
**Diffuses, milchiges Hornhautödem bei Glaukom**

**Übersichtsbeleuchtung, Aufnahme am stehenden Patienten**

**Pfeile: Weit in die Hornhaut hineingewachsene Blutgefäße**

#### 4.2.3.1.5 Korneagefäße

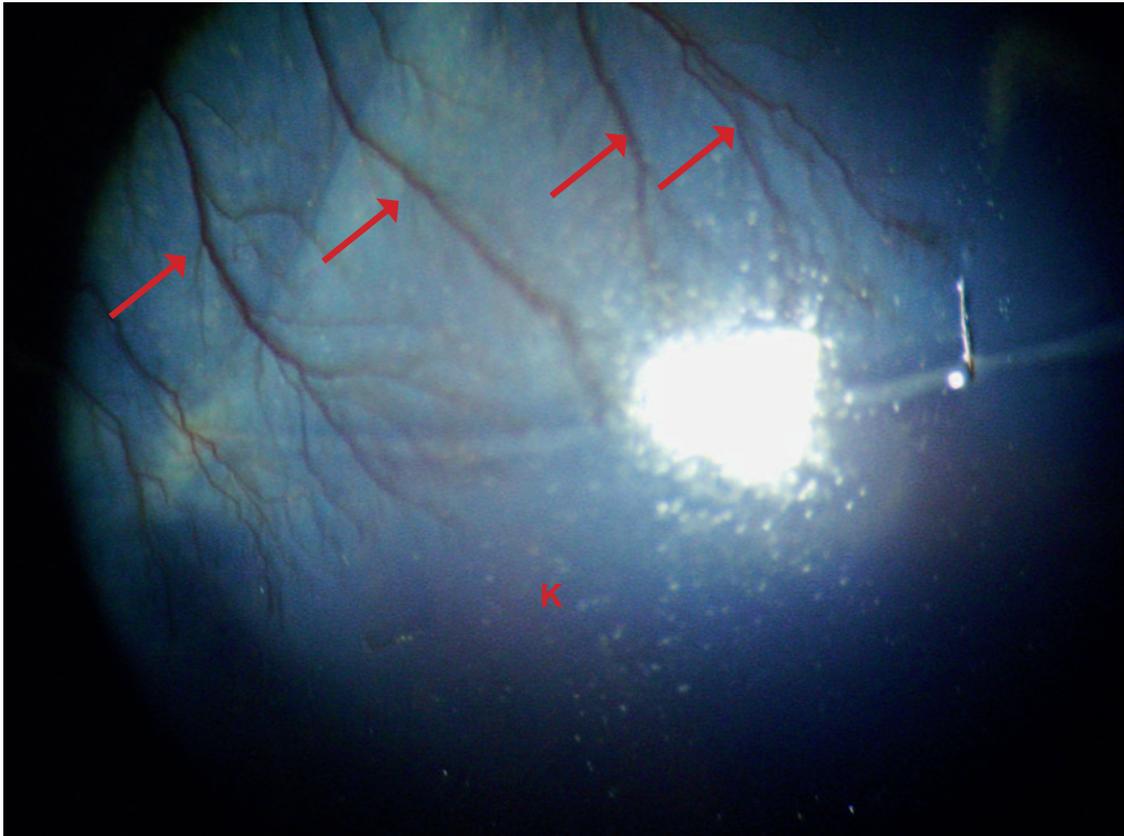
Bei Heilungsprozessen der Hornhaut wachsen meist Blutgefäße vom Limbus in die normalerweise nicht vaskularisierte Kornea ein. Sie zeigen ein unterschiedliches Aussehen, abhängig von ihrer Lokalisation und Tiefe.



**Abb. 44: Hengst, Shagya-Araber, 5 Jahre, OD, ERU**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

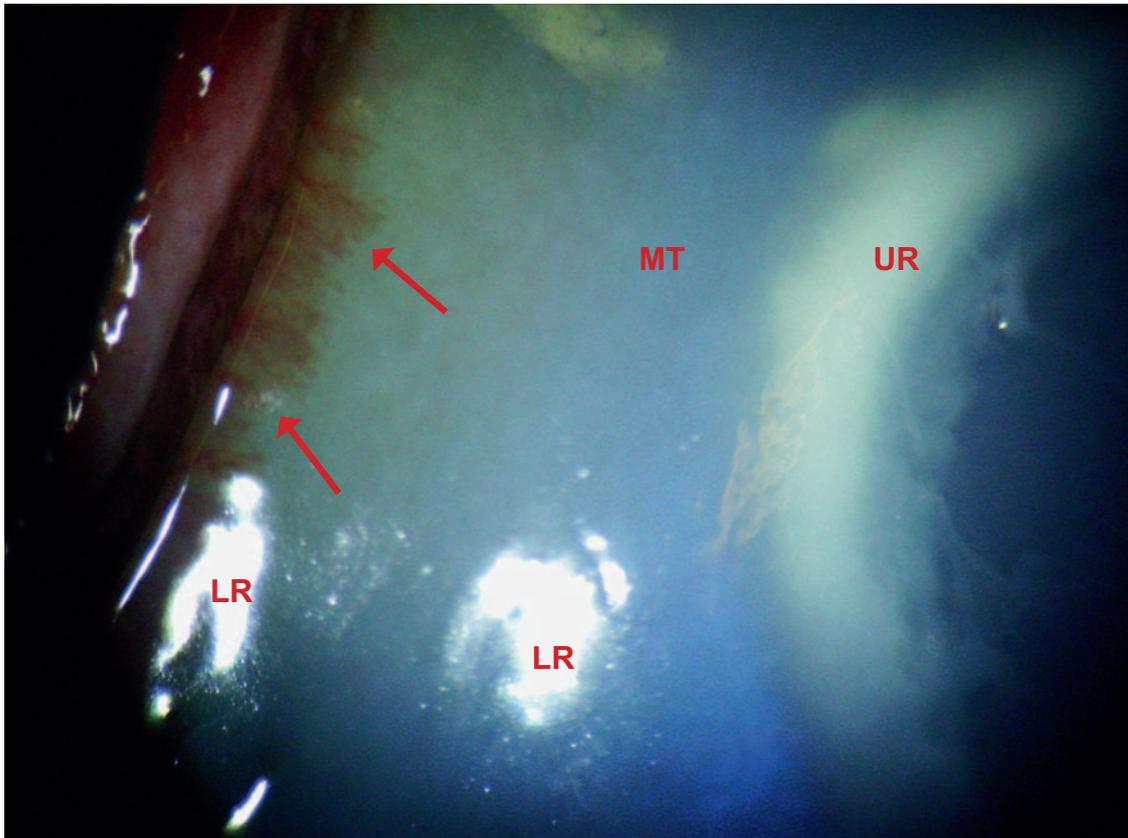
**Pfeile: Zahlreiche, vom dorsalen Limbus ausgehende und mehrfach verzweigte Blutgefäße in der Hornhaut**



**Abb. 45: Wallach, Westfälisches Warmblut, 13 Jahre, OS, ERU**  
**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**  
**Pfeile: Zahlreiche, vom nasodorsalen Limbus ausgehende und sich vielfach in der Hornhaut verweigende Blutgefäße**  
**K: Ödematisierte Kornea**

Abbildung 44 und 45 zeigen die Augen von zwei an ERU erkrankten Wallachen. Bei beiden geht die Uveitis mit einem Hornhautödem einher. Eine deutliche Gefäßeinsprossung ist gut erkennbar. Die Gefäße ziehen durchs Epithel und vordere Stroma der Kornea und zeigen sich verschiedenartig verzweigt.

Abbildung 46 ist ein weiteres Bild des Auges von Abbildung 40. Die Gefäße durchlaufen in diesem Fall das tiefe Stroma und die Descemet'sche Membran. Sie weisen eine baumartige Verzweigung auf.



**Abb. 46: Stute, 16 Jahre, American Paint Horse, OS**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

**Pfeile: Tiefe, baumartig verzweigte Blutgefäße, UR: Ulkusrand**

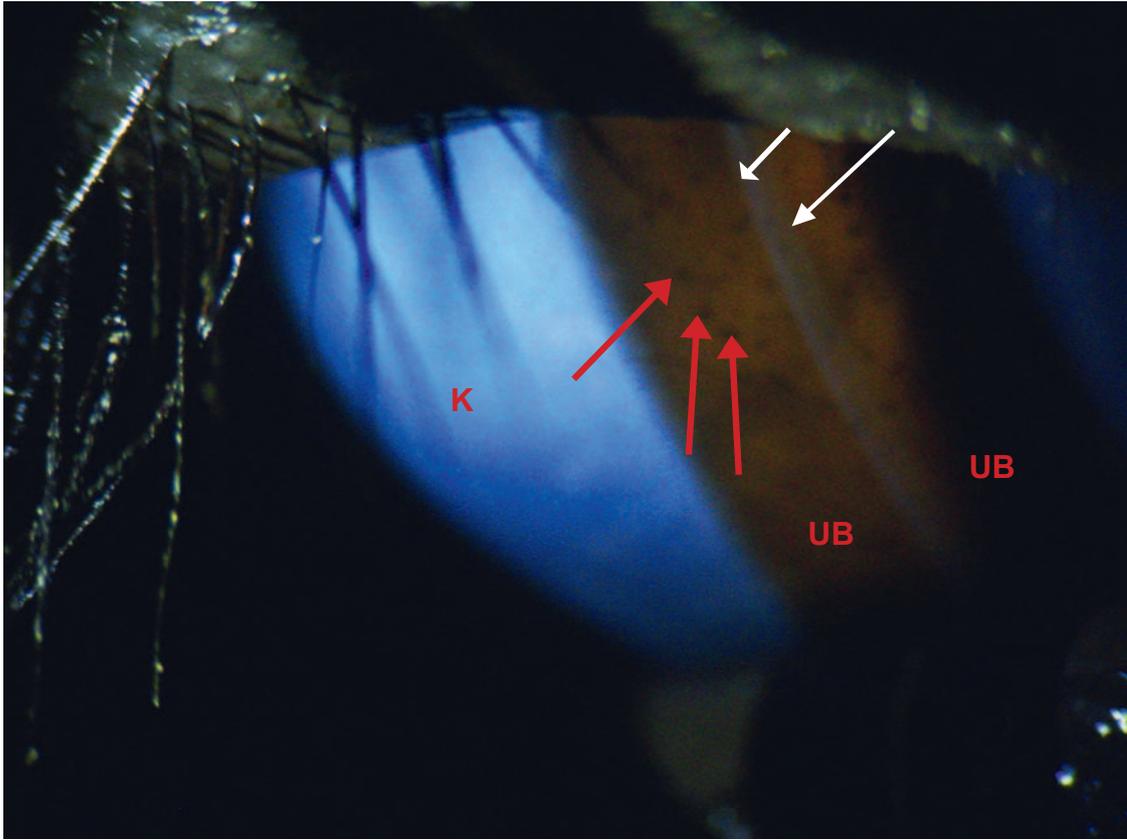
**MT: Rauchig-milchige Hornhauttrübung**

**LR: Lichtreflexe durch Deckenleuchten**

#### 4.2.3.1.6 Endotheliale Auflagerungen

Als recht diffizil erwiesen sich in dieser Arbeit die Versuche der Fotografie von endothelialen Auflagerungen auf der Hornhau rückfläche. Die in Zusammenhang mit einer Uveitis recht häufig vorkommenden Entzündungszeichen werden oftmals übersehen. Mit der Hawk Eye Spaltlampe waren sie sehr gut erkennbar. Die fotografische Dokumentation der Auflagerungen machte hingegen große Mühe. Im Gegensatz zu den mit der Spaltlampe exzellent sichtbaren Veränderungen waren die bei der Untersuchung erstellten Fotografien dieser Befunde eher von schlechter Qualität. Zusätzlich erhöhte sich der Schwierigkeitsgrad bei der Fotografie dadurch, dass die Patienten mit endothelialen Auflagerungen nicht für eine Operation vorgesehen waren und daher die Aufnahmen am stehenden Pferd durchgeführt werden mussten.

In Abbildung 47 ist eine Aufnahme von endothelialen Auflagerungen mit dem Fotospalt dargestellt. Bei genauem Hinschauen können durch die nicht beleuchteten Bereiche hindurch die endothelialen Auflagerungen als punktförmige Schatten vor der leicht beleuchteten Iris erkannt werden. Sie waren bei der Fotospalteneinstellung allerdings deutlich schwerer zu erkennen, als es bei alleiniger Spalteneinstellung (wie in Abbildung 21 zu sehen) der Fall war. Möglicherweise liegt dieser Qualitätsunterschied der Fotografien in der starken Lichtreflexion der Hornhautabschnitte, die von den zusätzlichen, seitlichen Beleuchtungsfeldern des Fotospalts angestrahlt werden, wobei die Intensität der seitlichen Beleuchtungsabschnitte nicht unabhängig vom schmalen Spalt regulierbar ist.



**Abb. 47:** Stute, Warmblut, 18 Jahre, OS, Keratitis bds.

**Aufnahme am stehenden Patienten mit Einbeinstativ**

**Beleuchtung mit Fotospalt, Vergrößerung: x12,5**

**Pfeil weiß, kurz: Epithel**

**Pfeil weiß, lang: Endothel der Kornea**

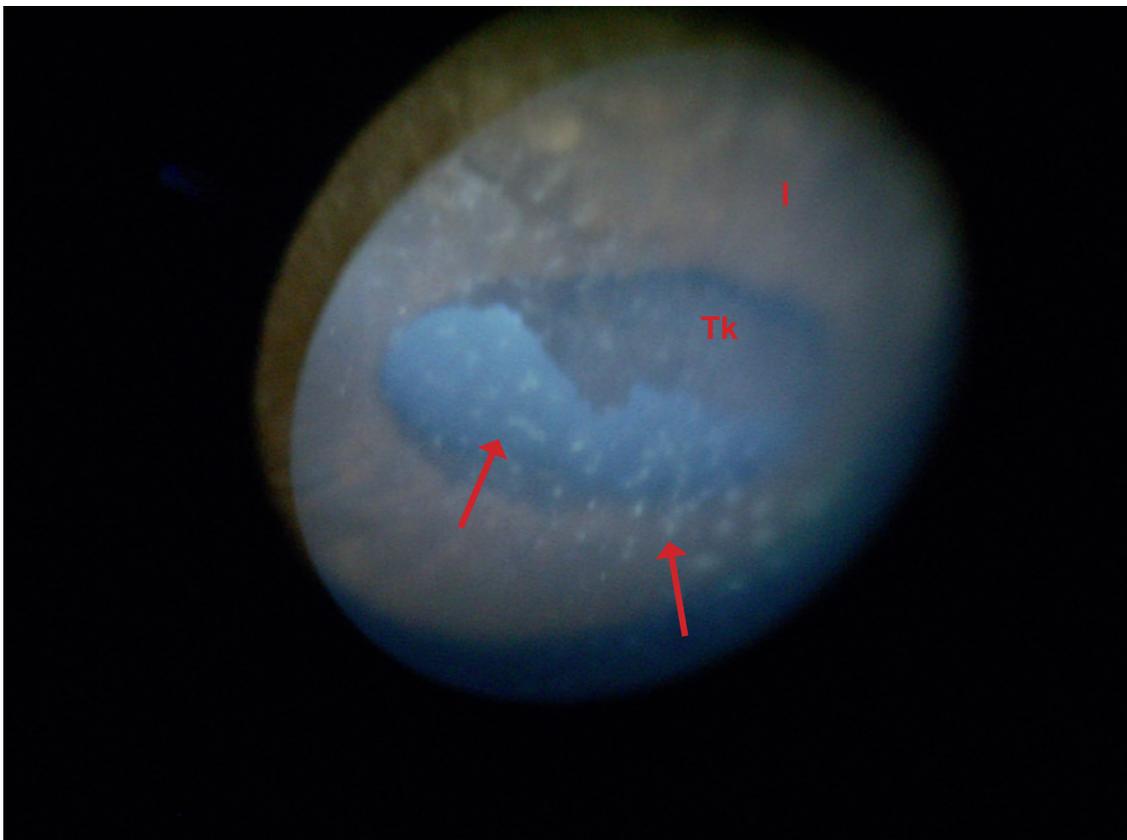
**Pfeile rot: Schatten der endothelialen Auflagerungen vor der leicht beleuchteten Iris**

**UB: Aufgrund von Fotospalteneinstellung unbeleuchtete Hornhautbereiche**

**K: Intensiv beleuchteter, stark reflektierender Hornhautbereich**

#### 4.2.3.1.7 Keratitis punctata

Die der in Abbildung 48 gezeigten Keratitis punctata sind die punktförmigen epithelialen Trübungen oft oberflächlich, unauffällig und leicht zu übersehen. Nur bei entsprechender Beleuchtung aus dem richtigen Winkel konnten bei diesem Pferd die kleinen Punkte, die sich über den Äquatorialbereich breitflächig erstrecken, fotografisch dargestellt werden. Im Spaltlampenbild konnten diese Veränderungen leider nicht demonstriert werden.



**Abb. 48: Stute, Warmblut, 17 Jahre, OS, Keratitis punctata**

**Aufnahme am stehenden Patienten, Übersichtsbeleuchtung**

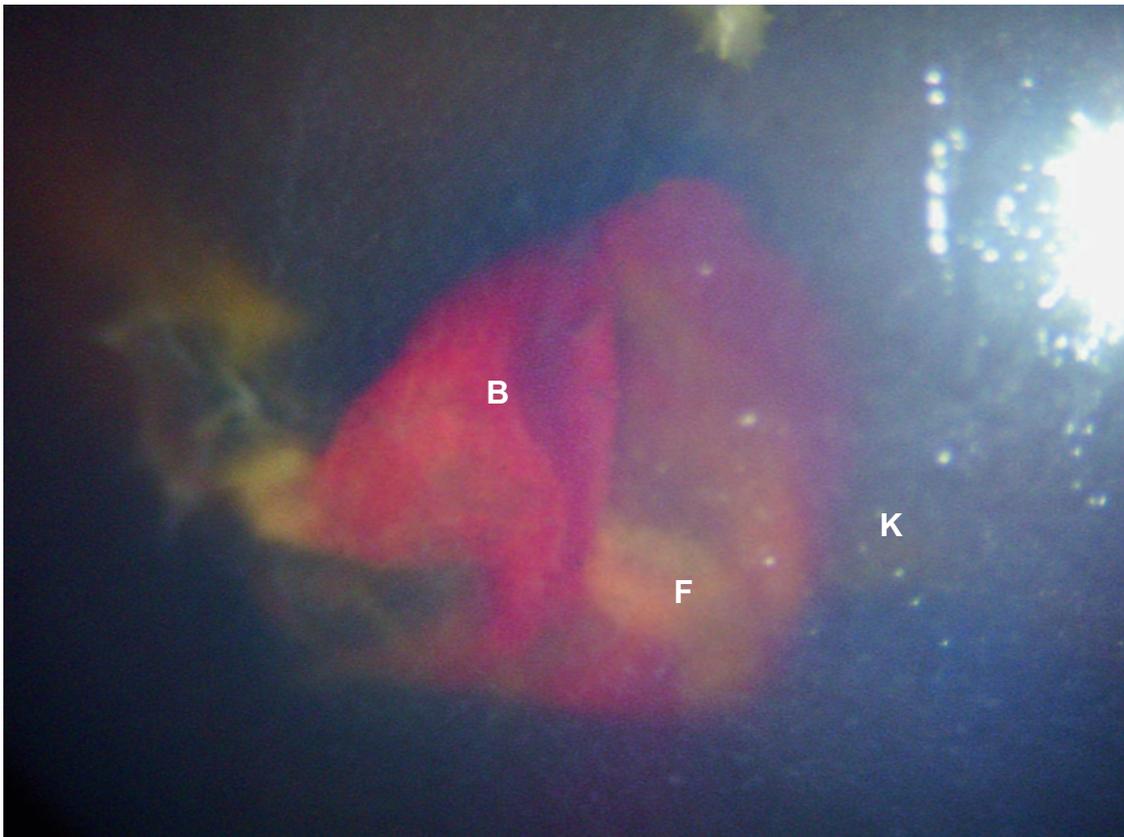
**Pfeile: Zahlreiche stecknadelkopfgroße, epitheliale rauchige**

**Hornhauttrübungen, I: Iris, Tk: Traubenkörner**

### 4.2.3.2 Befunde in der vorderen Augenkammer

#### 4.2.3.2.1 Hyphaema

Das Auftreten von Blut in der vorderen Augenkammer ist nicht immer Folge von Traumata. Oft tritt ein Hyphaema auch in Zusammenhang mit Uveitiden auf, wie es bei dem Patient in Abbildung 49 der Fall war. Die hier abgebildete vordere Augenkammer einer 12-jährigen Stute mit ERU enthält eine Ansammlung von Blut und Fibrin. Die Unschärfe der Aufnahme ist durch das gleichzeitig bestehende Hornhautödem zustande gekommen.

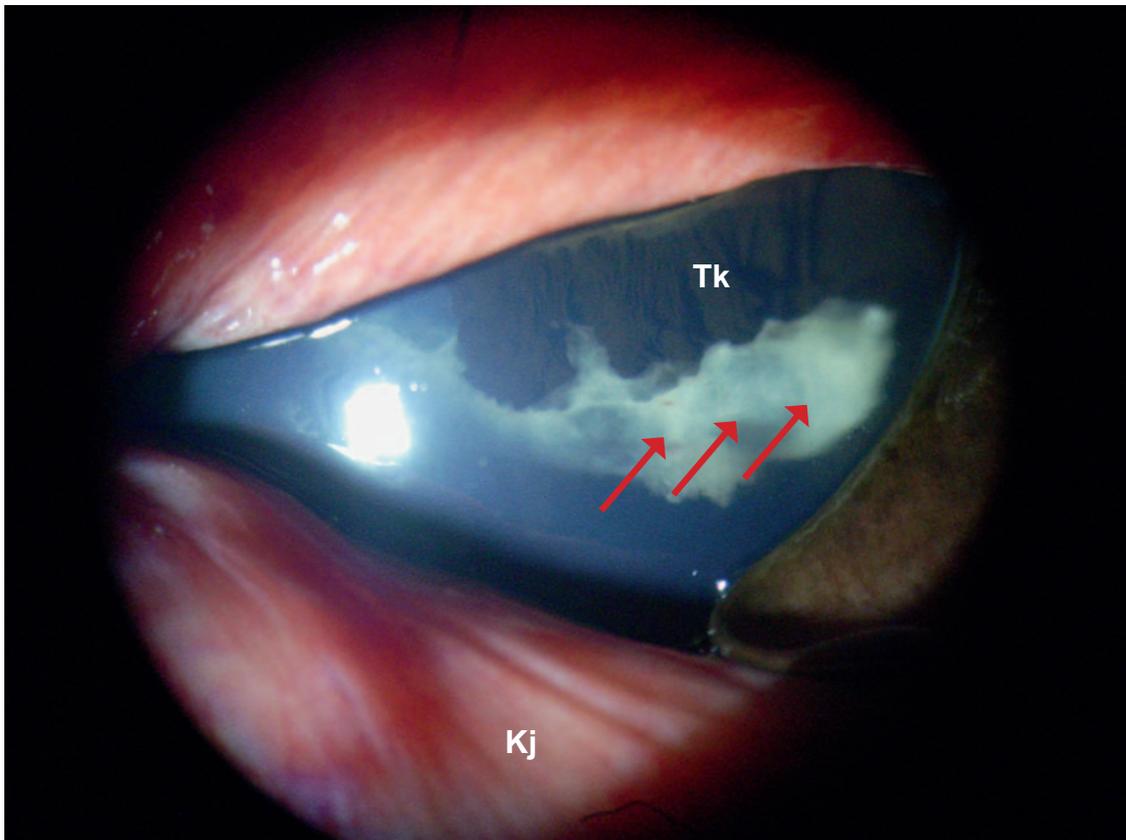


**Abb. 49:** Stute, Warmblut, 12 Jahre, OD, ERU

Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5

**B:** Blutansammlung, **F:** Fibrin, **K:** Kornea

#### 4.2.3.2.2 Fibrin in der vorderen Augenkammer



**Abb. 50: Stute, Warmblut, 13 Jahre, OD, ERU**

**Kj: Konjunktiva , Tk: Traubenkörner, Pfeile: Fibrin**

Abbildung 50 zeigt das Auge einer Warmblutstute mit equiner rezidivierender Uveitis. Die Konjunktiven sind deutlich entzündet und das Pferd zeigt einen hochgradigen Blepharospasmus. Die vordere Augenkammer ist fast zur Hälfte mit Fibrin angefüllt.

### 4.2.3.3 Befunde von Iris, Traubenkörnern und Kammerwinkel

#### 4.2.3.3.1 Normalbefunde von Iris und Kammerwinkel

Die Iris ist aufgrund ihrer nahezu zweidimensionalen Darstellbarkeit recht leicht zu fotografieren. Beim Pferd meist von bräunlicher Färbung besitzt sie feine zirkulär angeordnete Falten.

Abbildung 51 hebt die horizontale Fältelung deutlich hervor. Gefäße sind bei der hellbraunen Färbung nicht erkennbar.

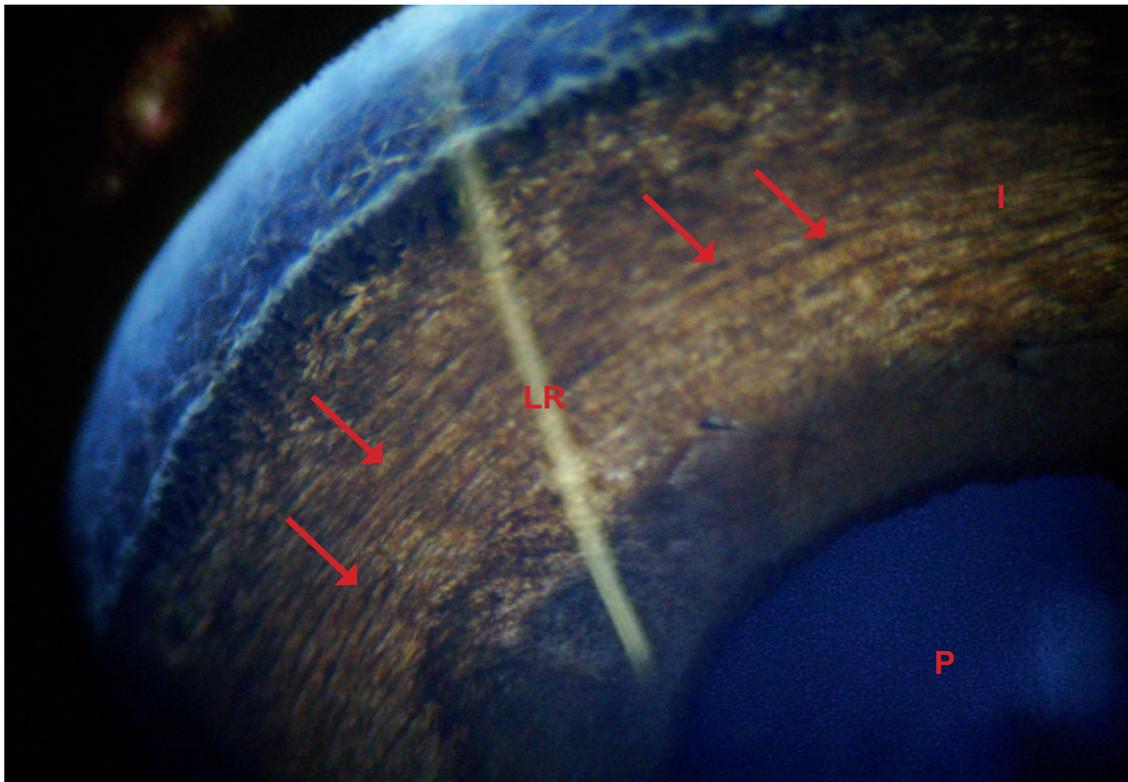


Abb. 51: Stute, Warmblut, 7 Jahre, OD, Normalbefund

Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x20

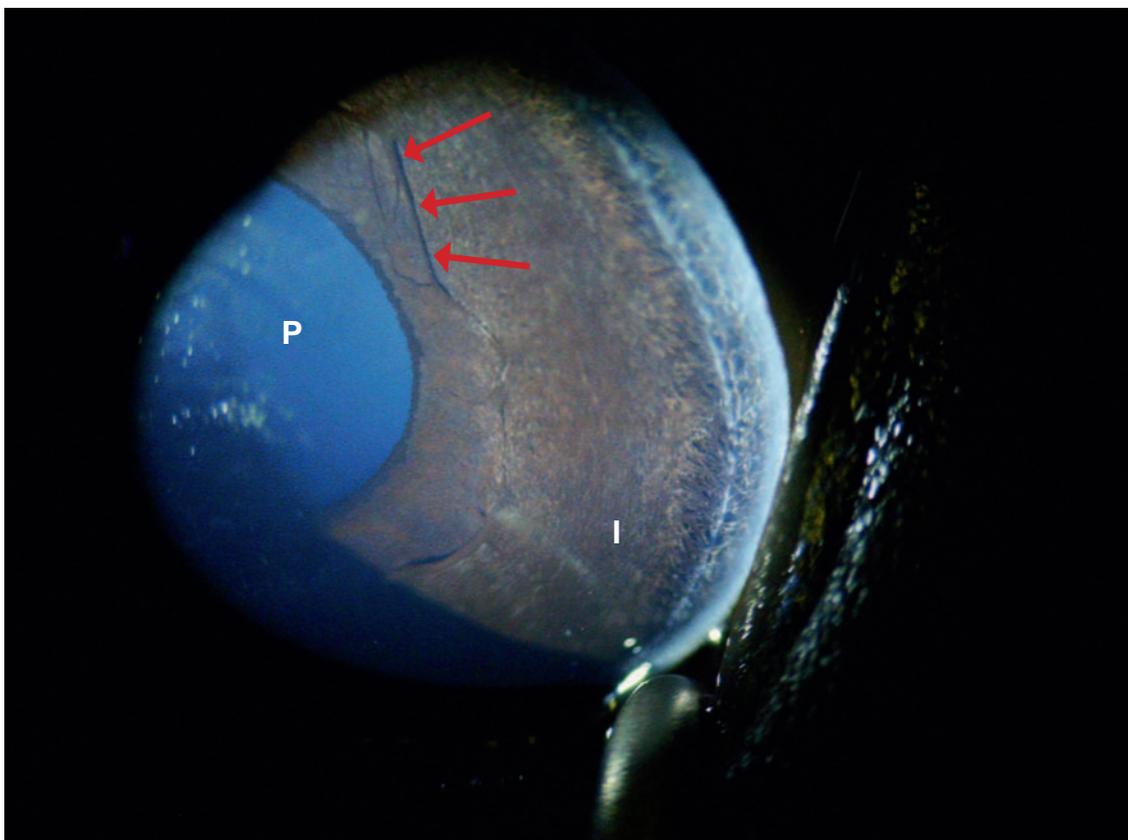
Pfeile: Zirkuläre Irisfältelung

LR: Lichtreflex durch Raumbelichtung

I: Iris, P: Pupille

Ein häufig vorkommender Befund beim Pferd ist eine nicht vollständig atrophier- te Pupillarmembran, die Membrana pupillaris persistens. Es bleiben pigmentier- te Fasern der Iris im mittleren Bereich der Irismanschette zurück.

Sofern keine Verbindungen dieser Fasern mit dem Hornhautendothel oder der vorderen Linsenkapsel bestehen, sind i.d.R. keine weiteren Veränderungen auf- findbar. So auch bei dem Patienten in Abbildung 52. Dieser Wallach wurde nicht wegen einer Augenerkrankung vorgestellt.



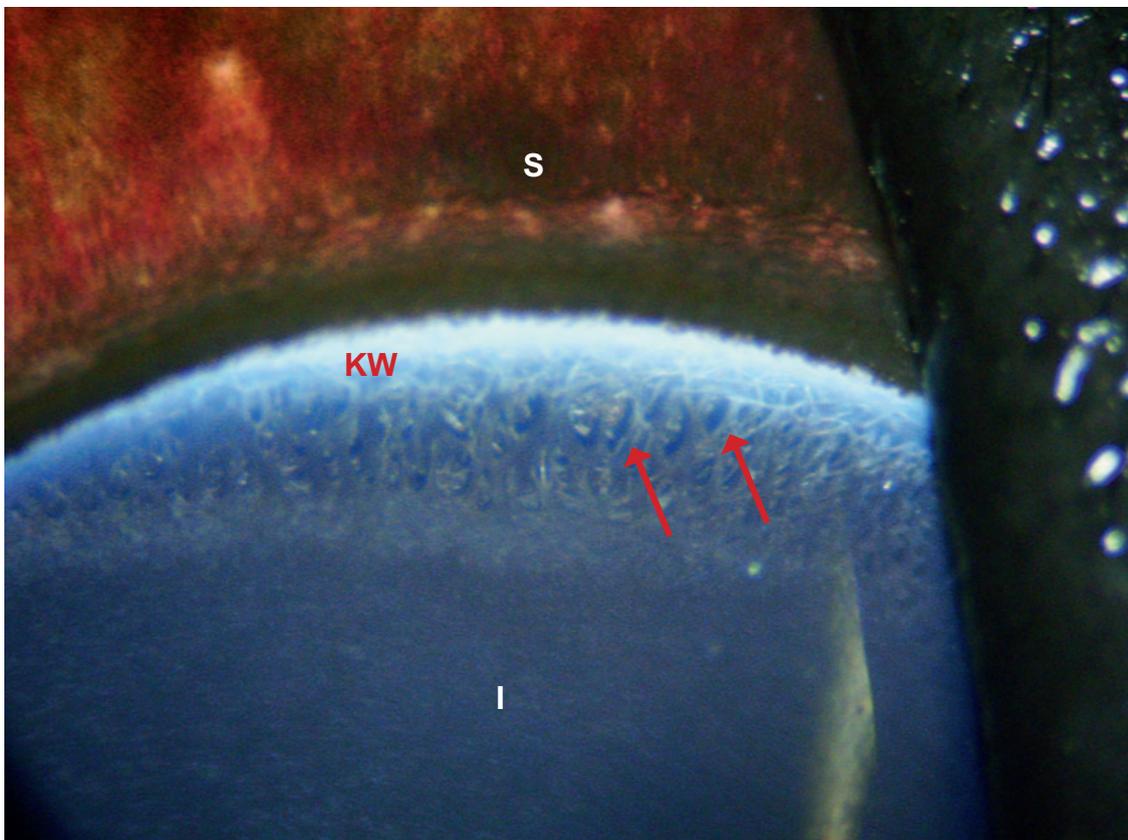
**Abb. 52: Wallach, Warmblut, 3 Jahre, OS, Normalbefund**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

**Pfeile: Überbleibsel der Membrana pupillaris persistens**

**I: Iris, P: Pupille**

Der geräumige Kammerwinkel der Spezies Pferd wird von Limbus, Iris und Ziliarkörperstroma begrenzt und zirkulär vom Ligamentum pectinatum umgeben. Vor allem medial und lateral ist das Ligamentum pectinatum mit seiner leintuchähnlichen Struktur aus eingeflochtenen, pigmentierten Trabekeln sichtbar, die durch mehrere Flusslöcher perforiert sind (BARNETT et al., 1998). Die mit der Hawk Eye Spaltlampe erstellten Fotos der Abbildungen 53 und 54 zeigen deutlich den Übergang der Iris in Bereich des Kammerwinkels. Vor allem in Abbildung 54 wird der speziestypische weite und offene Kammerwinkel deutlich.



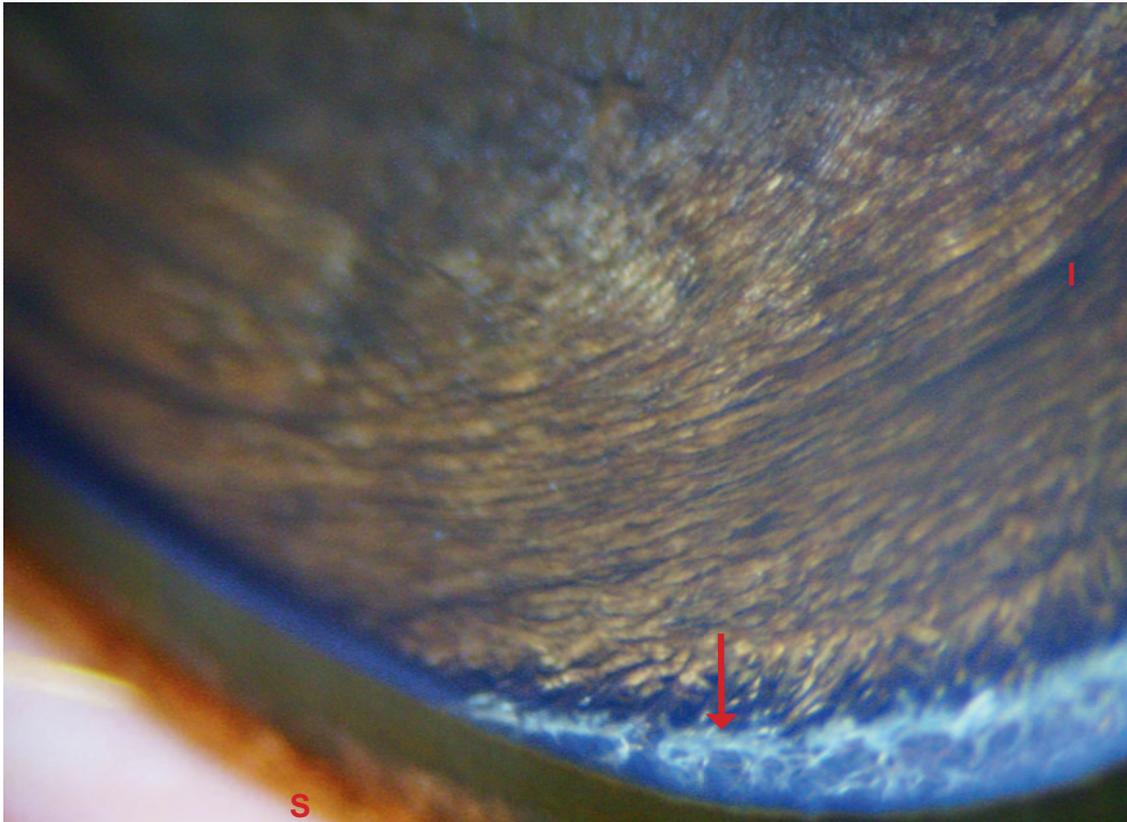
**Abb. 53: Hengst, Warmblut, 2 Jahre, OS, Normalbefund**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

**Pfeile: Trabekelstruktur, I: Iris, S: Sklera**

**KW: Übergang in den Kammerwinkel**

**(Die Trübung im Hornhautrandbereich ist Insertionsstelle des Trabekelwerks am Hornhautendothel)**



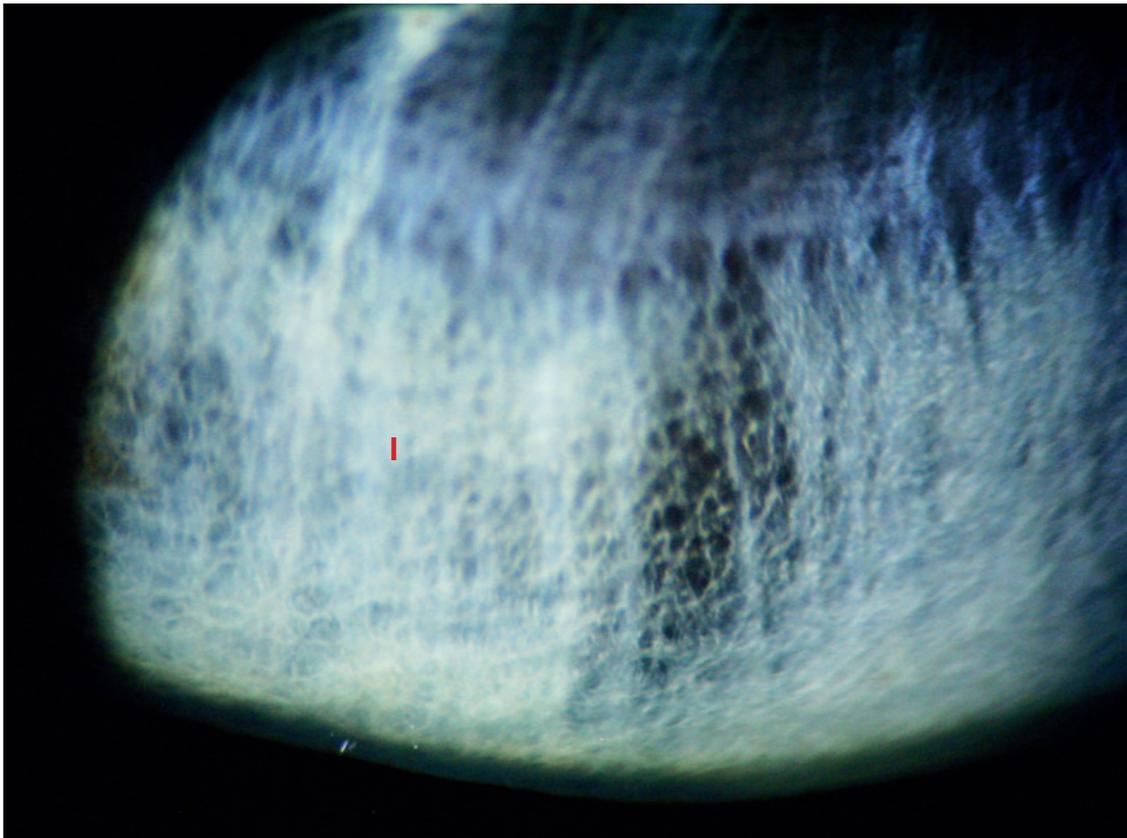
**Abb. 54: Wallach, Warmblut, 9 Jahre, OD**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x20**

**Pfeil: Übergang in den Kammerwinkel**

**S: Sklera, I: Iris**

Die normale Iris des Pferdes variiert in ihrer Farbe zwischen verschiedenen Brauntönen. Doch auch unterschiedliche Grade an Subalbinismus und Heterochromie der Iris können vorkommen. Abbildungen 55-57 zeigen einen Subalbinismus bei einer 14-jährigen Quarter Horse Stute.

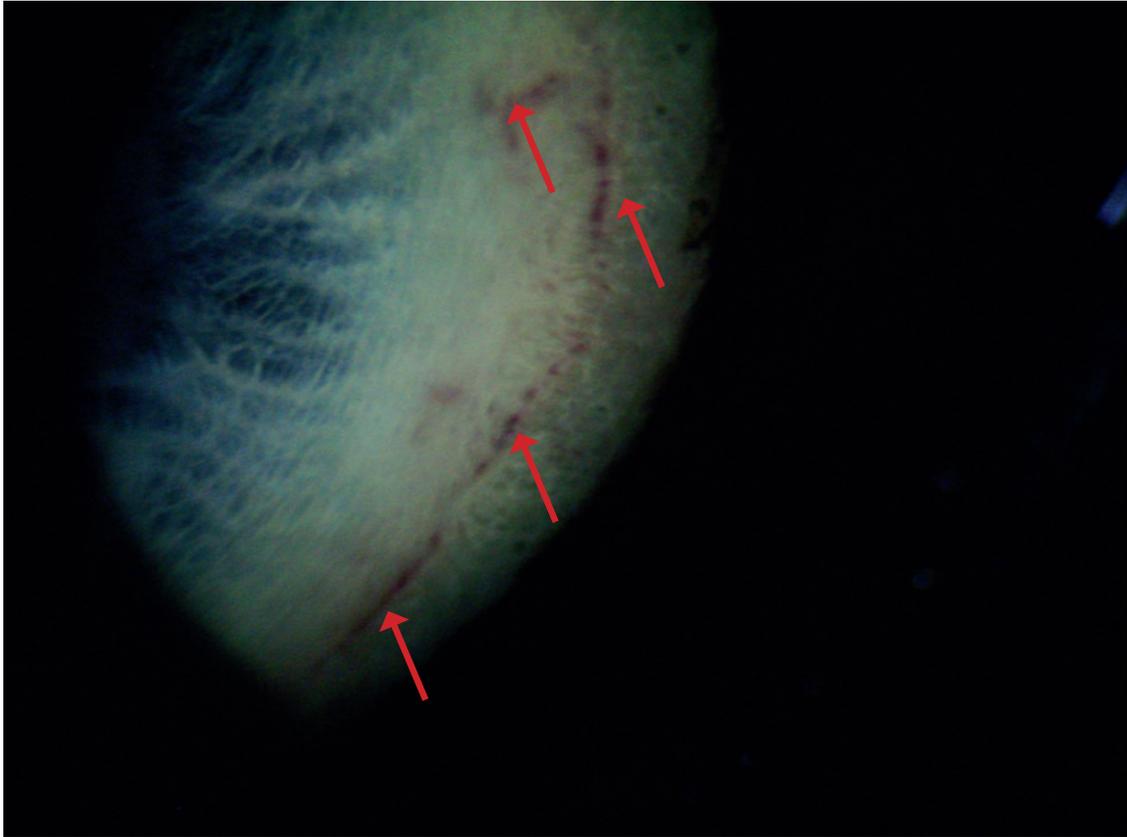


**Abb. 55: Stute, Quarter Horse, 14 Jahre, OD, Iris bicolor**

**Aufnahme am stehenden Pferd, Vergrößerung: x20**

**I: Subalbinotische, überwiegend weiße Iris**

In Abbildung 56 wird klar, dass nur bei fehlendem Pigment in der Iris die Irisgefäße sichtbar werden. Sie verlaufen im Normalfall innerhalb der Muskelfaserschichten, selten auf der Irisoberfläche.

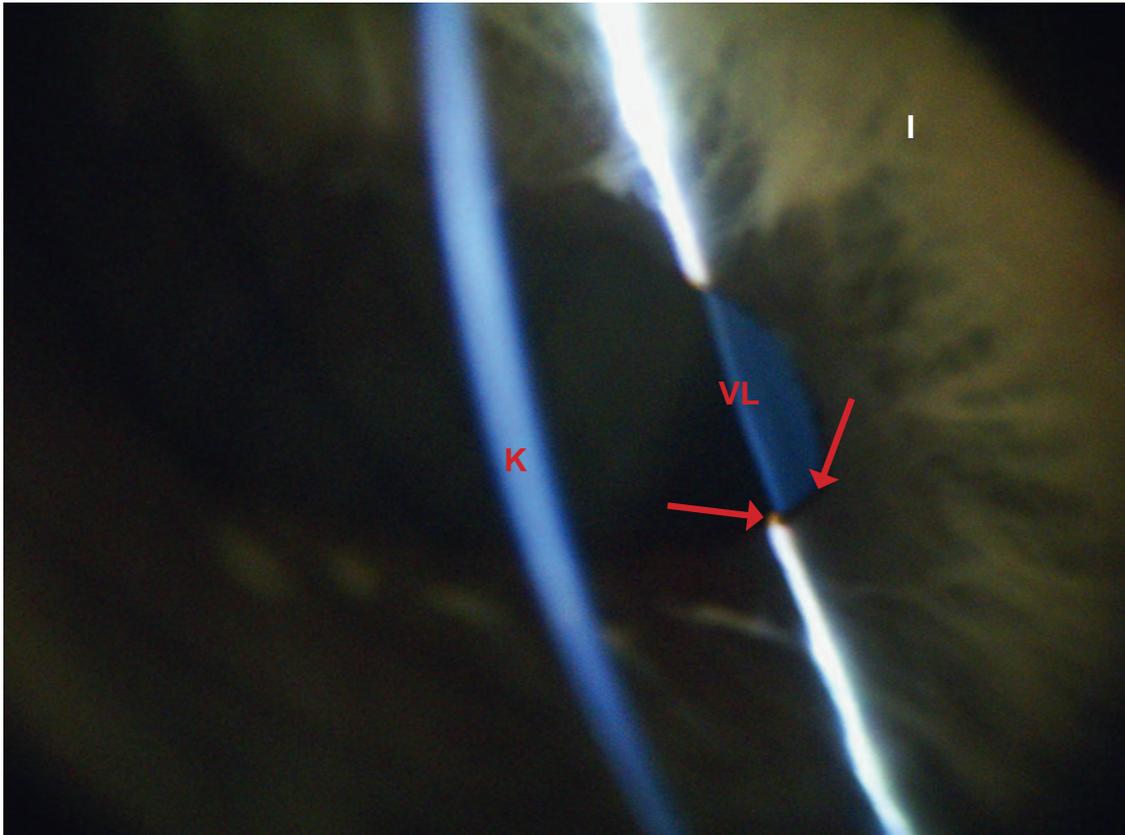


**Abb. 56: Stute, Quarter Horse, 14 Jahre, OD, Iris bicolor**

**Aufnahme am stehenden Pferd, Vergrößerung: x20**

**Pfeile: Irisgefäße**

In Abbildung 57 ist das Auge mit der mehrfarbigen Iris in einer Spaltaufnahme zu sehen. Durch die weißen Irisanteile wird der schmale Spalt besonders stark reflektiert. Der Pupillarsaum ist trotz fehlendem Pigment in der Irisperipherie von dunkler, brauner Farbe („Birkauge“).



**Abb. 57: Stute, Quarter Horse, 14 Jahre, OD, Gesundes Pferdeauge**

**Iris bicolor, Aufnahme am stehenden Pferd**

**0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**

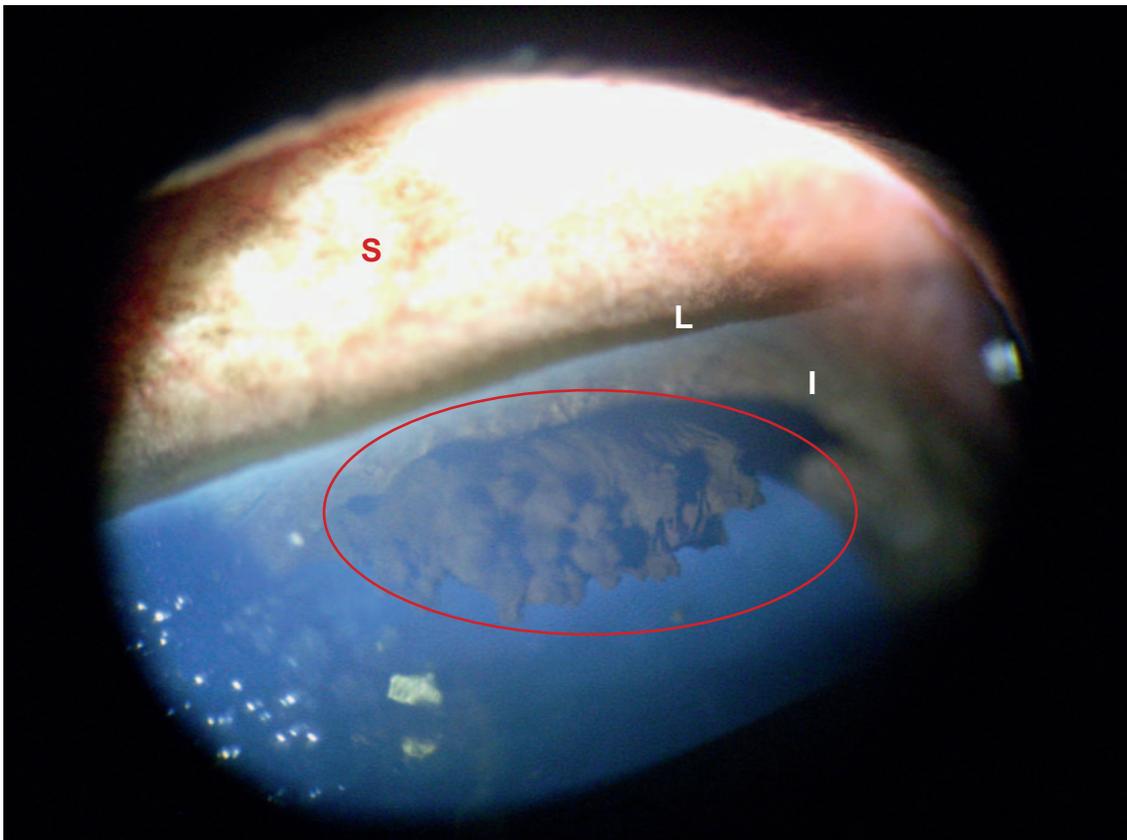
**K: Kornea, VL: Vordere Linsenkapsel**

**I: Iris, Pfeile: Brauner Pupillarsaum**

#### 4.2.3.3.2 Normalbefund der Traubenkörner

Die Traubenkörner, die sich am oberen, z.T. auch am unteren Pupillenrand des Pferdeauges befinden, sind in Anzahl und Form individuell variabel, sollte aber nicht mit Melanomen oder Iriszysten verwechselt werden.

Die Abbildungen 58 und 59 zeigen die Traubenkörner zweier augengesunder Stuten.

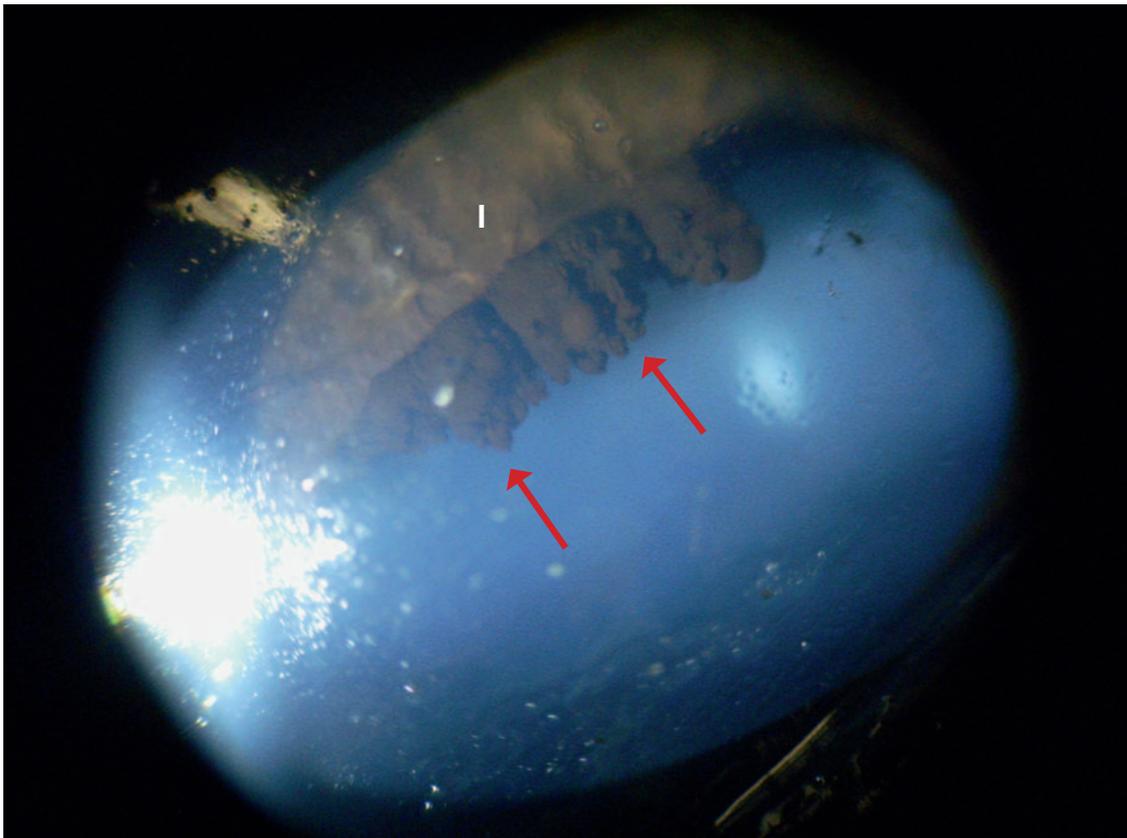


**Abb. 58: Stute, Warmblut, 13 Jahre, Gesundes Pferdeauge**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

**Ellipse: Traubenkörner**

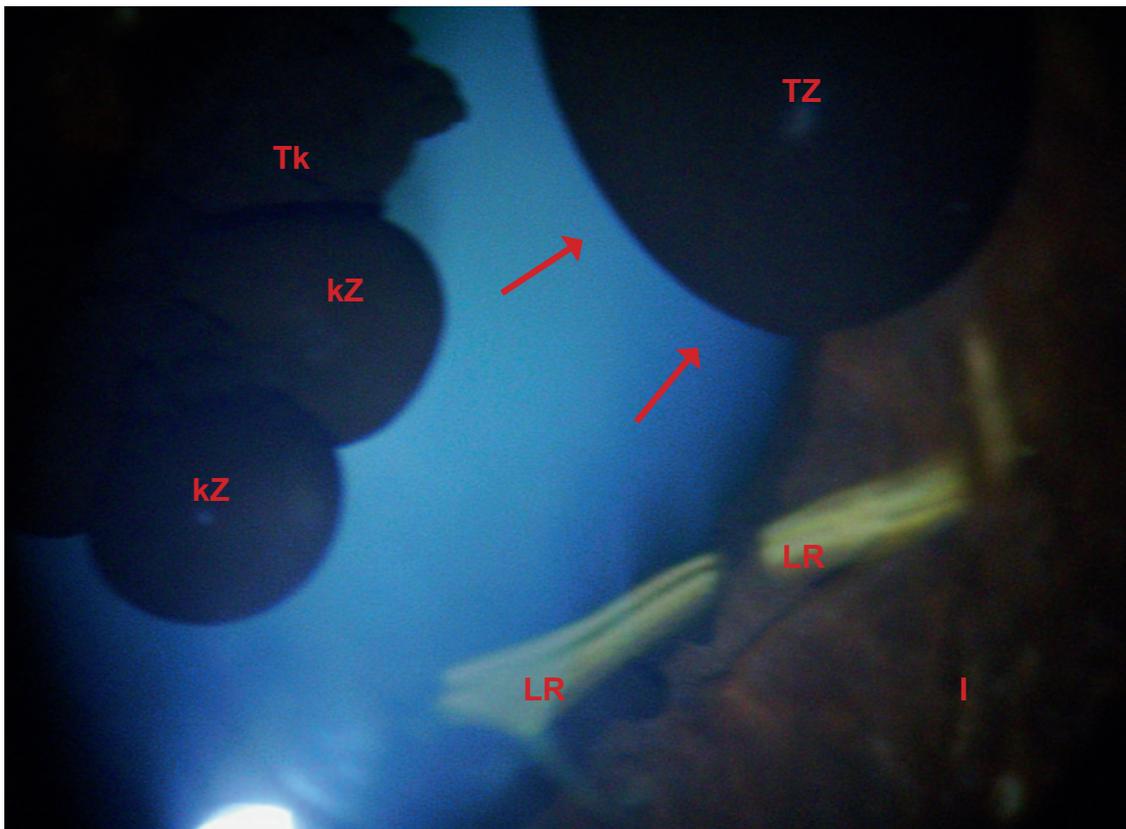
**S: Sklera, L: Limbus, I: Iris**



**Abb. 59: Stute, Warmblut, 15 Jahre, Übersichtsbeleuchtung**  
**Vergrößerung: x12,5, Aufnahme am liegenden Pferd**  
**Pfeile: Traubenkörner, I: Iris**

#### 4.2.3.3.3 Traubenkornzysten

Traubenkornzysten sind beim Pferd meist angeborener Natur. Sie können der Irisoberfläche aufliegen oder sich frei in der vorderen Augenkammer befinden und sind mit den Traubenkörnern am Pupillarrand verbunden. Sofern sie nicht durch ihre Ausmaße die Pupille verlegen, beeinträchtigen sie die Sehfähigkeit nicht.



**Abb. 60: Wallach, Westfälisches Warmblut, 13 Jahre, OD**

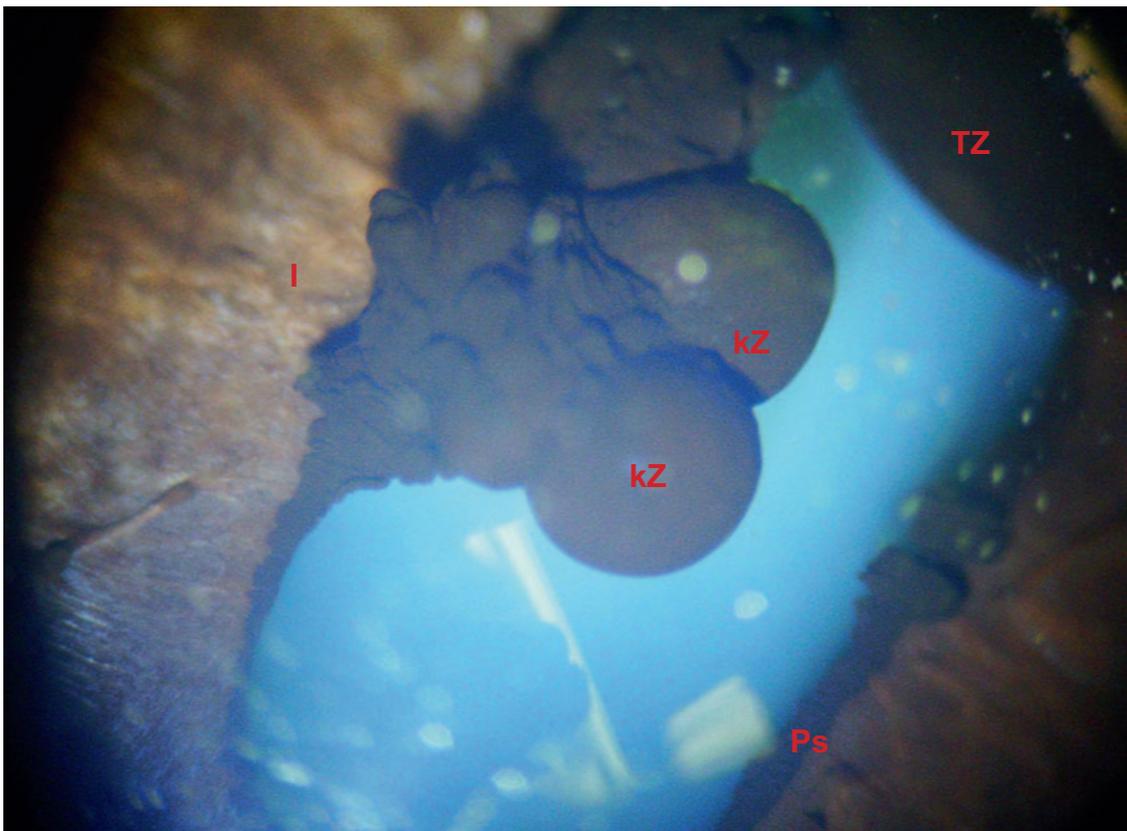
**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

**Tk: Traubenkörner, kZ: Kleinere Zysten, TZ: Traubenkornzyste**

**Pfeile: Glatte Oberfläche der Traubenkornzyste**

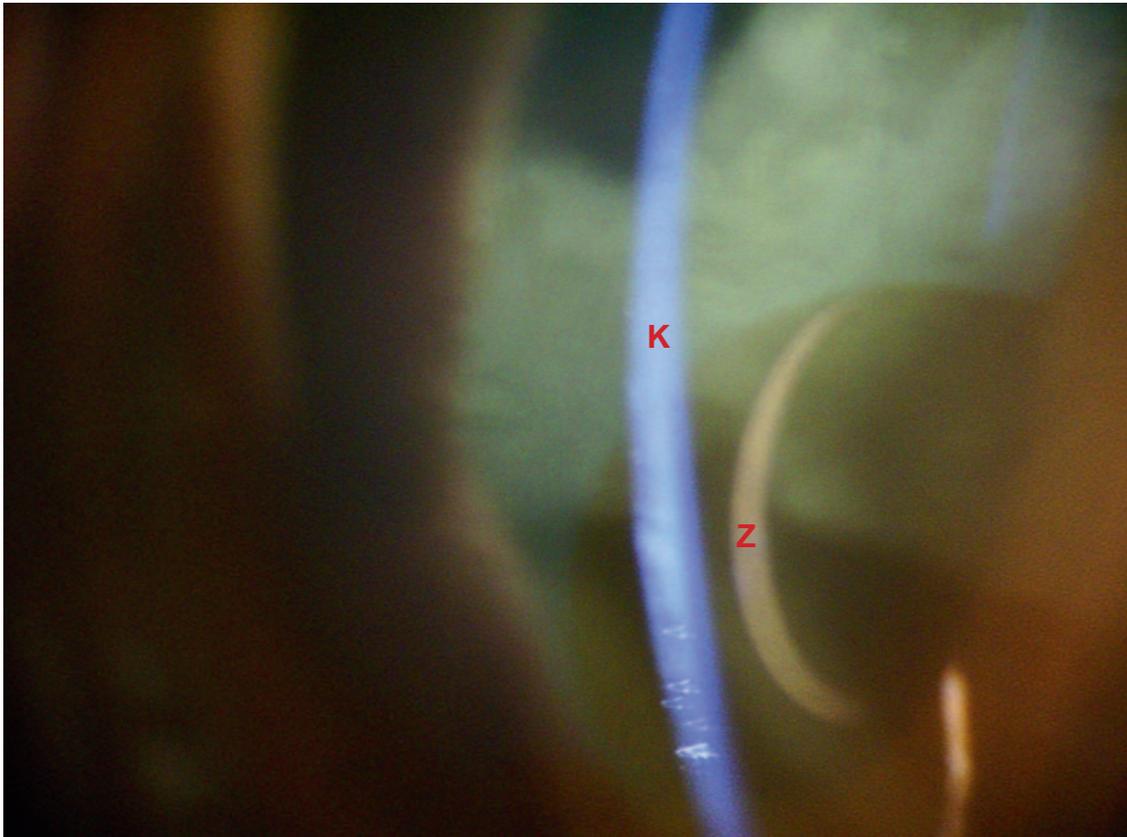
**I: Iris, LR: Lichtreflexe durch Deckenleuchten**

Die Abbildungen 60 und 61 zeigen eine Traubenkornzyste, pigmentiert und von glatter Oberfläche. Neben ihr befinden sich zwei kleinere Zysten. Der Wallach wurde zur Entfernung eines Plattenepithelkarzinoms in Narkose gelegt, die Traubenkornzysten waren ein Zufallsbefund.



**Abb. 61: Wallach, Westfälisches Warmblut, 13 Jahre, OD**  
**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**  
**kZ: Kleinere Zysten, TZ: Traubenkornzyste**  
**I: Iris, Ps: Pupillarsaum**

In Abbildung 62 ist dieselbe Traubenkornzyste zu sehen, diesmal in einer Spaltlichtfotografie. Die Aufnahme illustriert die extrem glatte Oberfläche sowie ihre Ausmaße bis weit in die vordere Augenkammer hinein.



**Abb. 62: Wallach, Westfälisches Warmblut, 13 Jahre, OD**

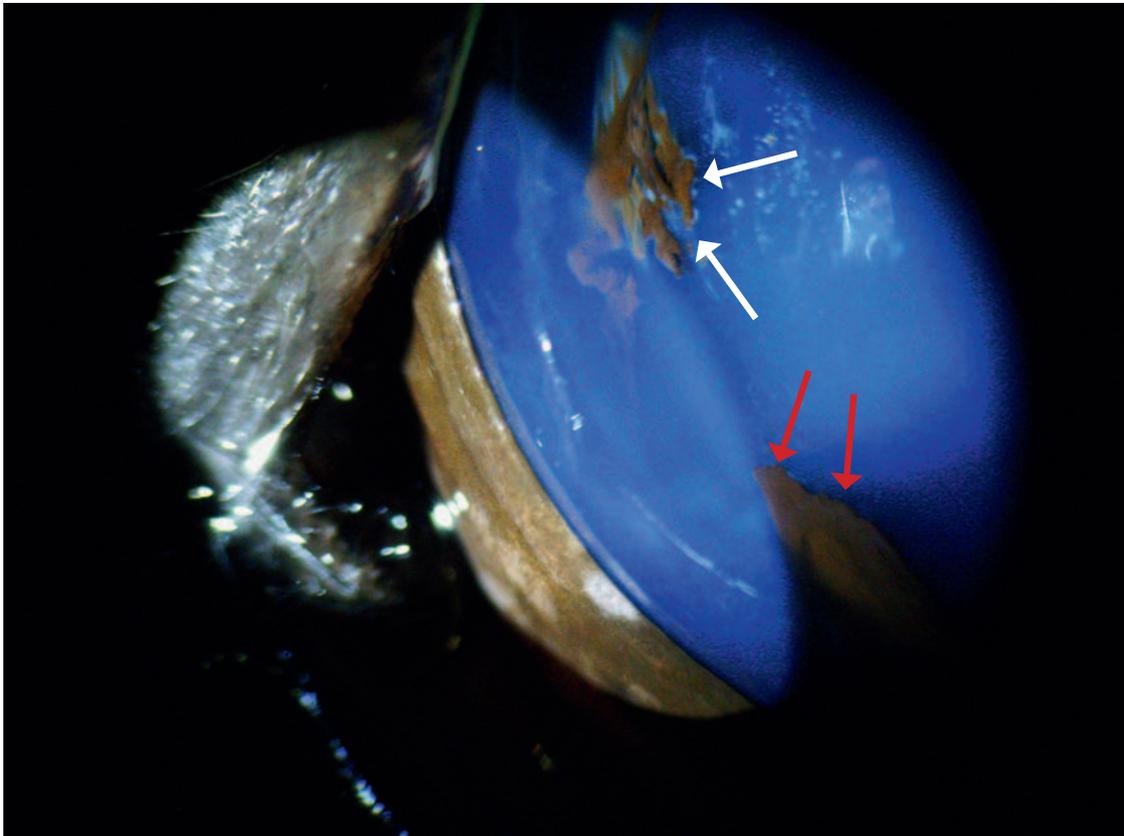
**Beleuchtung bei 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**

**K: Spaltreflex an der Hornhaut**

**Z: Spaltlicht auf der Zystenoberfläche**

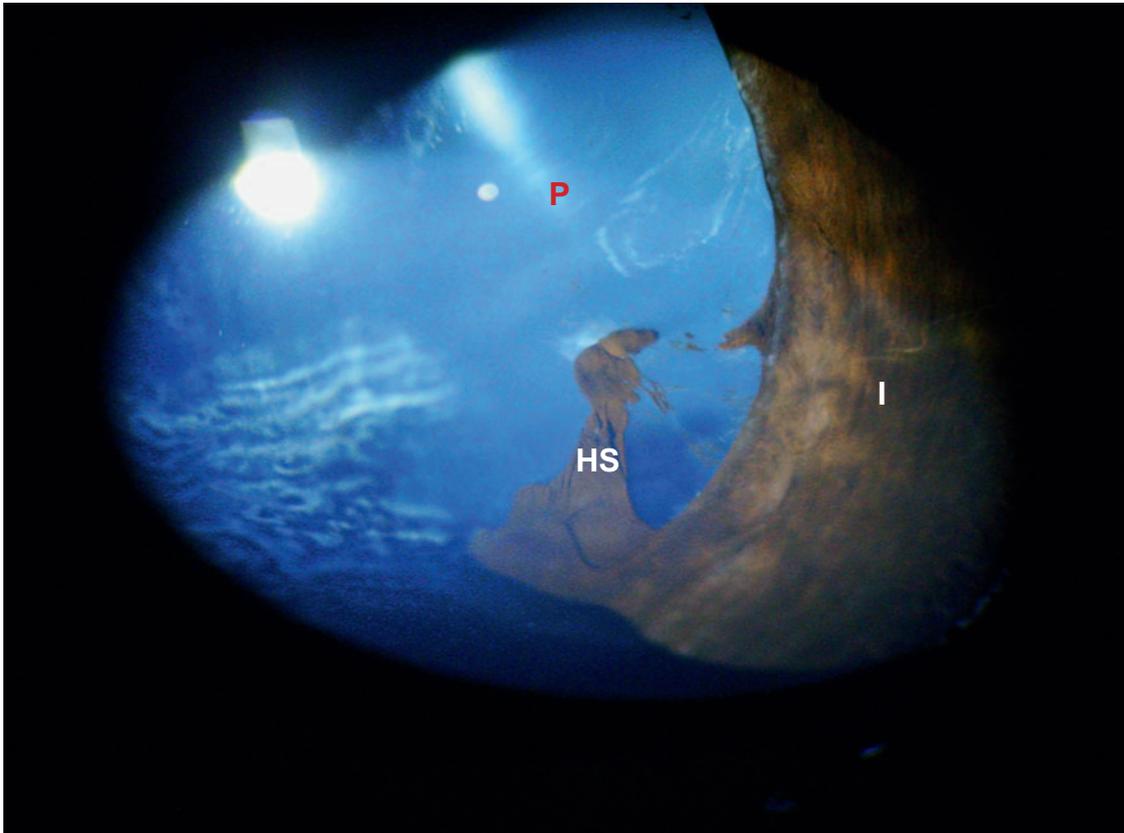
#### 4.2.3.3.4 Hintere Synechien

Auch hintere Synechien können die Funktion der Pupille und letztlich die Sehfähigkeit behindern. Häufig bei Entzündungen der Uvea vorkommend, zeigen sie sich meist in Zusammenhang mit Fibrinergüssen in der vorderen Augenkammer. Als eine Folge hinterer Synechien ist das Ausreißen verklebter Irisanteile anzusehen. Dies kann dazu führen, dass Irisresiduen auf der Linsevorderfläche haften bleiben. Diese Synechien sollten nicht mit einer Membrana pupillaris persistens, wie sie in Abbildung 52 vorgestellt wurden, verwechselt werden.

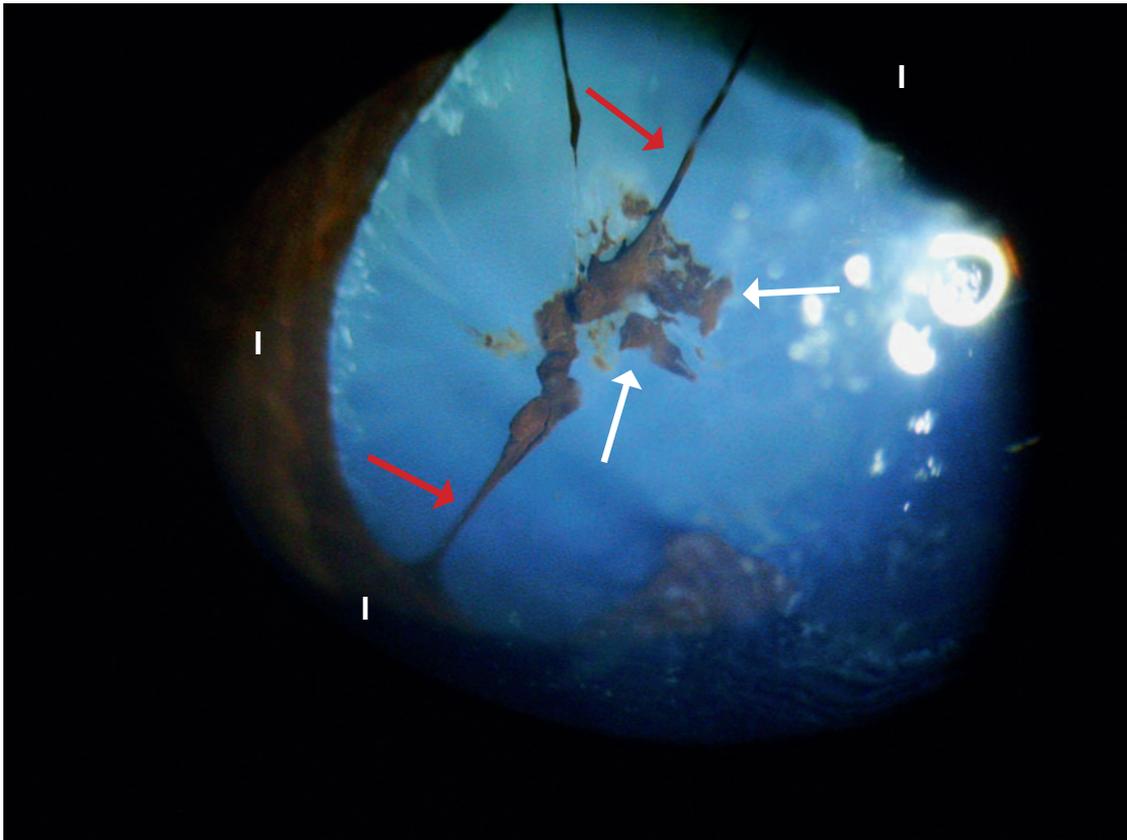


**Abb. 63: Wallach, Holsteiner, 12 Jahre, OS, ERU, Übersichtsaufnahme  
Ausleuchtung des nasal Bereichs, Vergrößerung: x12,5  
Bei 12.00 und 6.00 Uhr jeweils markante hintere Synechien  
nach ERU-Schüben  
Pfeile weiß: Irisresiduen auf der Linse  
Pfeile rot: Hintere Synechie**

Abbildungen 63-69 zeigen eine kleine Auswahl von Beispielen für hintere Synechien und Irisresiduen, die die Vielfalt ihrer möglichen Erscheinungen veranschaulichen sollen.



**Abb. 64: Wallach, Holsteiner, 12 Jahre, OS, ERU, Übersichtsaufnahme des ventrotemporalen Abschnitts, Vergrößerung: x12,5  
Bei 4.00 bis 5.00 Uhr kleinere, nur bei Mydriasis erkennbare hintere Synechien nach ERU-Schüben  
HS: Hintere Synechie, I: Iris, P: Pupille**



**Abb. 65: Wallach, Holsteiner, 12 Jahre, OS, ERU**

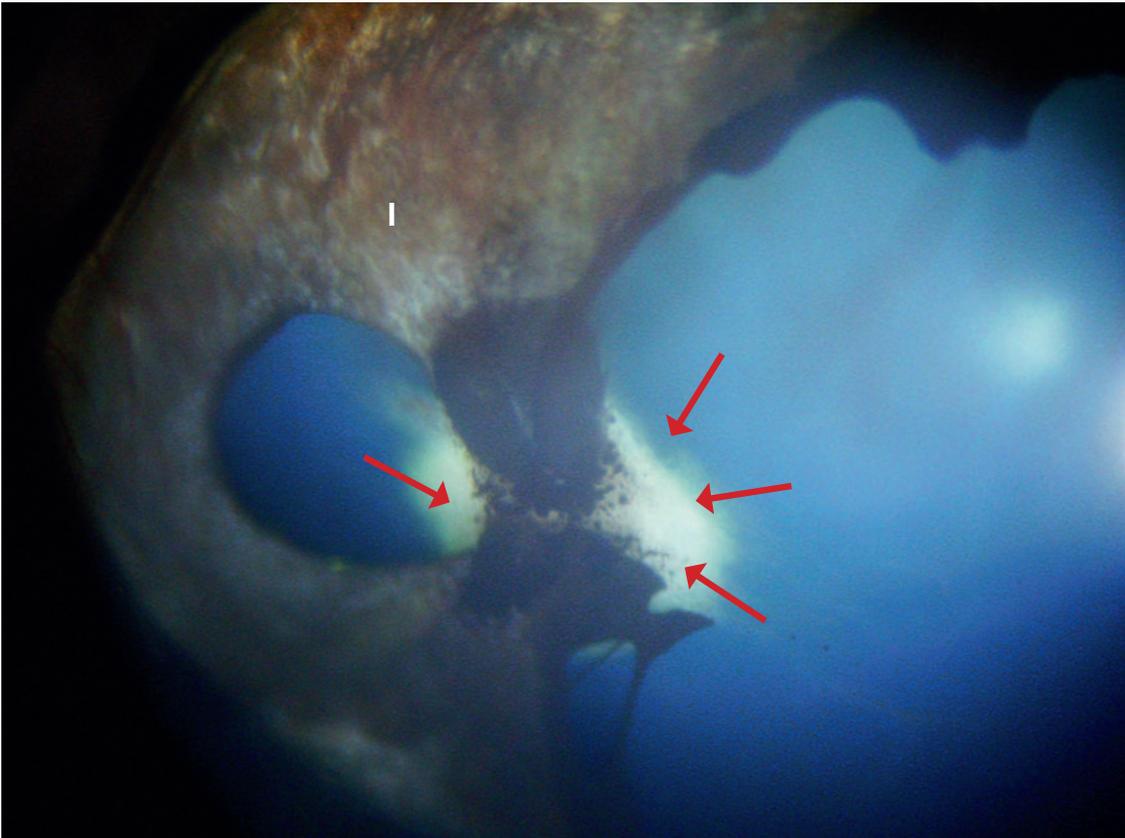
**Übersichtsaufnahme, Vergrößerung: x12,5**

**Beleuchtung der dorsonasalen Augenabschnitte**

**Pfeile rot: Irisspangen zwischen Iris und Irisresiduen**

**Pfeile weiß: Irisresiduen auf der Linse**

**I: Iris**

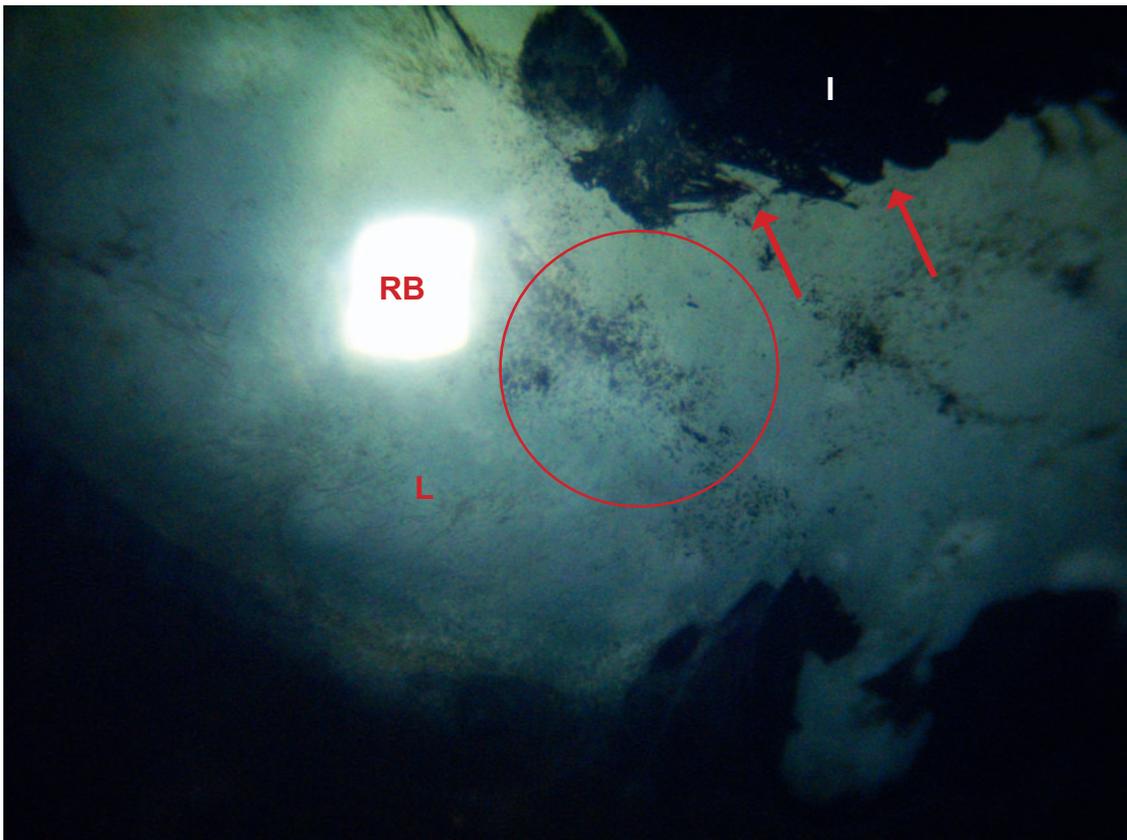


**Abb. 66: Wallach, Warmblut, 18 Jahre, OS, ERU**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

**Nasal vom dorsalen und vom ventralen Pupillenrand ausgehende hintere Synechien nach ERU-Schüben**

**Pfeile: Verwachsungen der Iris mit der Linse, I: Iris**



**Abb. 67: Wallach, Quarter Horse, 17 Jahre, OD, ERU**

**Aufnahme am stehenden Patienten**

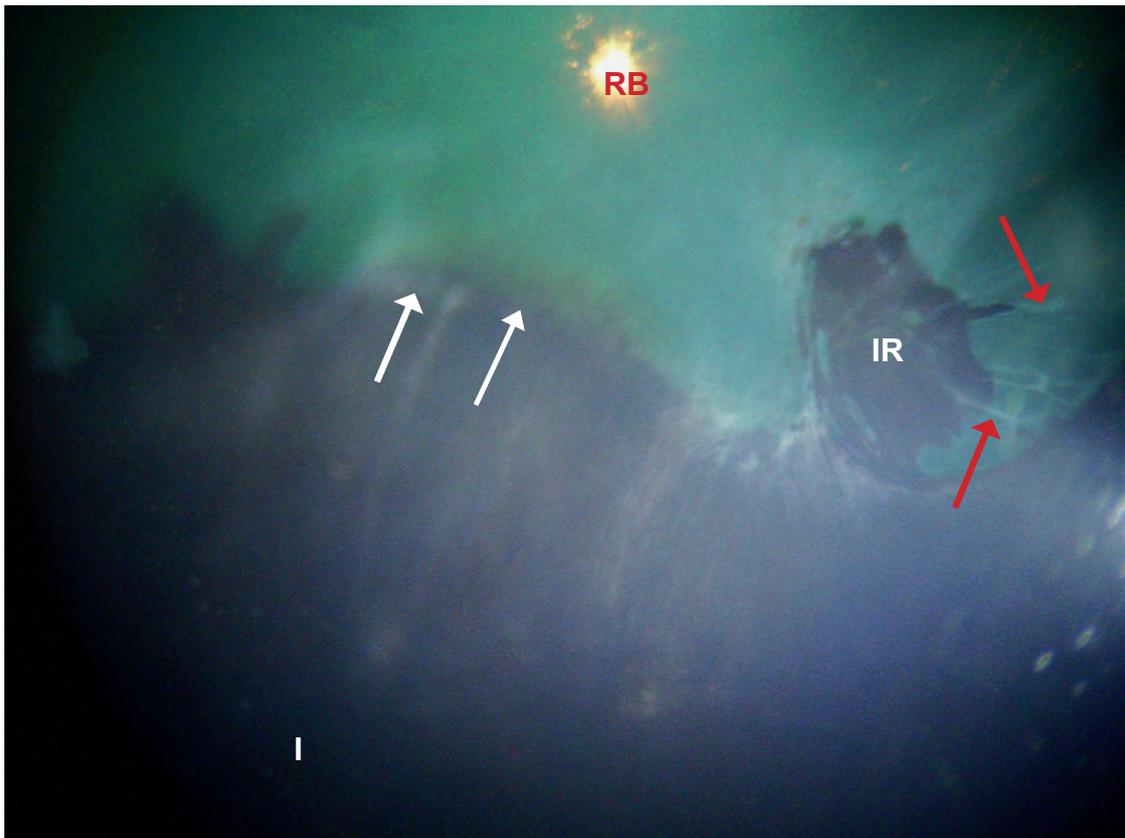
**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x20**

**Zahlreiche hintere Synechien mit zahlreichen, kleinen Irisresiduen auf der Linsenvorderfläche, Dyskorie, beginnende Katarakt bei ERU**

**I: Iris, L: Linse, RB: Lichtreflex durch Beleuchtungseinheit**

**Pfeile: Mit Linse verklebte, ausgefranste Irisränder**

**Kreis: Multiple kleine Irisresiduen auf der Linsenvorderfläche**



**Abb. 68: Stute, Warmblut, 14 Jahre, OD, ERU**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x20**

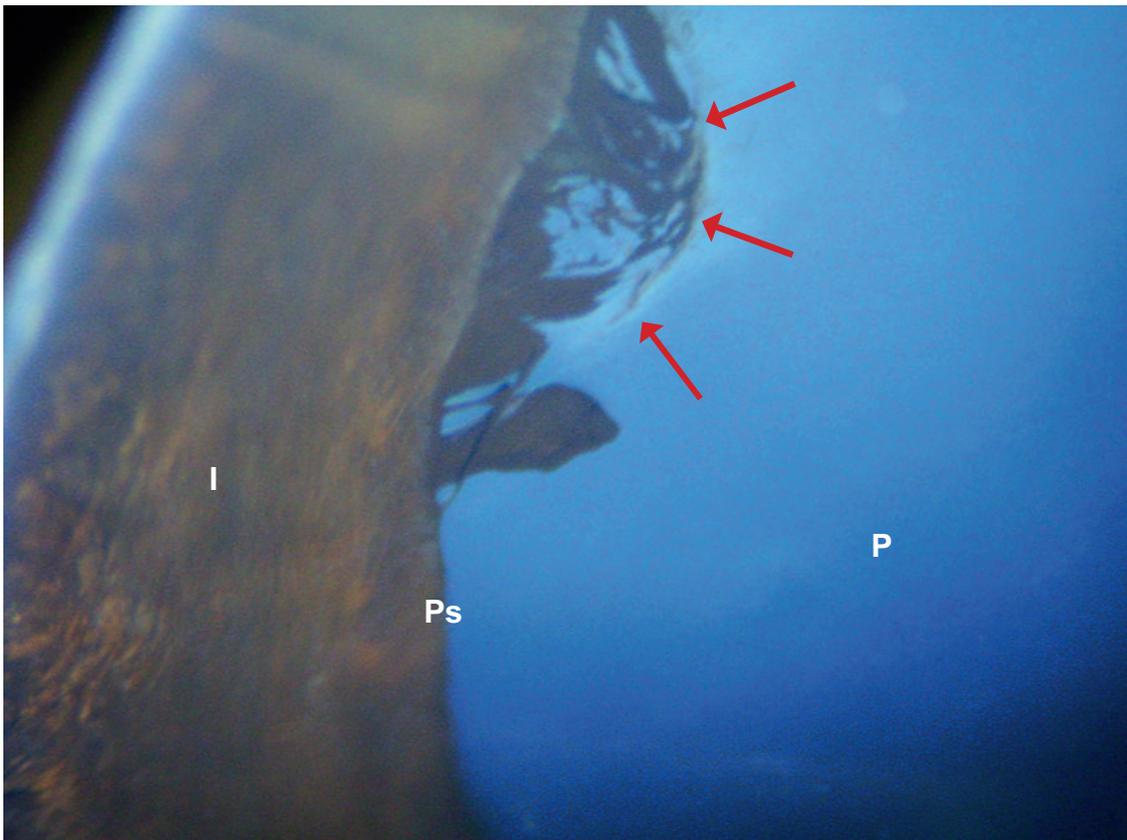
**Deutliche hintere Synechie mit Fibrinspangen zwischen Iris, Irisresiduen und Linsenvorderfläche und bereits ausgefranstem Pupillarsaum nach ERU-Schüben**

**Pfeile weiß: Ausgefranst, z.T. noch mit Linsenvorderfläche verklebter Pupillarsaum**

**I: Iris, IR: Irisresiduen**

**Pfeile rot: Fibrinspangen**

**RB: Lichtreflex durch Zusatzbeleuchtung**



**Abb. 69: Wallach, Friese, 6 Jahre, OS, ERU**

**Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5**

**Fransenartige, von der Iris ausgehende Verklebungen mit der  
Linsenvorderfläche im dorsonasalen Bereich des Pupillarsaums**

**I: Iris, P: Pupille, Ps: Pupillarsaum, Pfeile: Hintere Synechien**

#### 4.2.3.4 Befunde der Linse

##### 4.2.3.4.1 Katarakt

Eine Katarakt kann in unterschiedlichen Formen auftreten. Grundsätzlich wird zwischen einer totalen Katarakt, einer partiellen Katarakt sowie einer Katarakt der Linsennähte differenziert.

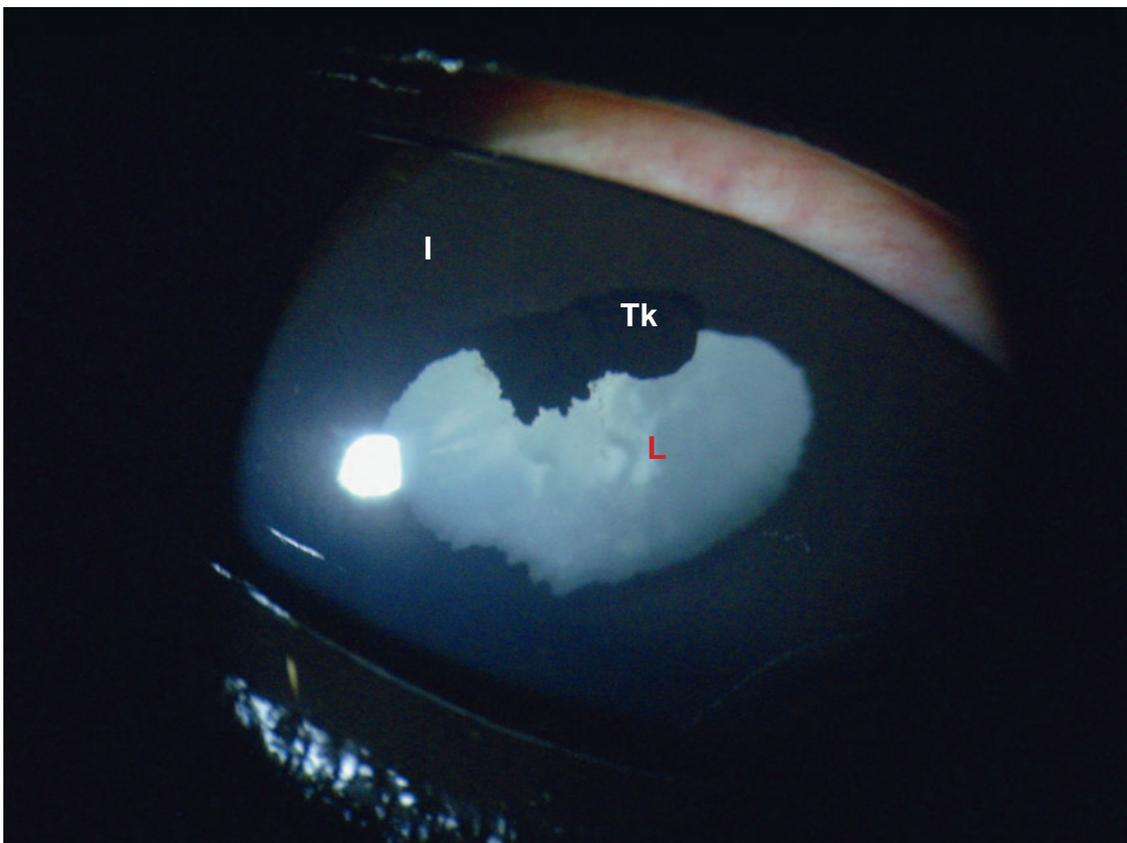
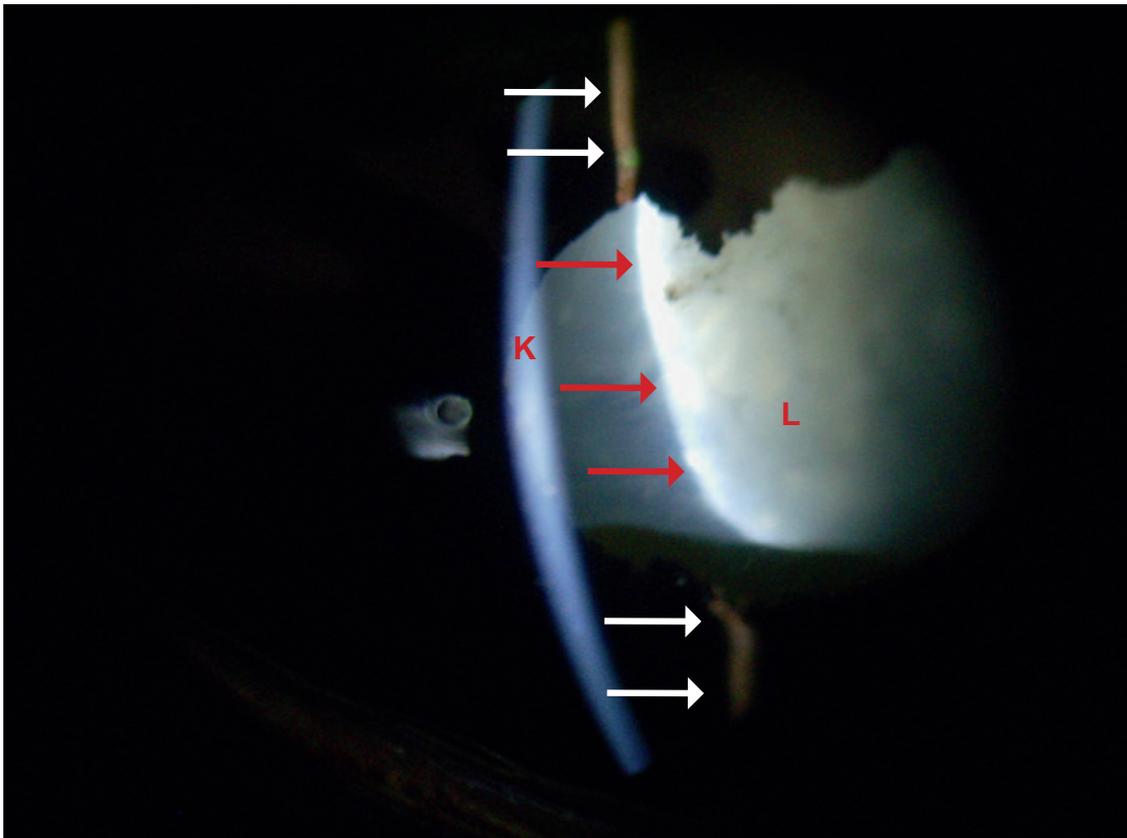


Abb. 70: Stute, Isländer, 15 Jahre, OS, ERU

Übersichtsbeleuchtung, Vergrößerung: x12,5

I: Iris, Tk: Traubenkörner, L: Linse, Stadium von totaler Katarakt

Die Abbildungen 70 und 71 zeigen eine totale Katarakt. In diesem Fall stellt sie einen postinflammatorischen Zustand nach ERU dar. In Abbildung 70 sind neben der Katarakt minimale hintere Synechien erkennbar. Abbildung 71 zeigt dasselbe Auge bei Spaltbeleuchtung. Der auf der Linse entstandene Spalt verdeutlicht die vollständig verloren gegangene Transparenz der Linse sowie ihre unregelmäßige Oberfläche.



**Abb. 71: Stute, Isländer, 15 Jahre, OS, ERU**

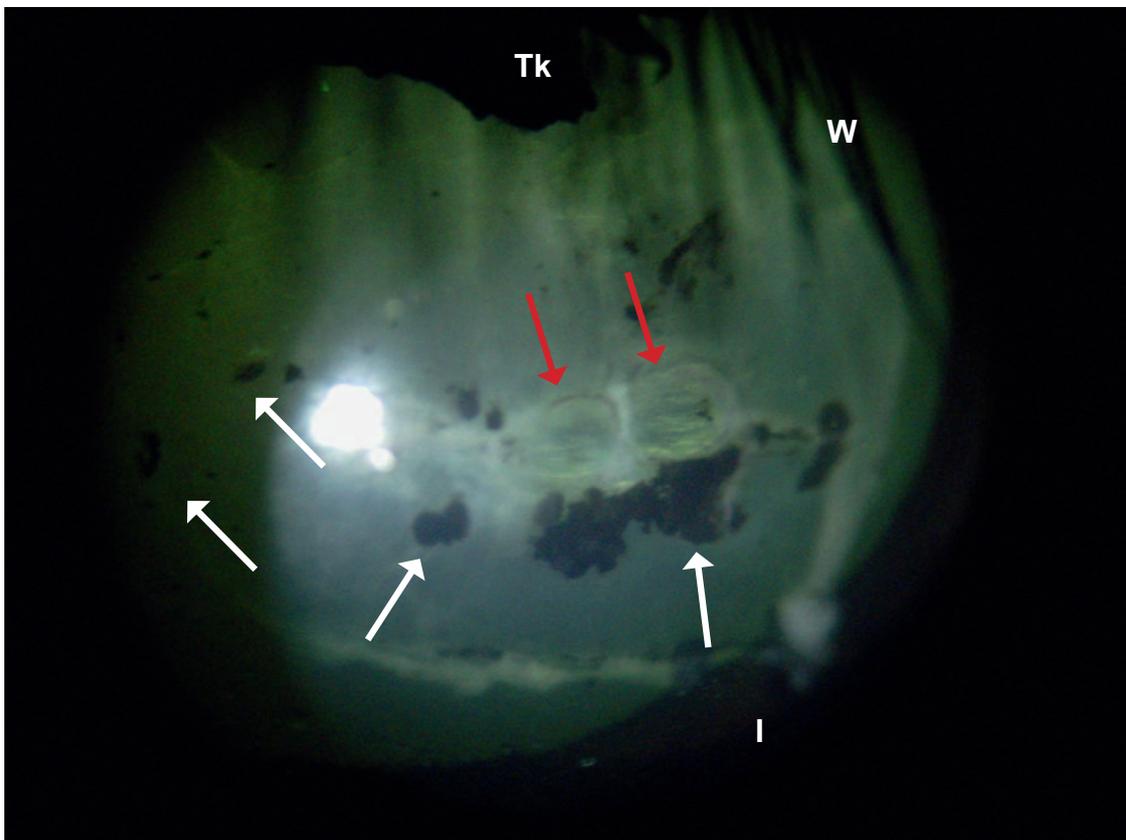
**Beleuchtung bei 0,2mm Spaltbreite, Vergrößerung: x12,5**

**K: Lichtbrechung an der Kornea, L: Linse**

**Pfeile rot: Lichtbrechung an der Linsevorderfläche  
(hier sehr unregelmäßig),**

**Pfeile weiß: Lichtbrechung an der Iris**

#### 4.2.3.4.2 Weitere Linsenveränderungen bei ERU



**Abb. 72: Wallach, Warmblut, 17 Jahre, OS, ERU**

**Übersichtsaufnahme, Vergrößerung: x12,5**

**I: Iris, Tk: Traubenkörner, W: Wimpern**

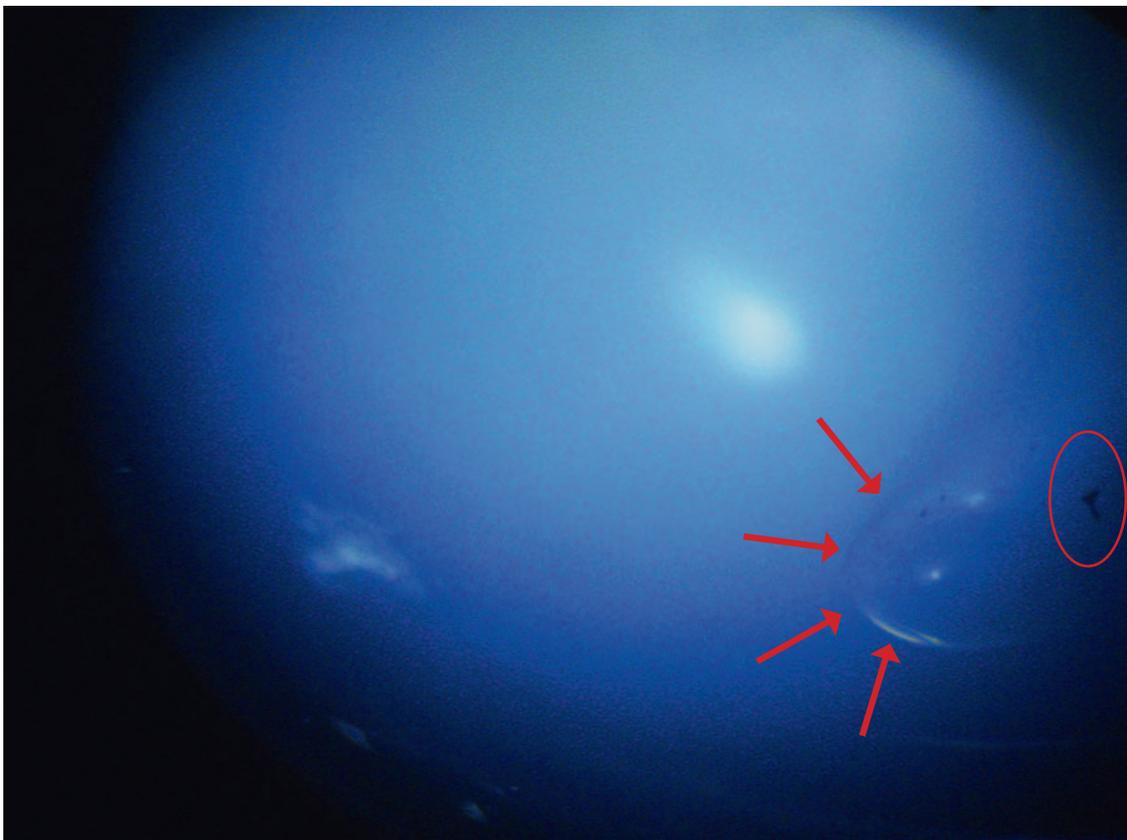
**Pfeile weiß: Irisresiduen, Pfeile rot: Bläschenartige**

**Veränderungen im vorderen Linsenkapselbereich**

Abbildung 72 ist die Aufnahme des linken Auges eines 17-jährigen Wallachs mit ERU. Die Linse ist deutlich getrübt und an der Linsenvorderfläche haften mehrere Irisresiduen an, die z.T. mit bläschenartigen Veränderungen in diesem Bereich verbunden sind. Auffallend ist auch der für Glaskörpertrübungen bei ERU typische grünliche Fundusreflex.

#### 4.2.3.4.3 Linsenbläschen

Abbildung 73 und 74 zeigen das rechte Auge des bereits in Abbildung 27 vorgestellten, 8-jährigen Warmblutwallachs vor der Durchführung einer Parazentese. In Abbildung 73 zeichnet sich eine, in dieser Übersichtsaufnahme etwas schwer erkennbare, vakuoläre Veränderung der Linse auf ca. 4 Uhr ab. Deutlich wird diese Vakuole erst bei seitlicher Spaltbeleuchtung. Abbildung 74 zeigt die Veränderung deutlicher, auch die mit ihr verbundenen, kleinen Irisresiduen sind in dieser Aufnahme wieder zu finden.

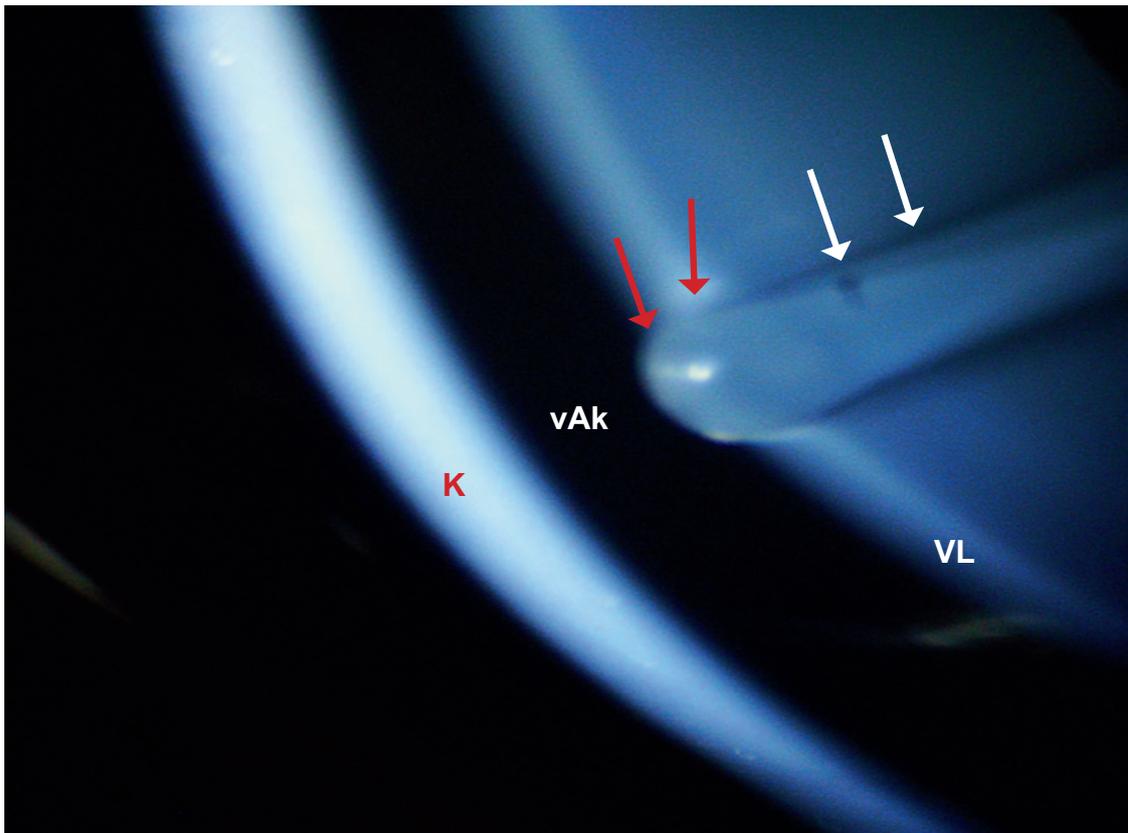


**Abb. 73: Wallach, Rheinl. Warmblut, 8 Jahre, OD**

**Übersichtsaufnahme, Vergrößerung: x12,5**

**Vakuoläre Veränderung der Linsenvorderkapsel und kleiner  
Irisrest auf der Linsenvorderfläche**

**Pfeile: Linsenvakuole, Ellipse: Irisresiduum auf der Linse**



**Abb. 74: Wallach, Rheinl. Warmblut, 8 Jahre, OD**

**Beleuchtung bei 1,0mm Spaltbreite, Vergrößerung: x20**

**Optischer Schnitt mit dem Spaltlicht durch das Auge des Patienten aus Abbildung 73 mit einer Linsenvakuole, die teilweise bis in die vordere Augenkammer hineinreicht**

**K: Kornea**

**VL: Vordere LinsenkapSEL**

**vAk: Vordere Augenkammer**

**Pfeile rot: Linsenvakuole**

**Pfeile weiß: Lichtbrechungseffekt durch Vakuole**

#### 4.2.3.5 Befunde des Fundus

Die Hawk Eye Spaltlampe der Firma die Dioptrix besitzt als Zusatzoption die Möglichkeit, mit einer Funduslinse den Fundus zu untersuchen und zu fotografieren. Voraussetzung war zum einen die Weitstellung der Pupille. Weiterhin musste die Linse für einige Zeit vor der Untersuchung im Wärmeschrank aufbewahrt werden. Ohne das Vorwärmen kam es bei der (zur Fundusuntersuchung notwendigen) starken Annäherung an die Hornhaut durch die Wärme des Bulbus zum Beschlagen der Funduslinse. Eine Untersuchung und das Fotografieren waren ohne vorherige Erwärmung daher nicht möglich. Bei einem Lichteinfall im 0°-Winkel wurden Aufnahmen des Fundus sowohl beim stehenden als auch beim liegenden Patienten ausgetestet.

#### 4.2.3.5.1 Normalbefund

Die Abbildungen 75-78 zeigen den Fundus von vier augengesunden Patienten. Problematisch zeigte sich bei Fundusaufnahmen am stehenden Pferd ein zu spätes oder gar fehlendes Auslösen der Kamera. Erschwerend kam hinzu, dass für eine gute Bildqualität die volle Lichtintensität notwendig war. Dies wurde einerseits vom stehenden Pferd nicht toleriert, andererseits bewirkte es auch eine zunehmende Verengung der Pupille trotz vorangegangener Behandlung mit Tropicamid (Mydriatikum Stulln®), sodass die Aufnahmen hauptsächlich am in Narkose liegenden Pferd durchgeführt wurden.

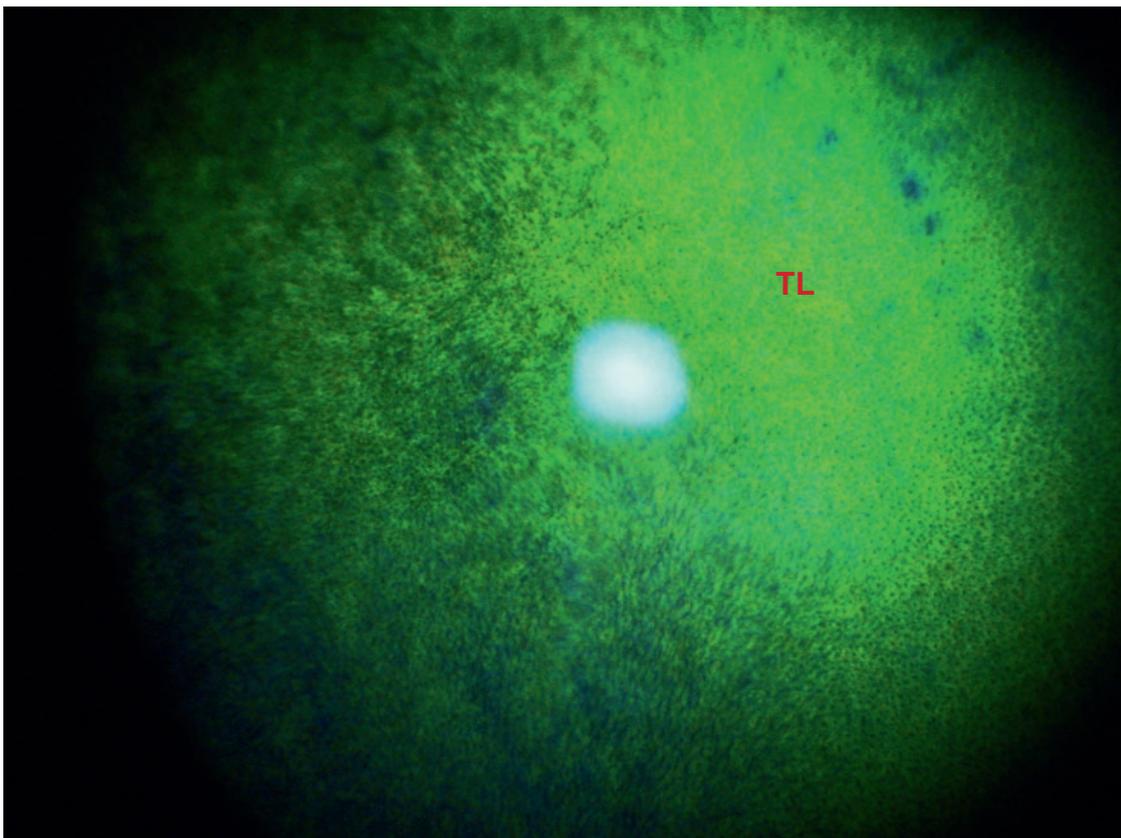
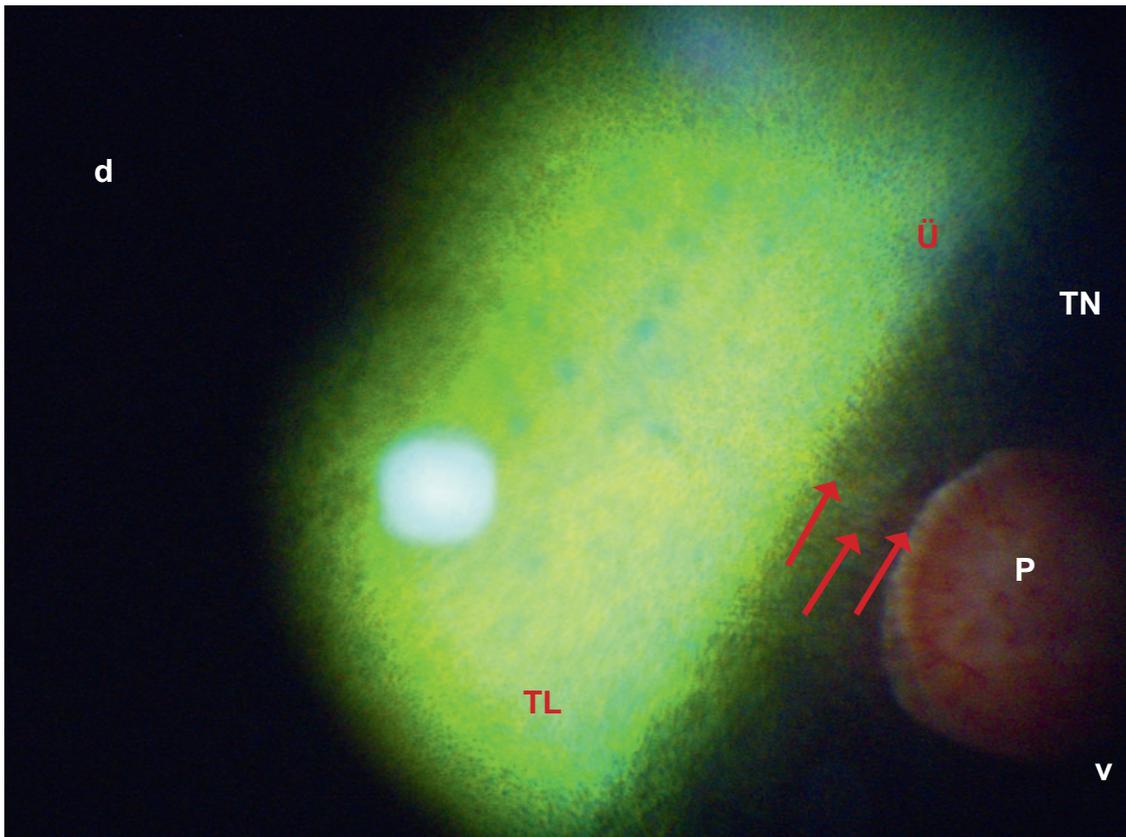


Abb. 75: Fuchsstute, Warmblut, 7Jahre, OD, Normalbefund

TL: Tapetum lucidum



**Abb. 76: Wallach, Warmblut, 13 Jahre, OD, Normalbefund**

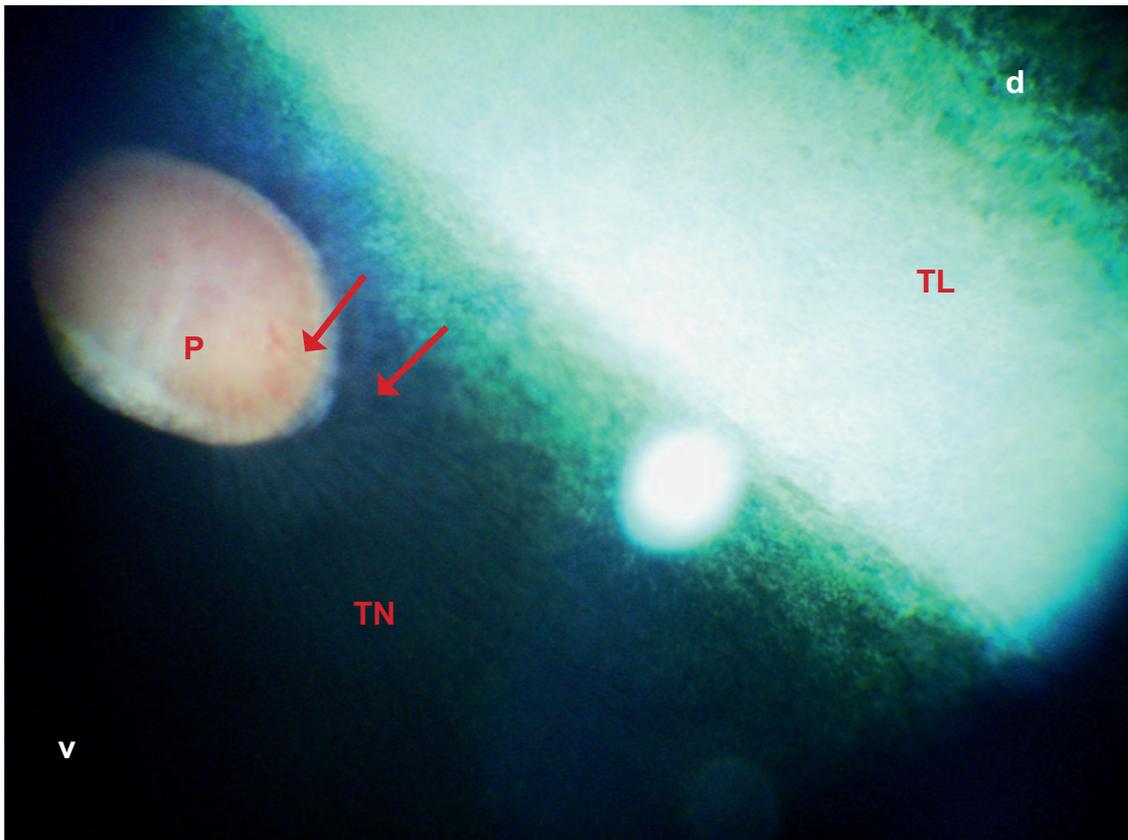
**TL: Tapetum lucidum, TN: Tapetum nigrum, P: Sehnervpapille**

**Ü: Übergang vom Tapetum lucidum ins Tapetum nigrum**

**Pfeile: Retinale Gefäße**

**d: Dorsal, v: Ventral**

Abbildung 75 zeigt das leuchtend grüne Tapetum lucidum des normalen Fundus einer fuchsfarbenen Warmblutstute. Gut erkennbar sind hier die Querschnitte der choroidalen Gefäße, die sog. Winslow'schen Sterne, die als multiple, kleine dunkle Punkte über das gesamte Tapetum verteilt sind. In Abbildung 76 ist der Übergang des Tapetum lucidum zum Tapetum nigrum gut erkennbar. Von der im Tapetum nigrum gelegenen, rosafarbenen Sehnervpapille ziehen kurze, radspeichenartig verlaufende retinale Gefäße in den Fundus hinein (paurangiotischer Fundus beim Pferd).



**Abb. 77: Stute, Percheron, 1 Jahr, OS, Normalbefund**

**P: Sehnervpapille**

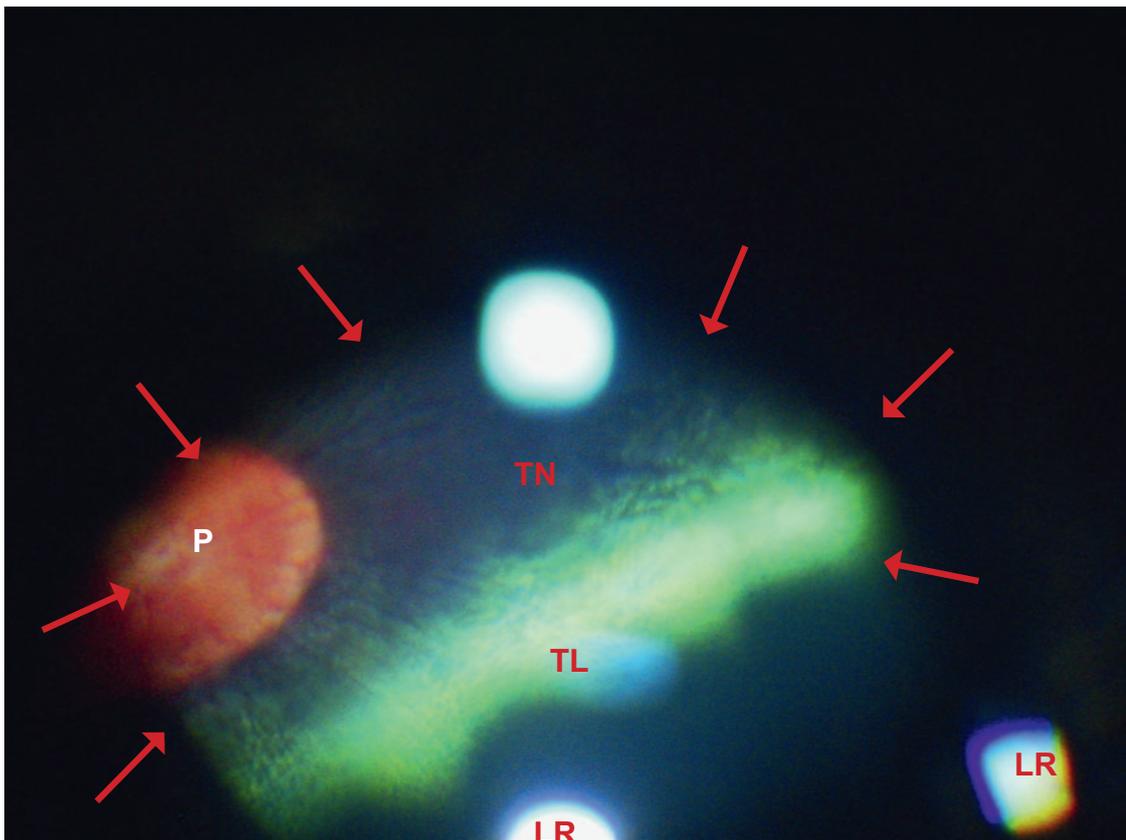
**TL: Tapetum lucidum**

**TN: Tapetum nigrum**

**Pfeile: Retinale Gefäße**

**d: Dorsal, v: Ventral**

In Abbildung 78 wird die bereits erwähnte Problematik der Pupillenverengung nach Beleuchtung mit hoher Intensität offensichtlich. Fast 50% des mit der Hawk Eye Spaltlampe bei maximal weiter Pupille sichtbaren Fundusabschnitts wurden hier durch die Iris wegen zunehmender Pupillenverengung verlegt.



**Abb. 78: Hengst, Belgisches Warmblut, 3 Jahre, OD, Normalbefund**

**Pfeile: eingeengter Sichtbereich auf den Fundus durch zunehmende Pupillenverengung**

**LR: Lichtreflexe**

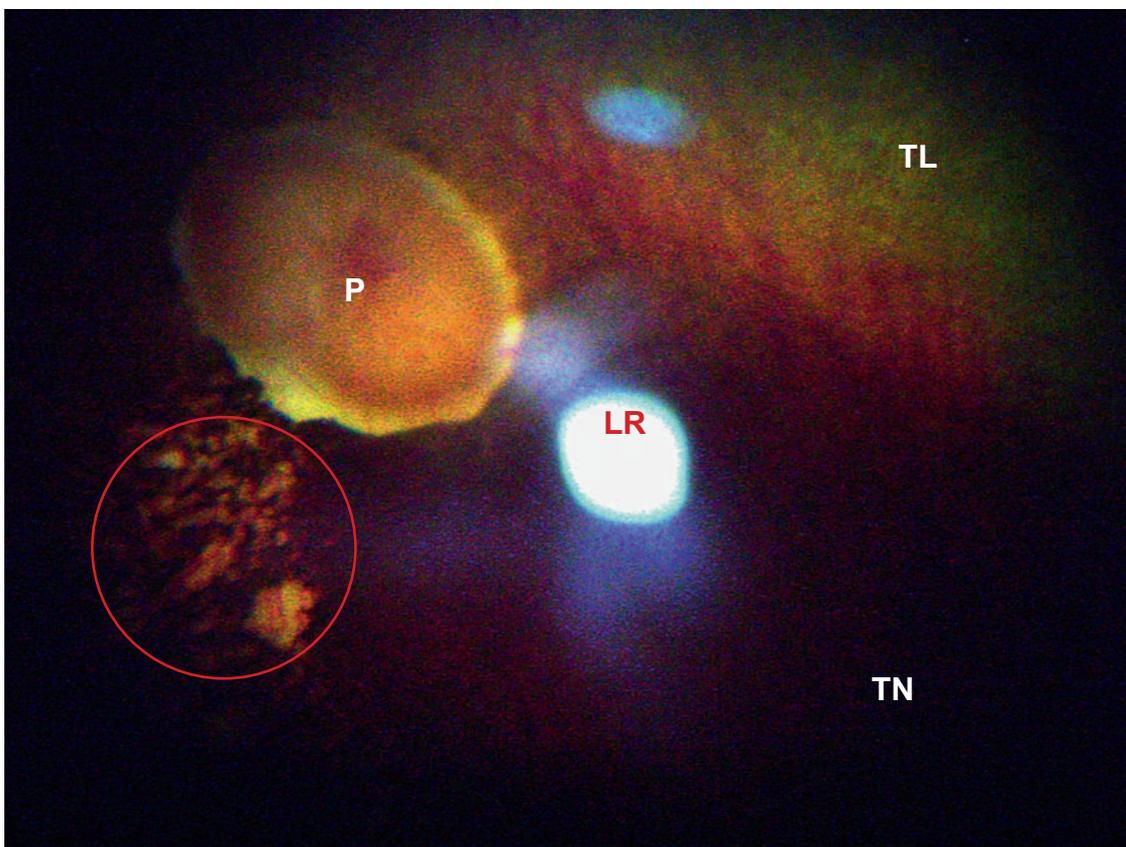
**TL: Tapetum lucidum**

**TN: Tapetum nigrum**

**P: Sehnervpapille**

#### 4.2.3.5.2 Chorioretinopathie

Die folgenden Aufnahmen der Abbildungen 79 wurden bei einem 17-jährigen Deutschen Reitponywallach im Stehen durchgeführt. Das Pony wurde für eine Fundusuntersuchung sediert, sodass es sich anbot, im Anschluss Aufnahmen mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät zu machen und letztlich die entstandenen Fotos mit den Bildern der Funduskamera (Scanning Digital Ophthalmoskop® der Firma Wild Medtec) zu vergleichen.



**Abb. 79: Wallach, Dt. Reitpony, 17 Jahre, OS, Chorioretinopathie**

**Aufnahme mit der Hawk Eye Spaltlampe der Firma Dioptrix**

**TL: Tapetum lucidum, TN: Tapetum nigrum, P: Sehnervpapille**

**LR: Lichtreflexe durch Beleuchtungseinheit**

**Kreis: Fundusveränderungen**

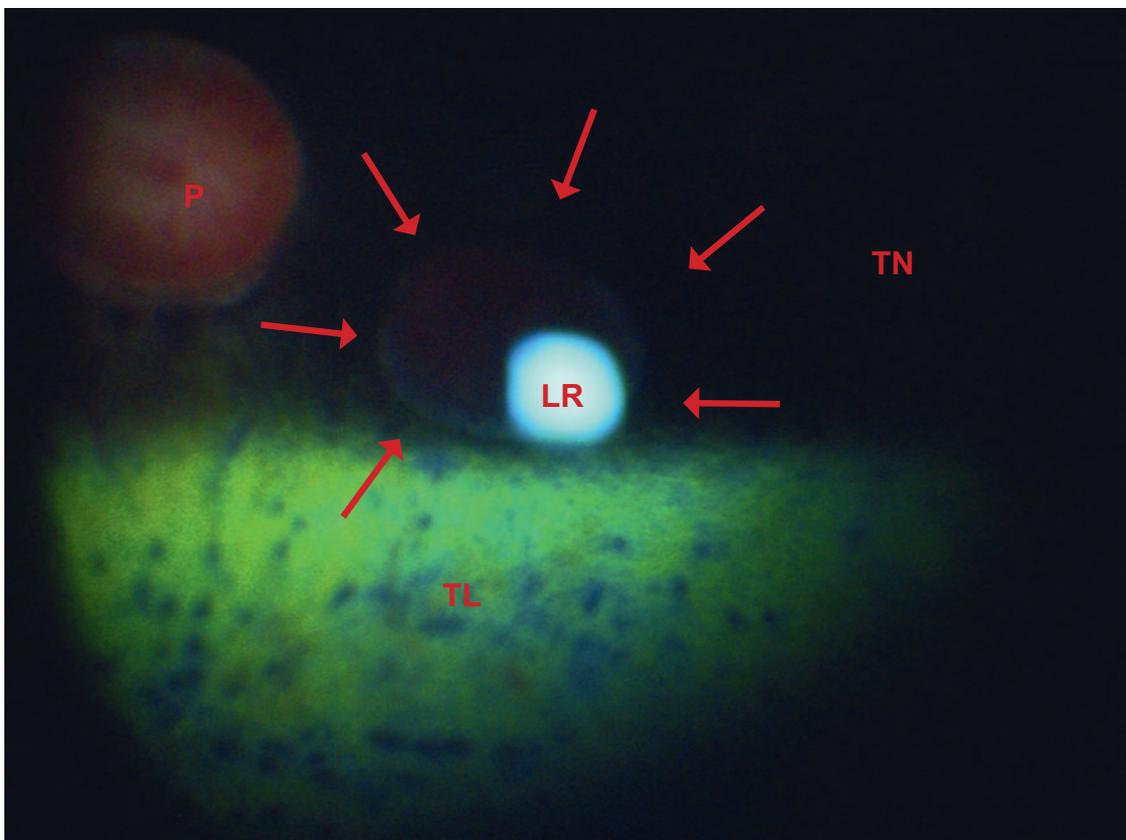
Durch die Sedierung gab es keine Toleranzprobleme hinsichtlich der hohen Lichtintensität, jedoch kam es auch unter Sedierung mit der Hawk Eye Spaltlampe, gegensätzlich zum Scanning Digital Ophthalmoskop® der Firma Wild Medtec, auch hier wieder nach geringer Zeit zu einer zunehmenden Verengung der Pupille und damit zur Behinderung der Aufnahmen. Das Auslösen bereitete wegen der stetigen kleinen Bewegungen sowohl des Pferdes als auch des Untersuchers ebenfalls Probleme. Abbildung 80 zeigt das gleiche Auge wie Abbildung 79. Die Aufnahme wurde zwar unter gleichen Bedingungen, allerdings mit der Scanning Digital Ophthalmoskop® der Firma Wild Medtec angefertigt.



**Abb. 80: Wallach, Dt. Reitpony, 17 Jahre, OS, Chorioretinopathie**  
**Aufnahme mit dem Scanning Digital Ophthalmoskop®**  
**der Firma Wild Medtec, P: Sehnervpapille**  
**Elipse: Fundusveränderungen (entsprechend Abb. 79)**

#### 4.2.3.5.3 Funduskolobom

Ein Zufallsbefund war das Funduskolobom eines Shetlandponys, das zur Behandlung einer Samenstrangfistel in Narkose gelegt wurde. Da das Kolobom sehr dicht am Tapetum lucidum lag, erwies es sich aufgrund des starken tapetalen Reflexes als recht schwierig, eine gute, kontrastreiche Aufnahme dieses sehr blassen, kontrastarmen Koloboms zu erstellen. Leider war es nicht möglich, den Kamerareflex aus dem Bild zu rücken.



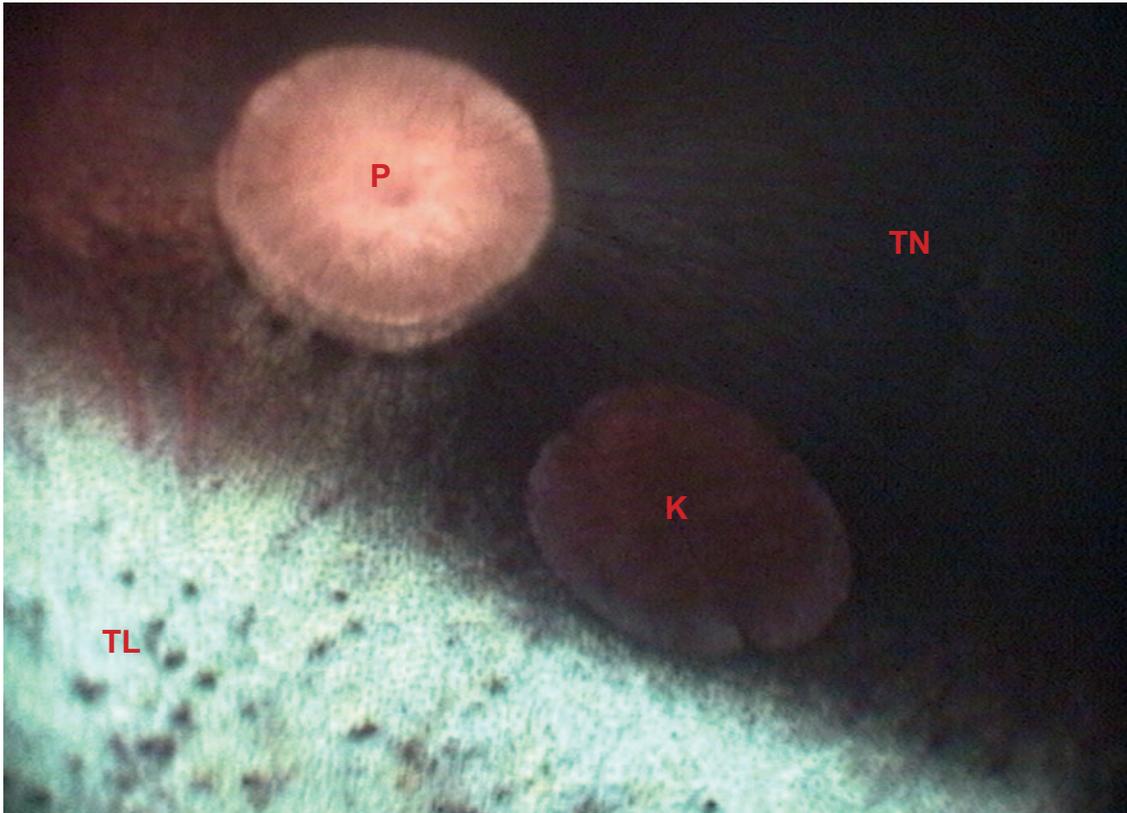
**Abb. 81: Wallach, Shetlandpony, Jahre, OD, Funduskolobom**

**Aufnahme mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät von Dioptrix**

**P: Sehnervpapille, TN: Tapetum nigrum, TL: Tapetum lucidum**

**LR: Lichtreflex durch Beleuchtung, Pfeile: Funduskolobom**

Wenn auch blasser als der Sehnerv erscheinend, zeigt sich das Kolobom in Abbildung 82 aufgrund der besseren Ausleuchtung des Augenhintergrundes bei der Aufnahme mit dem Scanning Digital Ophthalmoskop® der Firma Wild Medtec weitaus deutlicher, als in Abbildung 81.



**Abb. 82: Wallach, Shetlandpony, Jahre, OD, Funduskolobom**  
**Aufnahme mit dem Scanning Digital Ophthalmoskop®**  
**der Firma Wild Medtec**  
**TN: Tapetum nigrum, TL: Tapetum lucidum**  
**P: Sehnervpapille, K: Funduskolobom**

## **5 DISKUSSION**

### **5.1 Spallampenuntersuchung und fotografische Dokumentation beim Pferd**

#### **5.1.1 Erwartungen an die Fotografie mit der Hawk Eye Spallampe**

Die Verwendung der Fotografie zur Dokumentation von Augenbefunden der vorderen Augenabschnitte ist in der Humanmedizin bereits eine gängige Methode geworden. Die Tiermedizin greift hierzu, speziell in der Pferdemedizin, auf herkömmliche Dokumentationsmittel wie Zeichnungen und schriftliche Beschreibungen zurück. Die Unumgänglichkeit einer genauen Dokumentation in diesem Bereich ergibt sich allein aus rechtlicher Hinsicht.

Doch auch für den untersuchenden Tierarzt ist der Vergleich der verschiedenen Befunde im Laufe einer Behandlung äußerst wichtig. Die Fotografie ist dabei eine raffinierte Methode, um die Dokumentation so objektiv wie möglich zu gestalten.

Neben der Erwartung, durch die fotografische Dokumentation jederzeit und schnell eine gute Vergleichs- und Beurteilungsmöglichkeit zu erhalten, wird zusätzlich eine leichte Durchführbarkeit der Aufnahmen vorausgesetzt. Um diese Dokumentationsform wirklich durchzusetzen, ist eine angenehme und schnelle Handhabung inklusive einer Verbesserung der vorhergegangenen Dokumentationsform von Nöten. Dies beinhaltet auch, dass die im Bild ersichtlichen Befunde den Befunden entsprechen, die der Untersucher gesehen hat und auf die er Wert in Hinsicht auf die Dokumentation legt.

Würden diese Erwartungen bzw. Anforderungen an die Nutzung einer digitalen Spaltlampe zumindest größtenteils erfüllt, so könnte dies ein großer Schritt zur Erleichterung und Verbesserung der Dokumentation von Augenbefunden beim Pferd darstellen. Auch wäre es für viele Tierärzte eine optimale Möglichkeit zur Kommunikation mit Kollegen und damit eine Chance zur Verbesserung ihrer Behandlung bzw. eine mögliche Erweiterung ihrer Behandlungsgebiete.

### **5.1.2 Erhoffte Vorteile und erwartete Nachteile**

Die vordergründig erhofften Vorteile einer digitalen, handgehaltenen Spaltlampe waren das Erhalten einer nicht invasiven, zumindest für den Ophthalmologen einfach anwendbaren Methode zur Erzielung einer qualitativ hochwertigen und effektiven Diagnostik einschließlich der fotografischen Befunddokumentation der vorderen Augenabschnitte, einer hochwertigen Verlaufsbeurteilung und die daraus resultierende Möglichkeit zur Kommunikation mit (tier)ärztlichen Kollegen.

Vermutet wurden bereits vor Beginn Schwierigkeiten in der Handhabung mit dem Gerät selbst sowie auch die Komplikation bei der Untersuchung der Tierart Pferd. In Hinblick auf vorhergegangene Untersuchungen mit handgehaltenen Geräten in der Klein- und auch in der Pferdemedizin war das Gewicht des zu prüfenden Gerätes ein vermuteter limitierender Faktor. Weiterhin nicht zu vergessen stand auch die Notwendigkeit von ausreichendem Hilfspersonal, das v.a. für fotografische Aufnahmen des Fundus unumgänglich ist, zur Überprüfung.

### 5.1.3 Spaltlampenuntersuchung

Von der Spaltlampenuntersuchung beim Pferd wird gegensätzlich zu anderen ophthalmologischen Untersuchungsmethoden eher selten berichtet. Trotzdem wird sie seit Jahrzehnten als sehr bequeme Methode mit hoher Detailerkennbarkeit für Veränderungen der vorderen Augensegmente angesehen (BERLINER, 1934; OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007; LEDFORD und SANDERS, 2006).

Die Begründung für die begrenzte Dokumentation von Spaltlampenbefunden in der Pferdemedizin mag in der Tierart selbst liegen, da das Pferd sich als Fluchttier in seiner Kooperativität doch oft in wesentlichen Punkten von anderen Tierarten unterscheidet. So bedarf es viel Ruhe, Geduld, Flexibilität und Erfahrung im Umgang mit der Spezies Pferd, um die Spaltlampenuntersuchung mit annähernd gleichem Erfolg wie in der Human- oder der Kleintiermedizin durchführen zu können.

Auch in der vorliegenden Arbeit wurden immer wieder neue Grenzen bei der Spaltlampenuntersuchung und deren Dokumentation deutlich. Da die wenigsten Patienten für die Augenuntersuchung sediert werden mussten, wurde auch die Untersuchung mit der Spaltlampe Hawk Eye der Firma Dioptrix zunächst am stehenden Pferd ohne Hilfsmittel durchgeführt. Mussten Patienten für andere Untersuchungen sediert werden, wurde die Sedierung im Anschluss für die Spaltlampenuntersuchung und deren fotografische Dokumentation genutzt. Im Allgemeinen aber bedarf der reine Untersuchungsgang mit dem Spaltlampengerät keiner Zwangsmaßnahmen. Bei abgedunkeltem Raum, Vermeidung optischer Reize aus der Umgebung und der Fixierung des Patienten durch eine

zusätzliche Hilfsperson konnte mit Ruhe und Geduld bei fast allen Pferden eine komplette Spaltlampenuntersuchung durchgeführt werden. Wie auch GELATT empfehlen einige Autoren für Untersuchungen wie die direkte Ophthalmoskopie beim Großtier die Verabreichung von Sedativa oder eine Anästhesie des N. auriculopalpebralis (OLLIVIER, PLUMMER und BARRIE, 2007). Dieser Empfehlung wurde zur reinen Untersuchung mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät nicht nachgegangen. Zum einen, weil den entscheidenden Störfaktoren (leichte Kopfbewegungen, Bewegungen des Bulbus etc.) bei der Untersuchung durch eine medikamentelle Ruhigstellung nicht entgangen werden kann. Und zum anderen, da sich der Patient bei jeglicher Vermeidung von Berührung des Auges selten durch die Spaltbeleuchtung so stark belästigt fühlte, dass das Auge längerfristig zugekniffen wurde. Als wichtig erwies es sich aber, während der Spaltlampenuntersuchung stets mit einer Hand Kontakt zum Pferdekopf bzw. Halfter zu halten, um bei Abwehrbewegungen des Pferdes sowohl den Untersucher als auch den Patienten nicht zu gefährden. Auch das Anlehnen mit dem Gerät an den Kopf bietet eine gute Kontaktmöglichkeit zum Pferd und eine verbesserte Lagestabilität des handgehaltenen Geräts und somit eine einfachere Fokussierung.

Wegen der Größenverhältnisse des Pferdekopfes kann das Auge des Patienten, gegensätzlich zu Kleintier und Mensch, nicht über den Achsendrehpunkt von Mikroskop- und Beleuchtungseinheit hinaus ans Gerät heran bewegt werden, sodass mit der Hawk Eye Spaltlampe eine leichte Kippbewegung nach oben und vorne ausgeführt werden musste. Möglicherweise können hierdurch Qualitätseinbußen entstanden sein. Ebenfalls ist auf gute Umfeldbedingungen wie einen dunklen Raum mit wenig optischen und akustischen Reizen zu achten. Geräusche durch das Spaltlampengerät selber waren vernachlässigbar klein und beeinflussten die Patienten nicht.

#### **5.1.4 Fotografische Dokumentation**

Auch die Dokumentation in der tiermedizinischen Ophthalmologie wird immer mehr durch Fotografie und Videodokumentation ergänzt. Zur fotografischen Dokumentation der Spaltlampenuntersuchung bestand bisher beim Pferd keine Möglichkeit. Erst seitdem mit der digitalen Spaltlampe der Firma Dioptrix ein mobiles Gerät zur Spaltlampenfotografie auf den Markt gebracht wurde, besteht für das Pferd eine Dokumentationsform, die in der humanen Ophthalmologie bereits seit langem als Routine gilt. Berichtet wurde folglich von der Spaltlampenfotografie beim Pferd bis heute nicht.

Doch gegensätzlich zur Fotografie des menschlichen Auges sind die Bedingungen bei der Fotografie des Auges eines Pferdes in der Durchführung als viel komplexer anzusehen. Faktoren wie Bewegungen durch das Tier, des Untersuchers, des Untersuchungsgeräts sowie Einflüsse aus dem Umfeld sind hierbei ausschlaggebend. Standardisierte Bedingungen wie bei der Untersuchung des menschlichen Auges sind bei der Tierart Pferd bisher nicht denkbar.

##### **5.1.4.1 Spaltlampengerät**

Das Hawk Eye Spaltlampengerät kann prinzipiell an jedem Ort seine Verwendung finden. Bei einem Gewicht von 1,7 kg ist das Hawk Eye Gerät zwar deutlich schwerer als andere binokulare Spaltlampen, präsentierte sich jedoch aufgrund der gut greifbaren Mikroskopeinheit als recht handlich. Lediglich bei Nutzung über eine längere Zeitspanne führt das Gewicht zu einem störenden Muskelzittern des Untersucherarms und damit zu Störungen bei Untersuchung und Fotografie.

Ebenfalls als sehr handlich wurden die schnelle Möglichkeit zur Regulation der Lichtintensität sowie das leichte Bedienen des Vergrößerungswechslers und das einfache Einschwenken verschiedener Filter und Spaltgrößen empfunden. Die Möglichkeit von 8-, 12,5- und 20-facher Vergrößerung bietet dem Untersucher eine sehr gute Beobachtungsoption feinsten Details der vorderen Augensegmente. Gegenüber der Ansicht mittels handelsüblicher Handophthalmoskope mit Spaltlicht entsteht mit der Hawk Eye Spaltlampe ein dreidimensionales, erstaunlich lebendiges Blickfeld und dadurch deutliche Vorteile in der Tiefenlokalisierung. Doch bereits hier muss schon einmal nachteilig erwähnt werden, dass die verschiedenen Vergrößerungen keinen Einfluss auf die Größenabbildung der Fotografien haben. Diese können allein durch den Kamerazoom eingestellt und auch nur auf dem Kamerabildschirm überprüft werden.

Die Filter- und Spaltfunktion kann durch einfaches Drehen der Spaltscheiben gewählt werden. Je nach Untersuchungsvorhaben konnte zwischen der Spaltbreite 0,2mm und 1mm gewählt werden. Der 0,2mm schmale Spalt lässt eine sehr gute Detailerkennung bis hin zur Differenzierung der einzelnen Hornhautschichten und folglich eine gute Tiefenlokalisierung zu. Mit dem 1,0mm breiten Spalt können die verschiedenen Varianten der Beleuchtung, v.a. der Retroillumination, mit guten Ergebnissen durchgeführt werden.

Jedoch im Gegensatz zum Auge von Mensch oder Kleintier offenbarten sich hier die ersten Differenzen und damit letztlich auch Konsequenzen hinsichtlich der abweichenden Dimensionen des Pferdeauges. Durch das deutlich größere Bulbusvolumen konnte mit der vorhandenen Spaltlänge von 15mm das Auge des Pferdes, das einen durchschnittlichen vertikalen Durchmesser von 33mm

besitzt (BARNETT et al., 1998; GERHARDS, 2001), mit einer einzigen Einstellung und somit auch auf einer einzigen Fotografie nur ungefähr zur Hälfte seiner Hornhautoberfläche betrachtet werden.

Der Fotospalt als Dioptrixpatent bietet für die Fotografie eines Spaltbildes zwei wesentliche Vorteile. Erstens wird durch die an den Spalt grenzenden unbeleuchteten Abschnitte des Gesichtsfeldes ein guter Kontrast geboten. Befunde der Hornhaut konnten, wie auch bei der Untersuchung mit normalem Spalt im Dunkeln, viel klarer erkannt und lokalisiert werden. Zweitens wurde durch die zusätzliche halbkreisförmige Ausleuchtung des Fotospalts an beiden Seiten eine gleichzeitige Übersichtsbeleuchtung geschaffen. Diese verbessert die Lokalisation von Befunden der vorderen Augensegmente. Auch lässt sich auf dem Foto hierdurch eine Verhältnismäßigkeit der Befunde zu anderen Strukturen der vorderen Augenabschnitte ermitteln.

Am stehenden Patienten Pferd allerdings verhilft der Fotospalt nicht zu verbesserten Aufnahmen kornealer Befunde. Das liegt nach den Erfahrungen dieser Arbeit vor allem daran, dass für eine gute Detailerkennbarkeit im Spalt die Lichtintensität fast auf das Maximum eingestellt werden muss. Dies wiederum hat zur Folge, dass die seitliche Ausleuchtung beim Fotospalt eine ebenso maximale Intensität besitzt. Die hohe Lichtintensität auf relativ großem ausgeleuchtetem Feld bewirkt, dass die Pferde die Untersuchung nicht mehr tolerierten und sich mit Lidkneifen, Kopfschlagen oder anderen Bewegungen aus ihrer Position entziehen. Weitere aufgetretene Schwachpunkte des Fotospalts sollen bei der Anwendung am liegenden Pferd an späterer Stelle erwähnt werden.

#### 5.1.4.2 Fotografie am stehenden Pferd

Konträr zur Untersuchung mit dem Spaltlampengerät, bei der durch die Flexibilität des Untersuchers viele Schwierigkeiten überwunden werden können, ergibt die Arbeit mit dem stehenden Pferd für die Fotografie eine Reihe von Hindernissen. Eines der größten sind die stetigen kleinen Bewegungen des Patienten. Selbst sehr umgängliche, gehorsame Pferde führten eine geringgradige aber kontinuierliche Bewegung des Kopfes und zusätzlich eine Bewegung des Bulbus aus. Hieraus entstehen mehrere Folgeprobleme.

Sehr schwer zu handhaben sind die stetigen Bewegungen des Kopfes. Sie erfordern ein ständiges Neuaufsuchen des korrekten Fokusabstands. Selbst sedierte Tiere stören mit Kopfbewegungen die Anfertigung von Aufnahmen. Dies gilt besonders für die Zusatzoption der Fundusaufnahmen mit dem Hawk Eye Gerät, bei denen schon äußerste Ruhe von Nöten ist, um allein die Untersuchung des Fundus bewerkstelligen zu können.

Ebenso verhindert die Bewegung des Untersuchers bei Bedienung des Auslösers am Mikroskopgriff das Erstellen einer qualitativ guten und auswertbaren Aufnahme. Meist ist schon das Auslösen wegen des ständigen Verlierens des Fokusabstandes gar nicht möglich. Durch die Verwendung eines Einbeinstativs sollte diesen Unruhen entgegengewirkt werden. Der aufgesetzte Profifrikionskugelkopf bietet die Möglichkeit der Drehung des Spaltlampengerätes in jede Richtung. Die digitale Spaltlampe wird dadurch sehr lagestabil und das Stativ kompensiert die Bewegungen des Untersuchers recht gut. Verständlicherweise nicht zu beheben sind die Bewegung des Pferdekopfes. Somit muss die Höheneinstellung des Stativs bei jeder kleinen Kopfbewegung des Patienten

nachreguliert werden, sodass das Stativ für die Aufnahmen am stehenden Pferd letztlich nur wenig Erleichterung schafft.

Eine weitere Maßnahme, um die Bewegungen zu minimieren, ist die Nutzung des Fußauslösers der Firma Dioptrix. Durch diesen braucht der Auslöser am Mikroskopgriff nicht betätigt zu werden und eine ruhigere Hand des Untersuchers wird ermöglicht. Trotz dieser hilfreichen Technik bleiben leichte Unruhen weiterhin bestehen. Das Auslösen mit dem Fuß überträgt ebenfalls leichte Bewegungen auf die Kamera. Der Versuch, den Fußauslöser durch eine weitere Person bedienen zu lassen, scheiterte ebenfalls. Das Auslösen auf Kommando bedarf einer zu langen Zeitspanne. Derweil hat der Patient meist schon wieder eine kleine Bewegung durchgeführt und ein korrekter Fokusabstand ist dadurch nicht mehr gegeben. Oft wird das Auslösen aber auch durch das Augenspiel des Patienten verhindert.

Ein letzter wichtiger Aspekt bei der Fotografie am stehenden Pferd ist die Wahl des Untersuchungsortes. Wie schon erwähnt sollten die optischen und akustischen Reize so gering wie möglich gehalten werden. Doch auch die räumlichen Bedingungen wie Beleuchtung, Fenster oder reflektierende Flächen sind zu beachten. So spiegeln sich z.B. Fensterlicht oder Deckenstrahler auf der Kornea, wenn der Patient mit dem Auge zu diesen Lichtquellen zugewandt positioniert ist. Hingegen kann sich ebenso das Spaltlampengerät oder der Untersucher selber auf der Kornea des Patientenauges spiegeln, wenn das Pferd von der Lichtquelle abgewandt steht, dieses Licht jedoch Gerät und Untersucher anstrahlt. Als Gefahr stellt sich dar, dass vom Untersucher aufgrund von Erfahrungen oder Konzentration auf spezielle Untersuchungsbereiche oder Befunde die

Artefakte häufig geistig ausgeblendet und nicht realisiert werden. Da die Fotos nicht mit Blick auf den Bildschirm der Digitalkamera durchgeführt werden können, werden diese Artefakte oft erst bei späterer genauer Betrachtung der Bilder entdeckt.

Als erste Zwischenbilanz lässt sich zusammenfassen, dass am stehenden Patienten in dieser Arbeit keine verlässliche Dokumentation zu erreichen war. Qualitativ gute und auswertbare Aufnahmen entstanden nur bei sehr ruhigen Pferden. Aus diesem Grund wurde nach den ersten 20 Patienten dieser Arbeit beschlossen, das Gerät vorwiegend bei in Narkose liegenden Pferden einzusetzen.

#### **5.1.4.3 Fotografie am liegenden Pferd**

Größter Vorteil bei der Arbeit am in Narkose liegenden Patienten ist das Entfallen der Kopfbewegungen. Diese neu gewonnene Stabilität wurde durch die Verwendung eines Spezial-Kamerastativs exzellent unterstützt. Der i.d.R. auf der Seite liegende Kopf forderte ein zusätzliches Überbrückungselement, um das Hawk Eye Gerät direkt vor dem Auge platzieren zu können. Durch einen zusätzlich am Stativ angebrachten schwenkbaren Arm konnte die Distanz über den bei jeder Operation individuell gelagerten Pferdekopf überbrückt werden. Nur durch die einfache Handhabung der einzelnen Stativelemente ist eine schnelle Anpassung an die jeweilige Liegeposition möglich.

Gleichermaßen konnte die Kamerapositionierung aus verschiedenen Winkeln nur durch die Verwendung eines zusätzlichen Profifrikionskugelpfesses, montiert am Stativarm, ermöglicht werden. Wird diese Gesamtkonstruktion als letzter Schritt mit dem Fußauslöser des Hawk Eye Spaltlampengerätes erweitert,

ist ein System ohne Störungen durch Kopfbewegungen des Patienten oder Bewegungsartefakte durch den Untersucher selbst geschaffen. Leider reichte dieses Prozedere nicht aus, um eine der Humanmedizin gleichwertige Arbeit zu leisten. Im Folgenden sollen narkosespezifische Störfaktoren bei der Fotografie des Pferdeauges diskutiert werden, deren Auswirkungen während dieser Arbeit nur bedingt verhindert oder minimiert werden konnten.

Die Spaltlampenaufnahmen in Narkose wurden direkt nach der endgültigen Lagerung auf dem OP-Tisch angefertigt. Vorteilig war dieser Zeitpunkt einerseits, da der Ablauf der Operation und die Narkosedauer nicht gestört wurden. Andererseits wurden Qualitätseinbußen der Aufnahmen, die durch die schnell eintretende Veränderungen der Hornhautoberfläche zustande kamen, minimiert. Diese Änderungen der Beschaffenheit konnte durch stetiges Betropfen der Kornea mit BSS®-Lösung und auch mit NaCl-Lösung verzögert werden. Dieser Transparenzverlust bzw. die Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit der Kornea, die möglicherweise auch durch eine Verminderung der Lipidschicht in der Tränenflüssigkeit zustande gekommen ist, war jedoch auch bei stetigem und intensivem Betropfen nicht vollkommen aufzuhalten und schlug sich in Form von verminderter Bildschärfe, Lichtreflexionen an der Hornhaut und letztlich der Verhinderung von Aufnahmen hinter der Hornhaut gelegener Strukturen nieder.

Ein weiterer Nachteil der Narkose (v.a. direkt nach dem Ablegen) war, dass die Aufnahmen gelegentlich durch eine zu starke Rotation des Bulbus in nasoven-trale Richtung nicht ausführbar waren. Das Spaltlampengerät konnte in diesen Fällen nicht ausreichend gut positioniert werden.

Ebenfalls ein wichtiger Aspekt für diese Arbeit war die Beleuchtung. Sie bildete bei der Spallampenfotografie den ausschlaggebenden Punkt für die Qualität der Aufnahmen. Sowohl die Einstellung der Gerätebeleuchtung selbst, wie auch alle Licht spendenden Elemente der näheren Umgebung mussten beachtet werden. Jegliche Deckenbeleuchtungen oder OP-Lampen führten zu störenden Reflexen oder Spiegelungen auf der Hornhaut. Wie schon bei der Verwendung des Fotospalts am stehenden Pferd erwähnt, ist es jedoch ebenfalls nachteilig, den Raum vollkommen abzudunkeln. Das Spaltlicht alleine reichte meist nicht aus, um eine topografische Orientierung auf den Fotos zu ermöglichen. Leider stellte sich der Gebrauch des Fotospalts am liegenden Pferd als ungünstig heraus. Die verschiedenen Beleuchtungsfelder dieser Einstellung (Spalt und zwei halb-kreisförmige Felder) sind nicht einzeln regulierbar. Die für eine gute Bildqualität nötige hohe Lichtintensität des Spalts führte zur Entstehung starker Reflexe an den halbkreisförmigen Beleuchtungsfeldern in den Seitenbereichen, v.a. unterstützt durch die, trotz stetiger Beträufelung zunehmende Oberflächenveränderung der Kornea. Eine zum Spalt zusätzliche, qualitativ wertvolle Ausleuchtung der vorderen Augenabschnitte konnte mit dem Fotospalt in dieser Arbeit selten erzielt werden.

Die genannten Aspekte veranschaulichen, dass bei abgedunkeltem Raum nur eine spezifische Zusatzbeleuchtung eine mögliche Lösung ergibt. Entsprechend wurde vielfach während der Aufnahmen das Auge zusätzlich von einer weiteren Person mit einem Handophthalmoskop ausgeleuchtet. Vorteilig ist dabei die Regulierbarkeit der Lichtintensität des Handophthalmoskops. Nachteile dieses Vorgehens sind die ständigen leichten Bewegungen des Zusatzlichtes durch die Hilfsperson, die irritierend auf den Untersucher wirken. Ebenso kann die Hilfs-

person schwer einschätzen, wie die Zusatzbeleuchtung am besten einzusetzen ist und muss oft durch den Untersucher korrigiert werden. Auch kommen durch das Zusatzlicht neue Reflexe an der Hornhaut zustande, die vermieden werden mussten.

Ein Lösungsansatz für die genannten Probleme könnte in einer Zusatzbeleuchtung liegen, die sich an der Spaltlampe fest installieren lässt. Beispielsweise bietet die Firma ZEISS für Spaltaufnahmen mit einer Digitalkamera einen speziellen DigiCam Illuminator an. Dieser ist als ein an die Rotationsachse von Beleuchtungs- und Mikroskopeinheit gekoppeltes LED-Licht bei tischmontierten digitalen Spaltlampen erhältlich und kann bei stufenlos regulierbarer Lichtintensität für eine homogene Ausleuchtung des Spaltumfeldes sorgen. Inwiefern dieser Vorschlag in der Pferdeophthalmologie am tragbaren Gerät umsetzbar ist, müsste in einer Folgearbeit abgeklärt werden.

Etwas geringere Schwierigkeiten ergeben sich bei der Erstellung von Fundusaufnahmen am liegenden Pferd. Obwohl sich der Fundus bei der Untersuchung mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät sehr kontrastreich präsentierte und ein sehr farbintensives Bild bei guter Bildschärfe aufwies, ließ sich durch die kontinuierlichen Kopfbewegungen am stehenden Pferd dieser qualitativ hochwertige Eindruck mit der Pentax Optio S 60 nicht einfangen. Hier mangelt es an der Möglichkeit zum schnellen Auslösen, welches durch die Bewegungen verhindert wird, sowie an der Wiedergabe von Helligkeit und Kontrast auf den Abbildungen. Deutlich einfacher lässt sich die Fundusfotografie mit der Hawk Eye Spaltlampe am liegenden Pferd ausführen. Bei ausreichender Übung lässt sich der Fundus mit relativ guter Qualität ablichten. Doch auch am liegenden Pferd

mussten erst einige Schwierigkeiten überwunden werden. Die Funduslinse, die als Teil der Zusatzausstattung in der Gelenkachse des Hawk Eye Gerätes einfach fixierbar ist, sollte vor ihrem Einsatz angewärmt werden. Ohne Erwärmung kommt es bei der Anwendung durch die unmittelbare Nähe zur Hornhaut zum Beschlagen der Funduslinse. Auch aus diesem Grund muss der Fokusabstand exakt eingerichtet werden. Eine nur minimal zu große Entfernung von der Hornhaut bewirkt hingegen Spiegelreflexe, die entweder vollständig beseitigt oder zumindest aus dem Bereich des Interesses auf dem Fundus gelenkt werden müssen. Als ungewohnt für Pferdeophthalmologen enthüllte sich dabei der Umgang mit der indirekten Ophthalmoskopie, da zur Änderung des Sichtfeldes in die entgegengesetzte Richtung korrigiert werden musste, wofür einige Übung bei der Fotografie erforderlich war. Als deutliche Schwachstelle zeigte sich bei der Fundusbetrachtung mit der Hawk Eye Spaltlampe, dass die hohe Lichtintensität zwar eine gute Voraussetzung für eine hohe Bildqualität bot, allerdings bei mit Tropicamid vorbehandelten Patienten innerhalb kurzer Zeit zu einer Verengung des Pupillendurchmessers führte, was letztlich Untersuchung und Fotografie stark limitierte.

Auch wenn die Fundusfotografie in dieser Arbeit nur als Zusatzoption erprobt wurde, ist die Untersuchung des annähernd zweidimensionalen Fundus weitaus einfacher zu handhaben, als der Umgang mit der Spaltfunktion im dreidimensionalen Raum der vorderen Augenabschnitte. Da einige Fundusaufnahmen vergleichend mit dem Scanning Digital Ophthalmoskop® der Firma Wild Medtech an gleichen Patienten ausgeführt wurden, ist eine direkte Gegenüberstellung beider Geräte möglich. Obwohl die Funduslinse nicht die eigentliche Funktion des Hawk Eye Gerätes verfolgt, sind die fotografischen Ergebnisse dieses Ge-

rätes bezüglich ihrer Qualität am liegenden Patienten annähernd vergleichbar mit denen des Scanning Digital Ophthalmoskop®. Am stehenden Patienten behindern die Eigenschaften der Digitalkamera jedoch die Umsetzung des gesehenen Bildes auf die fotografische Abbildung. Die Aufnahmequalität des Scanning Digital Ophthalmoskop® konnte in dieser Arbeit am stehenden Pferd nicht einmal annähernd erreicht werden.

### **5.1.5 Befunddokumentation verschiedener Augenstrukturen**

In den folgenden Abschnitten sollen die verschiedenen Augenstrukturen in ihrer Betrachtung und Dokumentation mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät vergleichend mit anderen Geräten und den Möglichkeiten in der Human- und Kleintiermedizin erörtert werden.

#### **5.1.5.1 Kornea**

Mit ihrer sehr dünnen, gebogenen und transparenten Struktur stellt die Hornhaut eines der Hauptobjekte für die Spaltlampenuntersuchung dar. Durch die seitliche Beleuchtung mit dem Spalt kann sie mittels direkter oder regredienter Beleuchtung und hoher Vergrößerung sehr detailliert inspiziert werden. Mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät ließen sich durch die weiße LED-Lichtquelle bei dimmbarer Lichtintensität und einer bis zu 20-fachen Vergrößerung vor allem im 0,2mm schmalen Spalt die einzelnen Hornhautschichten aufgrund ihrer unterschiedlichen Reflexionen relativ gut voneinander abgrenzen und die Kornea bezüglich ihrer Dicke beurteilen.

Bei Hornhautödemen zeigte sich die Schnittfläche dicker als im Normalzustand. Übereinstimmend mit der Literatur der Humanophthalmologie waren bei diesem

Krankheitsbild z.T. auch bläschenartige Veränderungen der Oberfläche erkennbar (LEDFORD und SANDERS, 2006). Das Hornhautödem führte zu trübem Aussehen bis hin zum völligen Transparenzverlust führen, was die Spaltlampenuntersuchung dahinter liegender Strukturen in einigen Fällen verwehrt.

Besonders zur Beurteilung von Keratitiden leistete das Gerät sehr gute Dienste. Die Involvierung der einzelnen Schichten konnte sehr gut differenziert werden. Die Basalmembran, auf der das Epithel aufliegt, ist zwar kaum separat erkennbar, jedoch kommt das korneale Spaltbild dem von VOGT bereits 1930 als „Histologie des lebenden Auges“ deklarierten Schnittbildes recht nahe.

Die Descemetische Membran lässt sich, entsprechend der humanmedizinischen Literatur, auch beim Pferd im physiologischen Zustand nicht wahrnehmen (LEDFORD und SANDERS, 2006).

Nur ganz fein zeichnete sich im gesunden Auge das aus nur einer Zelllage bestehende Endothel ab. Im Spaltbild bekommt es seine Wirkung erst durch pathologische Veränderungen wie endotheliale Auflagerungen bei einer Uveitis. Bei Untersuchung mit dem Hawk Eye Gerät wurden sie besonders ausdrucksstark durch den 1,0mm breiten Spalt und den Effekt der Retroillumination, bei der sie wie hauchdünne, braune Plaques vor der beleuchteten Iris ins Bild traten. Gegenüber der Spaltfunktion gewöhnlicher Handophthalmoskope, die in der Pferdeophthalmologie häufig Verwendung finden, konnten bei Rückgang der Entzündung die Auflagerungen bis kurz vor ihrem endgültigen Verschwinden detailliert beobachtet werden. Auch konnten endotheliale Auflagerungen aufgespürt werden, die mit dem Handophthalmoskop gar nicht zu ermitteln waren.

Diese Brillanz und Detailerkennbarkeit gingen allerdings in der Fotografie mit dem Spaltlampengerät der Firma Dioptrix verloren. Nur sehr schwer ließen sich die Auflagerungen im Bild festhalten. Eine Zusatzbeleuchtung war nötig, um bei den vor Reflexen schützenden, sehr dunklen Umfeldbedingungen die pathologischen Veränderungen wiederzugeben. Erschwerend kam hinzu, dass die Patienten mit Veränderungen dieser Art meist nicht für eine Operation vorgesehen waren, sondern im Stehen fotografiert werden mußten. Die Hindernisse dieser Aufnahmetechnik im Stehen wurden bereits geschildert. Sie erschwerten ebenfalls die Fotografie der übrigen Hornhautabschnitte. Bei Patienten in Narkose bereiteten hingegen die Umfeldbeleuchtung und die schnell fortschreitende Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit der Kornea oft Schwierigkeiten.

Bei der Thematik der Zusatzbeleuchtung ist anzumerken, dass die Nutzung des schmalen Spalts sich zwar zur routinemäßigen Abtastung der Hornhaut bestens eignete, jedoch für die Fotografie allein nicht hinreichend war. Entsprechend der Feststellung von MEYNER war fotografisch mit dem schmalen Spalt die Schichttiefe und damit Lokalisation von Veränderungen gut ermittelbar, eine topographische Orientierung jedoch nur mit zusätzlicher Ausleuchtung zu erreichen (MEYNER, 1976).

#### **5.1.5.2 Vordere Augenkammer**

Die Spaltlampenuntersuchung der vorderen Augenkammer dient sowohl der Einschätzung der Kammertiefe als auch der Erkennung verschiedener Befunde. Die Ermittlung der Kammertiefe hat in der Humanmedizin ihre Wichtigkeit v.a. in der Diagnostik und therapeutischen Verlaufsbeurteilung. In dieser Arbeit wurde die Kammertiefe mittels Spaltlampengerät nicht vermessen. Hierzu fehlten die

standardisierten Bedingungen wie z.B. die Nutzung eines konstanten Beleuchtungs- und Beobachtungswinkels, was wegen einer fehlenden Winkelskala auf dem verwendeten Gerät sehr erschwert wurde. Unterschiede bezüglich der Tiefe ließen sich allerdings während der Untersuchungen mit dem Hawk Eye Gerät rein optisch zwischen gesunden und an Glaukom erkrankten Pferden erahnen. Die Vermessung der Kammertiefe und die Beantwortung der Frage, ob die Verlaufsbeurteilung bei Glaukompferden eine therapeutische Bedeutung hat, bleiben weiteren Untersuchungen vorbehalten.

Ein wichtiger Befund bei der Beurteilung der vorderen Augenkammer ist die gesteigerte Opazität durch korpuskuläre oder nicht korpuskuläre Elemente im Kammerwasser. Sie zeigte sich in dieser Arbeit v.a. bei Iridozyklitiden und spiegelte den Schweregrad der Entzündung wider. Bei seitlicher Spaltbeleuchtung und spitzem Beobachtungswinkel wird ein erhöhter Proteingehalt im Kammerwasser als sog. „aqueous flare“ sichtbar. Mit dem Spalt (LED-Lichtquelle) der Hawk Eye Spaltlampe konnte deutlich stärker und eindrucksvoller als mit der Spaltfunktion gewöhnlicher Handophthalmoskope bei vielen der in dieser Arbeit untersuchten ERU-Patienten ein solcher „flare“ beobachtet werden.

Die ursprüngliche Erwartung, mit der Fotografie die verschiedenen Trübungsgrade des „flare“ bei ERU-kranken Pferden auswerten zu können und dadurch eine Verlaufsbeurteilung zu ermöglichen, wurde jedoch nicht erfüllt. Die Fotografie dieser oft sehr gut sichtbaren Trübung, die sich in hochgradigen Fällen wie das Bild von Nebel im Scheinwerferlicht präsentiert, wurde am stehenden Patienten durch die Kopfbewegungen verhindert. Am liegenden Patienten wiederum bewirkten bei stärkeren Kammerwassertrübungen oft gleichzeitig vorhandene Hornhauttrübungen und die schnelle Veränderung der Korneaoberfläche sehr

große Artefakte durch Reflexionen. Bei geringgradigen Kammerwassertrübungen reichte die Qualität der Digitalkamera nicht aus, bei entsprechend dunkler Umgebung dieses Tyndall-Phänomen auf den Aufnahmen wiederzugeben. Mögliche Ansätze zur Verbesserung könnten einerseits Verbesserungen in der Ausleuchtung des Auges sein (s. Kap. 5.1.2.3).

Eine weitere Idee galt dem Austausch der Digitalkamera gegen eine andere. Zum einen könnte möglicherweise eine für die Gegebenheiten besser geeignete, höherwertige Qualität zum Durchdringen der (gegenüber dem Kleintier- und auch menschlichen Auge) deutlich größeren Volumina der Medien der vorderen Augenabschnitte des Pferdes verhelfen. Zum anderen würde eine andere Kamera möglicherweise auch ein schnelleres Auslösen zulassen, was für die Arbeit am stehenden Patienten eine sehr große Verbesserung bewirken könnte, bei der aktuellen Kamera des Hawk Eye Gerätes aber technisch leider nicht erreichbar ist. Beispielsweise bietet auch hier die Firma ZEISS für ihre tischmontierten Spaltlampengeräte Adapter für den Anschluss verschiedener Kameras. Die Firma Dioptrix führt derzeit nur den für die Pentax Optio S 60 passenden, fest installierten Adapter, der sicherlich in der Humanmedizin wie auch in der Kleintiermedizin gute Dienste leistet, für die Dokumentation am Pferdeauge jedoch starke Einschränkungen bedeutet.

### **5.1.5.3 Iris**

Die Spaltlampenfotografie der Iris lässt sich größtenteils gut mit Ergebnissen humanmedizinischer Dokumentation vergleichen. Zur Darstellung gilt die Übersichtsaufnahme meist als Mittel der Wahl. Um die störenden spiegelnden Reflexe des Limbus gering zu halten, sollte möglichst nur der zu beurteilende Bereich der Iris ausgeleuchtet und fokussiert werden. Synechien konnten sowohl mit

fokalem Licht als auch mit dem Spaltlicht fotografisch gut dargestellt werden. Gleiches gilt für die Darstellung von Iriszysten, deren Ausmaße mit dem Spalt gut ermittelt werden konnten. Fotografisch zeigt sich die Iris durch ihre zweidimensionale Darstellbarkeit gegenüber den anderen Strukturen der vorderen Augensegmente leicht zu handhaben, sofern keine Veränderungen wie z.B. Hornhauttrübungen die Sicht auf die Iris beeinträchtigen.

#### **5.1.5.4 Kammerwinkel**

Der Kammerwinkel wird von Limbus, Iris und Ziliarkörperstroma begrenzt und vom Ligamentum pectinatum zirkulär umgeben. Durch die Möglichkeit der bis zu 20-fachen Vergrößerung der Hawk Eye Spaltlampe ließ sich der Übergang der Iris in den Kammerwinkel beeindruckend gut betrachten. Auch fotografisch ließ sich teilweise die Trabekelstruktur des Ziliarkörpermaschenwerks im spezieistypisch geräumigen Kammerwinkel gut festhalten.

#### **5.1.5.5 Linse**

Zur Beurteilung der Linse ist eine Weitstellung der Pupille wichtig. Die Spaltlampenuntersuchung ist sich für eine Vielfalt von Linsenveränderungen sehr geeignet. Die von BARNETT und GERHARDS beschriebenen Präzipitate auf der Linsenrückfläche, die bei equiner rezidivierender Uveitis vorkommen können (BARNETT et al., 1998; GERHARDS und WOLLANKE, 2006), konnten bei den Untersuchungen dieser Arbeit mit der Spaltlampe gut nachvollzogen werden. Dies gelang mit der Hawk Eye Spaltlampe auch, wenn die Befunde mit der Spaltfunktion gängiger Handophthalmoskope nicht erkennbar waren. Die Präzipitate konnten teilweise als dunkle Punkte oder netzartige Fasern im Bereich des Spaltreflexes der hinteren Linsenkapsel wahrgenommen werden. Die

von GERHARDS als für ERU typisch erklärten vakuolären Veränderungen der hinteren Linsenkapsel (GERHARDS und WOLLANKE, 2006) konnten ebenfalls mittels Spaltlichtbeleuchtung deutlich erkannt und hinsichtlich ihrer Lokalisation bewertet werden.

Abermals schwieriger als die Untersuchung ist die fotografische Dokumentation von Linsenveränderungen. Zwar können Veränderungen der vorderen Linsenkapsel wie hintere Synechien gut abgebildet werden, jedoch ist die Fotografie der Linse ab dem Linsenkern beim Pferd mit Schwierigkeiten verbunden. Selbst bei völlig transparenter Linse eines augengesunden Pferdes kann die Linse mittels Spaltbeleuchtung gegensätzlich zum menschlichen Auge nicht im vollständigen Schnitt abgebildet werden. Aufgrund der Dimensionen ist die Linse des Pferdeauges nicht über ihre gesamte Tiefe darstellbar, bei Trübungen sind die vielen Schichten mit gleicher Lichtintensität umso schwerer zu durchdringen. Auch bei der Linse gilt es, für die Fotografie störende Reflexe durch den Limbus oder die Lidkante zu vermeiden.

## 5.2 Schlussfolgerungen

Mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät der Firma Dioptrix besteht erstmals die Möglichkeit zur digitalen Spaltlampenfotografie in der Pferdeophthalmologie. Das verwendete Modell ist aufgrund seiner Mobilität, leichten Bedienbarkeit und seiner Funktionsvariabilität sehr vielseitig einsetzbar und diesbezüglich für die Anwendung am Pferd gut geeignet.

Mit seinen verschiedenen Spaltbreiten, Filterfunktionen und einer bis zu 20-fachen Vergrößerung bietet das Gerät dem Untersucher eine hohe Detailerkennbarkeit der vorderen Augensegmente.

Durch die über einen Adapter aufgesetzte Digitalkamera lassen sich die Befunde fotografisch oder als Videoaufnahmen festhalten. Somit besteht erstmals die Chance, Spaltlampenbefunde beim Pferd elektronisch zu dokumentieren, was in der Humanmedizin bereits als Routine anzusehen ist. Weiterhin erlaubt eine einsetzbare Funduslinse den zusätzlichen Einsatz als Funduskamera.

Die Untersuchung der einzelnen Bereiche der vorderen Augensegmente lässt sich mit der Hawk Eye Spaltlampe insgesamt mit gutem Erfolg durchführen. Vor allem die Hornhaut lässt sich sehr präzise beobachten, aber auch Befunde der vorderen Augenkammer, der Iris und Teile des Kammerwinkels lassen sich gut lokalisieren. Die Linse ist vor allem in ihren vorderen Abschnitten leicht zu untersuchen.

Die Dokumentation der erkannten Befunde liefert jedoch für den Patienten Pferd bisher nicht die erwartete Qualität. Die Gründe hierfür sind vielfältig und liegen

vor allem im Wesen dieser Spezies (Bewegungen von Kopf und Auge) sowie in Bewegungen des Untersuchers (Handbewegungen, v.a. beim Auslösen) und auch im großen Volumen des Pferdeauges, welches für die Beleuchtung schwerer zu durchdringen ist. Das durch die Bewegungen ständig notwendige Neuaufsuchen des korrekten Fokusabstandes lässt sich daher auch durch die Nutzung eines Stativs nicht verhindern. Die Bewegungen verhinderten zusätzlich das Auslösen der Kamera im passenden Moment. Die Entscheidung, die Anwendung des Gerätes am liegenden Pferd fortzuführen, verminderte die genannten Probleme, ergab jedoch neue störende Komponenten.

Am liegenden Patienten konnten die Bewegungsartefakte durch die Verwendung eines Spezialstativs und eines Fußauslösers ausgeschaltet werden. Doch entstanden in Narkose wiederum neue Qualitätseinbußen, v.a. durch die schnell voranschreitende, und durch stetige Beträufelung nicht zu verhindernde Veränderung der Hornhautoberfläche, z.T. durch die narkosebedingte Bulbusrotation und vor allem durch Lichtreflexe und Spiegelungen auf der Hornhaut, bedingt durch die Umfeldbeleuchtung im Operationssaal.

Problematisch bei der Fotografie im vollkommen abgedunkelten Raum zeigte sich die fehlende topografische Orientierung auf dem entstandenen Bild. Auch erwies sich die Option des Fotospalts am stehenden Pferd wegen mangelnder Toleranz der Lichtintensität und beim liegenden Patienten aufgrund der entstandenen störenden Reflexe nicht als Problemlösung. Möglicherweise wäre zur Behebung des Problems die Installation einer professionellen und separat zu regulierenden Zusatzbeleuchtung an dem Spaltlampengerät zu überdenken.

Ebenfalls in Erwägung zu ziehen ist der Austausch der Digitalkamera gegen eine andere Kamera, um durch ein schnelleres Auslösen am stehenden Patienten und eine bessere Durchdringung der Medien die Befunde untersuchungsgetreu abbilden zu können und die Aufnahmequalität zu verbessern.

Schwer zu verändern sind die Probleme, die sich durch die fehlende Standardisierbarkeit bei der Spaltlampenfotografie des Pferdauges ergeben. Bei der Fotografie am liegenden Patienten ändern sich bei jedem Patienten sowohl die Lagerung des Kopfes durch die Lagerung des Patienten selbst und die anatomischen Gegebenheiten des Individuums, als auch daraus resultierend die Winkelgrößen zwischen Beleuchtungs- und Mikroskopeinheit sowie der Einfall von Spalt- und Umfeldbeleuchtung. Den Kopf einer standardisierten Lagerung zu unterziehen würde einen hohen Aufwand erfordern und eine Verlängerung der Narkosezeit mit sich bringen und scheint daher schwer umsetzbar.

Als Fazit lässt sich zusammenfassen, dass die Hawk Eye Spaltlampe von Dioptrix zur Untersuchung der vorderen Augensegmente des Patienten Pferd gut geeignet ist. Die Möglichkeit der elektronischen Dokumentation von Befunden und deren Verlaufsbeurteilung ist jedoch aufgrund der schlecht standardisierbaren Bedingungen, der Kopf- und Augenbewegungen des Pferdes, der verzögerten Auslösung der Kamera und dem großen Bulbusvolumen des Pferdes für diese Spezies sehr eingeschränkt.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Dokumentation von ophthalmologischen Befunde hat nicht nur in der Human-, sondern auch in der Veterinärmedizin deutlich an Bedeutung zugenommen. Die technischen Möglichkeiten für eine Bilddokumentation, insbesondere der inneren Augenabschnitte beim Pferd sind jedoch sehr begrenzt, da jede Eigenbewegung von Untersucher oder Pferd und jede Augenbewegung die Erstellung brauchbarer Fotografien vereiteln.

Die Anwendung der Spaltlampenfotografie in der Pferdeophthalmologie, die bisher aufgrund der fehlenden Mobilität der Untersuchungsgeräte nicht möglich war, sollte in dieser Arbeit mit einem neuen Gerät untersucht werden. Die Fotografien wurden mit einem erstmals tragbaren Modell, der digitalen Spaltlampe Hawk Eye der Firma Dioptrix angefertigt. Diese Spaltlampe bietet erstmals die Möglichkeit zur Erstellung von Spaltlampenfotos beim Pferd. Ähnlich der histologischen Untersuchung können durch die Beleuchtung mit dem Spaltlicht optische Schnittbilder der vorderen Augensegmente erstellt werden. V.a. die Hornhaut kann präzise hinsichtlich ihrer Schichten und der Tiefenlokalisierung pathologischer Veränderungen untersucht werden.

Ziele der Untersuchungen sollten vor allem sein, die Eignung des Gerätes für die Spaltlampenuntersuchung beim Pferd, eine Befunddokumentation, Verlaufskontrollen und letztlich für die Nutzung als rechtliche Absicherung zu prüfen. Dabei sollten Vorteile und Grenzen bei der Anwendung am Pferd vergleichend mit der Human- und Kleintiermedizin aufgezeigt sowie die geeigneten Zielgruppen und Einsatzgebiete wie auch der Verwendungszweck ermittelt werden. Zusätz-

lich sollte geprüft werden, welchen Informationsgewinn die Spaltlampenuntersuchung beim Pferd im Vergleich mit der direkten Ophthalmoskopie bot.

Zur Untersuchung und Fotografie standen in der Klinik für Pferde der LMU Pferde unterschiedlichen Alters, Geschlechts, Rasse und Zuchtgebiet zur Verfügung. Es wurden 100 Patientenaugen, darunter 18 gesunde Augen, mit dem Spaltlampengerät untersucht und 80 davon fotografiert. Nach der Durchführung einer allgemeinen und einer ophthalmologischen Untersuchung wurden die Untersuchungen und Aufnahmen mit dem Hawk Eye Spaltlampengerät am stehenden Patienten als auch am liegenden Patienten in Allgemeinnarkose angefertigt. Ein abgedunkelter Untersuchungsraum, eine dunkle Box oder der Operationssaal dienten als Untersuchungsort.

Das Pferd wurde von einer Hilfsperson am Halfter fixiert und die Untersuchungen wurden ohne Zwangsmaßnahmen oder Sedation ausgeführt. Durch Anlehnen der Spaltlampe an die Massetermuskulatur konnte die nötige Stabilität zum Aufsuchen des korrekten Fokusabstandes verbessert werden.

Bei leichter Bedienbarkeit bot die Hawk Eye Spaltlampe mit ihren verschiedenen Filtern und Spaltgrößen sowie einer bis zu 20-fachen Vergrößerung eine hohe Detailerkennung und gute Tiefenlokalisierung verschiedener Befunde der vorderen Augensegmente. Mittels einer einsetzbaren Funduslinse konnte das Gerät zur Anwendung als Funduskamera erweitert werden. Für die Augenuntersuchung war die Spaltlampe somit gut geeignet. Im Vergleich mit der direkten Ophthalmoskopie ergab die Spaltlampenuntersuchung deutliche Vorteile bei der genauen Lagebestimmung pathologischer Befunde der vorderen Au-

gensegmente und besonders bei der Erkennung und detaillierten Beurteilung von Hornhautbefunden wie z.B. endothelialen Auflagerungen.

Nachteilig stellte sich die Umsetzung der Befunde in die fotografische Dokumentation dar. Beeinflusst durch das (im Vergleich zum menschlichen Auge und Kleintierauge) große Bulbusvolumen, die stetigen Bewegungen des Pferdekopfes und -körpers und der Untersucherhand wurde das Aufrechterhalten des korrekten Fokusabstandes und letztlich das Auslösen der Kamera verhindert, sodass verwackelte oder unscharfe Bilder entstanden. Auch eine Sedation oder die Nutzung eines Stativs konnten den Störfaktoren nicht effektiv entgegenwirken, sodass eine Vielzahl an Patienten während einer Narkose im Liegen fotografiert wurde.

Der zusätzliche Einsatz eines Stativs mit überbrückendem, schwenkbarem Verlängerungsarm und Friktionskugelkopf sowie die Verwendung des Fußauslösers der Hawk Eye Spaltlampe ermöglichte bei in Narkose liegenden Pferden die Verhinderung nahezu jeglicher Bewegungsartefakte. Neue Qualitätseinbußen waren hier allerdings durch die schnell voranschreitende Veränderung der Hornhautoberfläche, die auch durch stetiges Betropfen nicht verhindert werden konnte, Lichtreflexe und -spiegelungen der Umfeldbeleuchtung auf der Hornhaut oder fehlende topografische Lokalisation der Befunde bei Untersuchung im abgedunkelten Raum zu verzeichnen. Auch die Verwendung des Fotospalts als Dioptrixpatent (Beleuchtung der angrenzenden Augenstrukturen) brachte am liegenden Pferd aufgrund von Reflexionen an der Hornhaut keine Verbesserung der Übersicht.

Der Einsatz spezieller, am Gerät installierter Zusatzbeleuchtungen oder der Austausch der Digitalkamera gegen eine andere Kamera über einen neuen Adapter könnten als mögliche Alternative zur Behebung der Störkomponenten dienen. Diese Veränderungen bedürfen jedoch einer Weiterentwicklung der Spaltlampe und sind zurzeit nicht verfügbar.

Einerseits erwies sich die digitale Hawk Eye Spaltlampe somit als praktikables, leicht bedienbares Gerät zur Spaltlampenuntersuchung mit hoher Detailerkennung der vorderen Augensegmente. Andererseits stellt die digitale Spaltlampe bisher wegen der erschwerten Aufnahmebedingungen beim Pferd keine verlässliche Methode zur fotografischen Befunddokumentation und Verlaufsbeurteilung dar. Die Qualität der erhaltenen Bilder ist bislang keineswegs mit humanmedizinischen Ergebnissen tischmontierter Spaltlampengeräte vergleichbar. Die Verwendung des Gerätes zur Befunddokumentation beim Pferd bleibt daher vermutlich zunächst Personen mit wissenschaftlichem Interesse, Übung in der ophthalmologischen Fotografie und dem überwiegenden Einsatz bei in Narkose liegenden Pferden vorbehalten.

## 7 SUMMARY

The documentation of ophthalmologic diagnostic findings not only in human medicine but also in veterinary medicine has gained increasing importance. Especially for equine's inner eye segments, the technical possibilities for photographic documentation are very limited, because every movement of the examiner or the horse, including every eye movement of the horse, impacts the ability to take usable pictures.

Until now, the lack of mobility of slit lamp biomicroscopes rendered the use of slit lamp photography in equine ophthalmology impossible; using a new apparatus, this type of photography became feasible for the first time ever and was examined in this study. Pictures were taken with a portable, hand-held apparatus, the Dioptrix digital slit lamp "Hawk Eye." The Hawk Eye enables slit lamp photography of a horse's eye. Similar to a histological examination, optical cross sections of the anterior eye segment using the slit light can be made. The cornea in particular can be precisely examined in reference to its strata and the localization of pathological findings.

The objectives of this study were to evaluate the use of the Hawk Eye apparatus for documentation, clinical monitoring (outcome control and observation of the clinical course) and providing evidence for legal safeguarding. The advantages and disadvantages of using the Hawk Eye on horses were compared with use in human and small animal medicine, and an appropriate target group and application field were determined. Moreover, the additional information gained by using the slit lamp examination on the horse, as compared with direct ophthalmoscopy, was evaluated.

Horses of different age, sex and breeding were examined and photographed at the Horse Clinic at the Ludwig Maximilian University of Munich (Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität München). One hundred patients' eyes, 18 of which were healthy, were examined; of these 100 patients, 80 were photographed with the digital slit lamp. After performing general medical and ophthalmological assessments, examinations and photographs of the patients' eyes were made under general anesthesia. Examinations were carried out in darkened examination rooms, stalls or operating rooms.

An assistant harnessed the patients with a halter, and the examinations were performed without sedation. By leaning the slit lamp against the masseter, the necessary stability for identifying the correct focal distance could be achieved. With its different filters and slit lengths as well as a magnification up to 20x, the Hawk Eye slit lamp offers easy operability, high resolution and good depth localization of different findings in the anterior eye segments. By using a fundus lens, the Hawk Eye slit lamp could also be used as a fundus camera. Thus, the slit lamp was very practical for eye examinations. Compared with direct ophthalmoscopy, the slit lamp examination was far superior regarding exact localization of pathological findings of the anterior eye segments and especially detection and detailed evaluation of corneal findings such as endothelial deposits.

The reproduction of the findings into the documented pictures proved to be complicated. The large volume of a horse's eye (compared with that of a human or small animal) and the continuous movements of not only the horse's head and body but also the examiner's hand prevented both the achievement of an accurate focal distance and activation of the camera, resulting in blurry pictures. Se-

dating the horses or using a camera tripod failed to eliminate the disturbances, requiring many pictures to be taken under general anesthesia.

The introduction of a tripod with a pivoting extension arm and a spherical head, and the use of the Hawk Eye's foot trigger eliminated nearly all motion artifacts in horses under narcosis. A loss of quality was triggered by the rapid dehydration of the cornea (which could not be prevented even by continuous application of drops), by light reflection and light mirroring on the cornea and by lack of orientation of the findings during the examination conducted in a darkened room. In addition, the use of the Dioptrix patented photo slit (caused by surrounding illumination) under anesthesia did not make any improvements due to the reflected light on the cornea.

Implementing special auxiliary lighting that is fixed to the slit lamp or replacing the digital camera with another camera by using a different adapter may help eliminate these disturbances. These modifications require further development of the slit lamp and are not yet available.

The Hawk Eye is well suited for use as a practicable slit lamp with convenient handling and high resolution of details in the anterior eye segments. On the other hand, because of the lack of standard conditions for taking the pictures, the digital slit lamp is not a reliable method for photographic documentation and evaluation in equine ophthalmology. At this point, the picture quality is not comparable to the results obtained using table-mounted slit lamp equipment in human medicine. Therefore, the use of this digital slit lamp for documentation in equine ophthalmology is reserved for persons with scientific interests, for exercises in ophthalmologic photography and predominantly for use on horses under general anesthesia.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

**ANDREW, S. et al. (2001)**

Density of corneal endothelial cells and corneal thickness in eyes of euthanized horses.

Am J Vet Res, 479-482.

**BARNETT, K.C., CRISPIN, S. M., LAVACH, J. D., MATTHEWS, A.G. (1998)**

Augenkrankheiten beim Pferd: Farbatlas für die Praxis.

Schlütersche, Hannover.

**BARNETT, K.C., KEELER, C.R. (1967)**

Fundus photography.

Vet Rec, 624-626.

**BAUER, H. (1968)**

Die Aussagekraft von Messungen des Ortes und des Radius der brechenden Trennflächen des optischen Systems des Auges im Schnittbild der Spaltlampenphotografie.

Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen.

**BENEDEK, G. (1983)**

Why the lens is transparent.

Nature 302, 383-384.

**BERLINER, M. (1934)**

Biomicroscopy of the eye: Slit lamp biomicroscopy of the living eye, Vol 1.

Paul B. Hoeber, New York

**BLUMENTHAL, E. (1995)**

Adjusting the slitlamp oculars: An unnecessary burden or a must?

Surv Ophthalmol (50), 225-228.

**BONOMI, L. (1997)**

Usefulness of the Van Herick test.

Glaukoma World Newsletter 3

**BRAUMUELLER (1914)**

Lens data in domestic animals.  
Augenheilkunde.

**BROOKS, E. (2005)**

Hypertensive Iridocyclitis and Glaucoma of Horses.  
Clinical Techniques in Equine Practice 2005, 72-80.

**BROWN, N. (1969)**

Slit image photography.  
Trans Ophthalmol Soc UK (89), 397-408.

**BROWN, N. (1972)**

An advanced slit-image camera.  
Brit J Ophthal (56), 624.

**BUCK, S. (2002)**

Der geschärfte Blick.  
Phillipps-Universität, Marburg.

**CIBIS, P.A. (1967)**

Vitreous Cavity and Retinal Detachment  
Mod. Probl. in Ophthal.(5), 59

**CRONAU, M.A. (2004)**

Sonographie mittels hochauflösendem Ultraschall am Auge des Pferdes.  
Ludwig-Maximilians-Universität, München.

**DANIEL, W.J., NOONAN, N.E., GELATT, K.N. (1984)**

Isolation and Characterization of the crystallins of the normal and cataractous canine.  
Curr Exe Res, 911-922.

**DE GEEST, J., LAUWERS, H, SIMOENS, P, SCHAEPDRIJVER (1990)**

The morphology of the equine iridocorneal angle: a light and scanning microscopic study.  
Equine Veterinary Journal, 30-35.

**DEWART, M., (1992)**

Basic slit lamp techniques.

Eye Quest Magazine (16), 18-19, 21, 23-24.

**DISCHE, Z., CREMER-BARTELS, G., KAYE, G.I. (1985)**

Differences between two fractions of glycosaminoglycans of the corneal stroma in their structural relation to collagen.

Proc Natl Acad Sci OSA (82), 760-764.

**DISCHE, Z., CREMER-BARTELS, G., KAYE, G.I., BUDDECKE, E. (1979)**

Metabolic heterogeneity of KS in bovine cornea and its role in the maintenance of corneal collagen structure.

Doc Ophthalmol Proc Ser (18), 253-264.

**DUKE-ELDER, S. (1958)**

The Eye in Evolution, Vol 1.

Henry Kimpton, London.

**ERGGELET, E., GREEFF, R., OPPENHEIMER, E.H., ROHR, M.v. (1914)**

Klinische Befunde bei fokaler Beleuchtung mit der Gullstrandschen Nernstspaltlampe.

Klin Monatsbl Augenheilkd (53), 449.

**FOGLA, R., RAO, S.K. (2003)**

Ophthalmic photography using a digital camera.

Indian J Ophthalmol 51(3), 269-272.

**FRANCOIS, J., HOLLWICH, F. (1981)**

Augenheilkunde in Klinik und Praxis, Vol 2, X.edition, 3.2-94.

Georg Thieme, Stuttgart, New York.

**GELATT, K.N. (1991)**

Ophthalmic Examination and diagnostic procedures in Textbook of Veterinary Ophthalmology, 2nd edition.

Lea&Febiger, Philadelphia.

**GELATT, K.N., BOGGESS, T.S., CURE, T.H. (1973)**

Evaluation of mydriatics in the cat.  
J Am Vet Med Assoc (9), 283-287.

**GERHARDS, H. (2004)**

Vorlesungsmitschrieb (München).

**GERHARDS, H., WOLLANKE, B. (2001)**

Uveitis bei Pferden - Diagnose und Therapie.  
Pferdeheilkunde, 319-329.

**GERHARDS, H., WOLLANKE, B. (2006)**

Equine Rezidivierende Uveitis.  
In: DIETZ, O., HUSKAMP, B. (Hrsg): Handbuch Pferdepraxis, 3 Edition.  
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 775-786.

**GILGER, B.C. (2004)**

Il glaucoma nel cavallo, Glaucoma in horses.  
In: Congresso nazionale multisala sive, Perugia, 1-4.

**GOLDMANN, H. (1940)**

Ophthalmologica 98.

**GREHN, F., LEYDHECKER, W. (1995)**

Augenheilkunde, 26th edition.  
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 115-130

**GULLSTRAND, A. (1909)**

In: Helmholtz, H. (Hrsg.) in: Handbuch der physiologischen Optik.  
Leopold Voss, Hamburg und Leipzig.

**GULLSTRAND, A. (1911a)**

Demonstration der Nernstspaltlampe.  
Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg, 374.

**GULLSTRAND, A. (1911b)**

Einführung in die Methoden der Dioptrik des Auges.  
Leipzig.

**GULLSTRAND, A. (1912)**

Wie ich den intrakapsulären Akkomodationsmechanismus fand.  
Archiv für Augenheilkunde, 169-190.

**HELMHOLTZ, H.v. (1851)**

Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge.  
Berlin.

**HELMHOLTZ, H.v. (1867)**

Handbuch der physiologischen Optik.  
Leopold Voss, Leipzig.

**HELMHOLTZ, H.v., GULLSTRAND, A., VON KRIES, J., NAGEL, W. (1909)**

Handbuch der physiologischen Optik, Vol 1, 3 Edition.  
Leopold Voss, Hamburg und Leipzig.

**HENKER (1920)**

Das vereinfachte große GULLSTRANDSche Ophthalmoskop.  
Z. ophthalm. Opt., 109.

**HERRING, I., PICKET, J.P., CHAPAGNE, E.S., et al. (2000)**

Effect of topical 1% atropine sulfate on intraocular pressure in normal horses.  
Vet Ophthalmol, 139-143.

**HEUSSER, H. (1921)**

Über Flecken und Vaskularisation der Hornhaut des Pferdes.  
Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology (106), 10-62.

**HILDRED, R. (1999a)**

Alternative imaging in ophthalmology. Old ideas- new technology  
Eye News (2), 16-24.

**HILDRED, R. (1999b)**

Alternative imaging in ophthalmology. The digital darkroom  
Eye News (1), 18-19.

**HOCKWIN, O. (1989)**

Die Scheimpflug-Photographie der Linse.  
Fortschr Ophthalmol, 304-311.

**HOGAN, M.J., ALVARADO, J.A. WEDDELL, J.E. (1971)**

Histology of the Human Eye.  
WB Saunders, Philadelphia.

**HONNEGER, H., SCHÄFER, W.D. (1968)**

Photographie der Bindehautgefäße  
Zeiss Information(69), 94

**HUANG, A., TSENG S.C. (1991)**

Corneal epithelial wound healing in the absense of limbal epithelium.  
Invest Ophthalmol Vis Sci, 96-105.

**JAEGER, W. (1952)**

v. Graefes Arch. Ophthalmol. 153.

**JAFFE, N., HORWITZ, J. (1992)**

Lens and cataract, 2nd edition.  
Gower Medical Publishing, New York, London, 1.2-8.14

**JAKUS, M. (1956)**

Studies on the cornea. II: The fine structure of Descemet's membrane.  
J Biophys Biochem Cytol (2), 243-250.

**KANGAS, T.A., EDELHAUSER, H.F., TWINING, S.S., O'BRIEN, W.J. (1990)**

Loss of stroma glycosaminoglycans in transient stromal edema.  
Invest Ophthalmol Vis Sci (31), 1994-2002.

**KOEPPE, L. (1916)**

Klin. Beobachtungen mit der Nernstspaltlampe und dem Hornhautmikroskop.  
v. Graefes Arch. Ophthalmol.

**KOEPPE, L. (1920)**

Die Mikroskopie des lebenden Auges I.  
Verlag Jul. Springer, Berlin.

**KOEPPE, L. (1922)**

Die Mikroskopie des lebenden Auges II  
Verlag Jul. Springer, Berlin.

**KWAN, A. (2000)**

A simple slit lamp digital photographic system.  
Eye News (6), 18-21.

**LEDFORD, J.K., SANDERS, V.N. (2006)**

The Slit Lamp Primer, Vol 2, 2nd edition.  
Slack Incorporated, Thorofare, NJ, USA, 2-9

**LITTMANN, H. (1950)**

Am. J. Ophthalmol. (33).

**LITTMANN, H. (1953)**

v. Graefes Arch. Ophthalmol. (153).

**LITTMANN, G. (1965a)**

Spaltbildphotographie.  
ZEISS-Information, 43-51.

**LITTMANN, H. (1965b)**

ZEISS-Information Nr. 58, 141-143.

**MARTIN, C.L. (1969a)**

Slit lamp examination of the normal canine anterior ocular segment, Part I:  
Introduction and technique.  
J Small Anim Pract, 143-149.

**MARTIN, C.L. (1969b)**

Slit lamp examination of the normal canine anterior ocular segment. Part II.  
J Small Anim Pract, 151-162.

**MARTIN, C.L. (1969c)**

Slit lamp examination of the normal canine anterior ocular segment. Part III:  
Discussion and summary.  
J Small Anim Pract, 163-169.

**MEESMANN, A. (1972)**

Die Mikroskopie des lebenden Auges an der Gullstrandschen Spaltlampe mit  
Atlas typischer Befunde.  
Urban und Schwarzenberg, Berlin, Wien, 73-75

**MEYER-LINDENBERG, A. (2006)**

Der ophthalmologische Notfall  
Klinik für kleine Haustiere, Tierärztliche Hochschule Hannover.

**MEYNER, E.M. (1976)**

Atlas der Spaltlampenphotografie und Einführung in die Aufnahmetechnik.  
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

**MÖLLER, H. (1916)**

Klinische Diagnostik der äußeren Krankheiten der Haustiere, 5th edition.  
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, Berlin, 68-87

**MUGHANNAM, A., BUYUKMIHCI, N.C., KASS, P.H. (1999)**

Effect of topical atropine on intraocular pressure and pupil diameter in the normal horses.  
Vet Ophthalmol, 213-215.

**MÜLLER-BREITENKAMP, U., HOCKWIN, O. (1992)**

SCHEIMPFLUG photography in clinical ophthalmology. A review.  
Ophthalmic Res (24), 47-54.

**NAUMANN, G.O.H. (1997a)**

Pathologie des Auges I, 2nd edition.  
Verlag Jul. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 38-44.

**NAUMANN, G.O.H. (1997b)**

Pathologie des Auges II, 2nd edition.

Verlag Jul. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 845-954.

**NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E. (1990)**

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere IV, 4th edition.

Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 550.

**NIESEL, P. (1966a)**

Spaltlampenfotografie mit der Haag-Streit-Spaltlampe 900.

Ophthalmologica (151), 489-504.

**NIESEL, P. (1966b)**

Spaltlampenphotographie der Linse für Messzwecke.

Ophthalmologica (152), 387-395.

**OLLIVIER, F.J., PLUMMER, C.E., BARRIE, K. P. (2007)**

Ophthalmic Examination and Diagnostics. I: The Eye Examination and Diagnostic Procedures.

In: GELATT, K.N. (Hrsg): Veterinary Ophthalmology, Vol 1, 4th edition  
Blackwell Publishing Professional., 438-483

**PAVLIN, C.J., FOSTER, F.S. (1995)**

Ultrasound Biomicroscopy of the eye.

Verlag Jul. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

**PEIFFER, R.L., PETERSEN-JONES, S.M. (1997)**

Small Animal Ophthalmology: A Problem-oriented Approach, 2nd edition.

W.B. Saunders Company Ltd, London, Philadelphia, Sydney, Tokyo, 20.

**PHELPS, C. (1984)**

Examination and functional evaluation of the crystalline lens.

Harper and Row, Philadelphia.

**PRINCE, J.H. (1956)**

Comparative Anatomy of the Eye.  
Charles C. Thomas, Springfield, IL.

**PRINCE, J.H., DIESEN, C.D., EGLITIS, I. (1960)**

Anatomy and Histology of the Eye and Orbit in Domestic Animals.  
Charles C. Thomas, Springfield, IL.

**RIEDEL, H. (1976)**

Die Operationsspaltleuchte.  
ZEISS-Information Nr. 85, (22), 33-64.

**RODRIGUES, M.M., HACKETT, J., DONOHOO, P. (1988)**

Iris  
In: Biomedical Foundations of Ophthalmology, Vol 1.  
JB Lippincott, Philadelphia, 1-18

**ROTTERS, S. (2001)**

Ultraschallbiomikroskopie in der augenheilkundlichen Diagnostik.  
Dt Ärztebl, 2443-2447.

**RUBIN, L.F., WOLFES, R.L. (1962)**

Mydriatics for canine ophthalmology.  
J Am Vet Med Assoc, 283-287.

**RYSECK, I., 2000.**

Modulation von Proliferation und Migration boviner kornealer Endothelzellen  
in Kultur durch humanes Kammerwasser, Transforming Growth Factor-Beta 2  
und Ascorbinsäure.  
Medizinische Fakultät Charite der Humboldt-Universität zu Berlin.

**SAMUELSON, D.A. (2007)**

Ophthalmic Anatomy.  
In: GELATT, K.N. (Hrsg): Veterinary Ophthalmology, Vol 1, 4th edition.  
Blackwell Publishing Professional, 37-148

**SAMUELSON, D., SMITH, P., BROOKS, D. (1989)**

Morphologic features of the aqueous in lower mammals.  
Am J Vet Res (50), 720-727.

**SCHÄFER, C. (2005)**

Lichtmikroskopische Untersuchungen zur Rolle des Linsenepithels bei der Kataraktogenese sowie SCHEIMPFLUGdokumentation der Linsentrübungsformen bei Typ-II-Diabetikern und Nichtdiabetikern.  
Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

**SCHMIDT, T.A. (1975)**

On slit-lamp microscopy.  
Coc Ophthalmol, 117-153.

**SCHNYDER, F.W. (1921)**

Eine einfache Bogenspaltlampe und theoretische Ausführungen über das neue Beleuchtungsprinzip der Spaltlampe und dessen Bedeutung.  
Z. Augenheilkunde, 328.

**SCHWINK, K.L. (1992)**

Equine Uveitis.  
Veterinary Clinics of North America: Equine Practice (8), 563-564.

**SEVERIN, G.A. (1996)**

Severin's Veterinary Ophthalmology Notes.  
Veterinary Ophthalmology Notes, 223-350

**SHIVELY, J.N., EPLING, G.P. (1969)**

Fine structure of the canine eye: iris.  
Am J Vet Res, 13-25.

**SLATTER, D.H. (2001)**

Fundamentals of Veterinary Ophthalmology, 3rd edition.  
W.B. Saunders Company, Philadelphia, 260-313

**SLATTER, D.H. (2002)**

Textbook of Small Animal Surgery,  
Saunders, 1396-1397.

**SMITH, P.J. et al. (1986)**

Unconventional aqueous humor outflow of microspheres perfused into the equine eye.  
Am J Vet Res, 2445-2453.

**SMITH, R. (1979)**

A new method of estimating the depth of the anterior chamber.  
British Journal of Ophthalmology, 215-220.

**STEIFF, H., GERHARDS, H.**

Aspekte der Tonometrie am Pferdeauge mit Hilfe des Tonopen XL  
Praktischer Tierarzt(11),78, 1019-1022

**STREULI (1920)**

Beleuchtungstechnik der Spaltlampe.  
Klin Monatsbl Augenheilkd, 769.

**TARKKANEN, A., KIVELÄ, T. (2002)**

John G. Lindberg and the discovery of exfoliation syndrome.  
Acta Ophthalmologica Scandinavica.

**TASMAN, W. (1984)**

The vitreous.  
Harper and Row, Philadelphia.

**THIEL, R. (1930)**

In 48. Versammlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft  
Heidelberg.

**TOTH, J., HOLLERRIEDER, J. (2004)**

Klinische Diagnostik bei Augenerkrankungen des Pferdes.  
Pferdespiegel, 5-10.

**TRONOSCO, M.U. (1942)**

Microanatomy of the eye with the slit lamp microscope.  
American Journal of Ophthalmology, 1-30.

**ÜBERREITER, O. (1954)**

Augenuntersuchungsmethoden.  
Tierärztl Monatsschr, Wien, 767-780.

**ÜBERREITER, O. (1956a)**

Augenuntersuchungsmethoden mit besonderer Berücksichtigung der Mikroskopie am lebenden Tierauge.  
Tierärztl Monatsschr, Wien, 1-13.

**ÜBERREITER, O. (1956b)**

Die Mikroskopie am lebenden Tierauge.  
Tierärztl Monatsschr, Wien, 77-82.

**ÜBERREITER, O. (1959)**

Examination of the eye and eye operations in animals.  
Adv Vet Sci, 1-80.

**VAN HERICK, W., SHAFFER, R.N., SCHWARTZ, A. (1969)**

Estimation of width of angle of anterior chamber. Incidence and significance of the narrow angle.  
American Journal of Ophthalmology, 626-629.

**VOGT, A. (1920 a)**

Weitere Ergebnisse der Spaltlampenmikroskopie des vorderen Bulbusabschnitts.

**VOGT, A. (1920 b)**

Zu den von Koeppel aufgeworfenen Prioritätsfragen, zugleich ein kritischer Beitrag zur Methodik der Spaltlampenmikroskopie.  
Klin Monatsbl Augenheilkd.

**VOGT, A. (1921a)**

Atlas der Spaltlampenmikroskopie.  
Verlag Jul. Springer, Berlin.

**VOGT, A. (1921b)**

Vergleichende Messungen der spezifischen Helligkeit von Nernst-, Nitro- und Bogenspaltlampe

Zeitschr. f. Augenheilkunde, 1-7.

**VOGT, A. (1923)**

Über Vererbung von Augenleiden.

Med Wschr 7, Schweiz.

**VOGT, A. (1930)**

Lehrbuch und Atlas der Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges, 2nd edition.

Verlag Jul. Springer, Berlin, 276-287

**VON BORSTEL, M. (2003)**

Erweiterte Diagnostikverfahren bei Keratitiden des Pferdes und besonderer Rücksichtung der Nachweishäufigkeit des Equinen Herpesvirus Typ-2.

Tierärztliche Hochschule Hannover.

**VON OPPEN, T. (2000)**

Nachweis von equinem Herpesvirus Typ-2 (EHV-2) bei Keratitiden des Pferdes.

Tierärztliche Hochschule Hannover.

**WARING, G., LAIBSON, P.R. (1977)**

A systematic method of drawing corneal pathologic conditions.

Archives of Ophthalmology, 1540-1542.

**WASMAN, W., JAEGER, E.A., eds. (1993)**

Biomedical Foundations of Ophthalmology, Vol 1.

JB Lippincott, Philadelphia, 1-20

**WEGENER, A., LASER, H. (2001)**

Optische Schnittbild-Vermessungen des vorderen Augenabchnittes nach SCHEIMPFLUG.

Klin Monatsbl Augenheilkd (218), 67-77.

**WISSDORF, H., GERHARDS H., HUSKAMP B., DEEGEN E. (2002)**

Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. Verlag M.&H. Schaper, Hannover, 124-152

**WOLTER, J. (1957)**

Innervation of the corneal endothelium of the eye of the rabbit.  
Arch Ophthalmol (58), 246-256.

**ZEISS, Carl ZEISS Meditec AG (2007)**

Ophthalmologische Geräte von Carl ZEISS, Augenuntersuchung mit der Spaltlampe

Carl ZEISS Meditec AG, Jena, [www.meditec.zeiss.de](http://www.meditec.zeiss.de)

## 9 ANHANG

**Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 1: Das digitale Spaltlampengerät Hawk Eye der Firma Dioptrix
- Abb. 2: Verschieden Filter- und Spaltoptionen der Hawk Eye Spaltlampe
- Abb. 3: Justierstab
- Abb. 4: Pentax Optio S 60
- Abb. 5: Fußauslöser der Hawk Eye Spaltlampe
- Abb. 6: Anwendung der Hawk Eye Spaltlampe am liegenden Patienten
- Abb. 7: Anwendung der Hawk Eye Spaltlampe am liegenden Patienten
- Abb. 8: Funduslinse der Hawk Eye Spaltlampe
- Abb. 9: Übersichtsbeleuchtung, Normalbefund, Mensch
- Abb. 10: Direkte diffuse Beleuchtung, Mensch
- Abb. 11: Direkte diffuse Beleuchtung mit Spalt, Pferd
- Abb. 12: Direkte fokale Beleuchtung, Hornhaut, breiter Spalt, Pferd
- Abb. 13: Direkte fokale Beleuchtung, Hornhaut, breiter Spalt, Pferd
- Abb. 14: Direkte fokale Beleuchtung, Hornhaut, schmaler Spalt, Mensch
- Abb. 15: Direkte fokale Beleuchtung, Hornhaut, schmaler Spalt, Pferd
- Abb. 16: Hornhautschichten

- 
- Abb. 17: Schnitt durch die vordere Augenkammer
- Abb. 18: Zweidimensionale Irisbetrachtung
- Abb. 19: Tangentiales Streifen mit dem Spalt
- Abb. 20: Spiegelnde Reflexionen
- Abb. 21: Direkte Retroillumination
- Abb. 22: Indirekte Retroillumination
- Abb. 23: Obstruktive Veränderungen, Irisresiduen
- Abb. 24: Obstruktive Veränderungen, Korneatrübungen
- Abb. 25: Obstruktive Veränderungen, Narbengewebe
- Abb. 26: Direkte und indirekte Beleuchtung, Lichtdurchlässige Veränderungen
- Abb. 27: Direkte und indirekte Beleuchtung, Lichtbrechende Veränderungen
- Abb. 28: Beleuchtung mit dem Fotospalt, Aufnahme während Narkose
- Abb. 29: Beleuchtung mit dem Fotospalt, Aufnahme beim stehenden Pferd
- Abb. 30: Tierartbedingte Artefakte
- Abb. 31: Artefakte durch Umfeldbeleuchtung, gespiegelte Strahler und Personen
- Abb. 32: Artefakte durch Umfeldbeleuchtung, reflektierte Fenster
- Abb. 33: Artefakte durch Umfeldbeleuchtung, Reflexionen bei Zusatzbeleuchtung

- 
- Abb. 34: Artefakte durch Veränderung der Oberfläche der Kornea und Vorbehandlung der Kornea
- Abb. 35: Artefakte bei Hornhautödem
- Abb. 36: Artefakte durch Fluoreszein
- Abb. 37: Einstellungsbedingte Artefakte, Lichtreflexionen
- Abb. 38/39: Unterschied gesehenes Bild zu Kamerabildschirm
- Abb. 40: Korneaulkus
- Abb. 41: Fremdkörper in der Kornea
- Abb. 42: Korneanarbe
- Abb. 43: Korneaödem
- Abb. 44: Gefäße in der Kornea
- Abb. 45: Gefäße in der Kornea
- Abb. 46: Gefäße in der Kornea
- Abb. 47: Endotheliale Auflagerungen
- Abb. 48: Keratitis punctata
- Abb. 49: Hyphaema
- Abb. 50: Blut in der vorderen Augenkammer
- Abb. 51: Iris, Normalbefund, Übersichtsbeleuchtung
- Abb. 52: Membrana pupillaris persistens

- 
- Abb. 53: Übergang in den Kammerwinkel
- Abb. 54: Übergang in den Kammerwinkel
- Abb. 55: Iris bicolor
- Abb. 56: Irisgefäße
- Abb. 57: Pupillarsaum im Spaltlicht
- Abb. 58: Traubenkörner, Normalbefund
- Abb. 59: Traubenkörner, Normalbefund
- Abb. 60: Traubenkornzysten, fokale Beleuchtung
- Abb. 61: Traubenkornzysten, fokale Beleuchtung
- Abb. 62: Traubenkornzysten bei Spaltbeleuchtung
- Abb. 63: Hintere Synechien, fokale Beleuchtung
- Abb. 64: Hintere Synechien, Übersichtsaufnahme
- Abb. 65: Hintere Synechien, Irisresiduen
- Abb. 66: Hintere Synechien, fokale Beleuchtung
- Abb. 67: Hintere Synechien, multiple Irisresiduen auf der Linse
- Abb. 68: Hintere Synechien, Übersichtsbeleuchtung
- Abb. 69: Hintere Synechien, Übersichtsbeleuchtung
- Abb. 70: Katarakt, Übersichtsbeleuchtung

- 
- Abb. 71: Katarakt, Spaltbeleuchtung
- Abb. 72: Linsenveränderungen bei einer ERU
- Abb. 73: Linsenvakuole, Übersichtsbeleuchtung
- Abb. 74: Linsenvakuole, Spaltbeleuchtung
- Abb. 75: Tapetum lucidum, Normalbefund
- Abb. 76: Augenhintergrund, Normalbefund
- Abb. 77: Augenhintergrund, Normalbefund
- Abb. 78: Augenhintergrund, Artefakt durch Verengung der Pupille
- Abb. 79: Chorioretinopathie, Aufnahme mit der Hawk Eye Spaltlampe
- Abb. 80: Chorioretinopathie, Aufnahme mit dem Scanning Digital Ophthalmoskop
- Abb. 81: Funduskolobom, Aufnahme mit der Hawk Eye Spaltlampe
- Abb. 82: Funduskolobom, Aufnahme mit dem Scanning Digital Ophthalmoskop
- Skizze 1: Abflusswege des Kammerwassers
- Skizze 2: Grundaufbau einer Spaltlampe

**Tabellenverzeichnis**

Tab.1: Slit lamp examination protocol

Tab.2: Technische Daten, Hawk Eye, Firma Dioptrix

**Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
ERU	Equine rezidivierende Uveitis
etc.	et cetera, lateinisch : und so weiter
Fa.	Firma
GAGs	Glucosaminoglycane
ggr.	geringgradig
Hg	Quecksilbersäule
hgr.	hochgradig
intra	lateinisch : innerhalb, während
IOP	intraocular pressure = Augeninnendruck
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
µm	Mikrometer
M.	Musculus
mm	Millimeter

---

NaCl	Natriumchlorid
o.ä.	oder ähnlich
OD	oculus dexter, rechtes Auge
OS	oculus sinister, linkes Auge
OU	oculus uterque
peri	lateinisch: um, herum
post	lateinisch: nach
prä	lateinisch: vor
Procc.	Processus (Mehrzahl), Fortsätze
Rheinl.	Rheinländisches
sog.	so genannt
Tab.	Tabelle
v.a.	vor allem
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

**Tab. 2: Technische Daten**

<b>Mikroskop</b>	
Typ	Binokularer direkter Visionstyp
Vergößerung	Wählbar: 8x, 12,5x, 20x
Spannbreite der interpupillaren Distanzeinstellung	50mm bis 73mm
Spannweite der für den Untersucher spezif. einstellbaren Dioptrienzahl	-5 bis +5 D
Mikroskop-Objektiv-Fokus	115mm
Arbeitsabstand	105mm
<b>Spaltprojektionseinheit</b>	
Spaltauswahl	Drehkreuz
Spalllänge	15mm
Vertikale Spaltbreite	0,2mm, 1,0mm, Fotospalt: 0,2mm
Horizontale Spaltbreite	1,0mm
Punktlicht	15mm runder Spot, 1,0x1,0mm quadratischer Spot
Lichtintensität	elektrische Justierung
Spaltprojektionswinkel	vertikal
<b>Filter</b>	einschwenkbarer blauer o. grüner Filter, kein Filter
<b>Lichtquelle</b>	weißes LED 5W
<b>Kamera</b>	
Kameramodell	Pentax S 60, aufsetzbar
Kameravergrößerung	Min 11x, zus. optischer Zoom max. 8x
Effektive Auflösung	6,0M Pixel, SXGA 2816 X 2112

Videoleistung	Bildgröße 360x240 Pixel; 30 fps
LCD-Monitor	2,5 Zoll, TFT Farbe 115.000 Pixel
Verbindung	USB 2.0 Konnektor, AV Ausgangsklemme
Bildformat	JPEG, AVI
Datenspeicher	Optional SD 256MB Speicherkarte
Kamerabatterie	2 Standard Alkaline AA Batterien, wahlweise 4 pcs. NiMH AA 2300mAh Batterien mit Schnellladegerät
Kompatibilität	Windows 98/ME/2000/XP DivX® Garantierte DivX® Videowiedergabe bei allen DivX® geprüften Geräten vom DVD-Spieler bis zu tragbaren Media players
<b>Elektrische Leistungen</b>	12V DC
<b>Batterie</b>	7,2V/2000mAh; Lithium Ion
Batterieladegerät	Eingebautes Schnellladegerät, 12VDC-Zugang
Ladedauer	bis zu 1,5 Stunden
<b>Elektrische Leistungen</b>	
Externer Netzanschluss	Zugang 90-260VAC, 40-60Hz, 30W; Ausgang 12 VDC
Autonetzanschluss	Standard Autobuchse mit Kontroll-LED
Fußauslöserverbindung	installiert
<b>Mechanik</b>	
Dimensionen, Gewicht	115 (W) x 318 (D) x 266 (H); ca. 1,7 kg
Kopfstütze oder Kontaktlinse mit Halterung	optional; an das Mikroskop anzubringen

## Danksagung

Ein ganz herzlicher Dank geht an meine Doktormutter PD Dr. Bettina Wollanke für die Überlassung des ansprechenden Themas sowie für die Unterstützung bei Entscheidungen meines bisherigen Werdegangs, die ich sehr zu schätzen weiß.

Herrn Prof. Dr. H. Gerhards danke ich außerordentlich für die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit an seiner Klinik und die sehr prägende Lehrzeit während meines Studiums, die mir zeitlebens in Erinnerung bleiben wird.

Bei Prof. Dr. W. Brehm bedanke ich mich sehr für sein Verständnis und die Unterstützung, den schriftlichen Teil dieser Dissertation neben der Arbeit als Mitarbeiterin in seiner Klinik fertig stellen zu können.

Für ihre extreme Einsatzbereitschaft danke ich Alexandra Struve, die mir hinsichtlich PC- und Formatierungsfragen jederzeit tatkräftig zur Seite stand.

Dr. Anna May danke ich für jegliche Hilfsbereitschaft und die Unterstützung bei der Literaturrecherche, Dr. Anika Pachten für die freundliche Bereitstellung der vergleichenden Fundusfotos.

Ein weiterer Dank geht an Dr. Stefan Gesell und Dr. Marc Cronau für zeitweise Hilfe in der Durchführung der Fotografien und bedeutende Ideen zur Aufnahmetechnik.

Ein ganz lieber Dank gilt auch meinen Doktorandenkollegen und Freunden Sabine Florence Donnadieu und Armin Kirchdorfer für die sehr kollegiale Zusammenarbeit und die wundervolle Zeit mit ihnen.

Rolf Bammel danke ich herzlich für seine schnelle und professionelle Hilfe bei Druck und Bindung dieser Arbeit.

Meiner Familie und meinen Freunden, denen ich während meines Studiums und dieser Arbeit nur sehr wenig Zeit widmen konnte, danke ich für ihr großes Verständnis und ihre immerwährende Unterstützung.

Die Dankesschuld an meine Eltern, Dres. med. Angelika und Ulrich Eichel, ist hingegen nicht in Worte zu fassen.

## LEBENS LAUF

Name: Jane-Carolin Eichel  
geboren: 11.07.1977 in Mainz

Eltern: Dr. med. Angelika Eichel, Fachärztin für Allgemeinmedizin  
Dr. med. Ulrich Eichel, Facharzt für Allgemeinmedizin

Schwester: Linda Eichel, Studentin der Zahnmedizin

Schulabschluss: 1996 Abitur am Gymnasium Grosse Schule, Wolfenbüttel

Ausbildung: 1998-2001 Ausbildung zur Medizinisch Technischen Assistentin an der Dr. Heinemann-Schule in Braunschweig

Hochschule: 2001-2007 Studium der Tiermedizin an der LMU München

Approbation: April 2007, München

Dissertation: Mai 2007- März 2008  
an der Pferdeklinik der LMU München,  
Leitung Prof. Dr. H. Gerhards

Berufstätigkeit: seit Oktober 2007  
Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin  
in der Chirurgischen Tierklinik der Universität Leipzig,  
Leitung Prof. Dr. W. Brehm