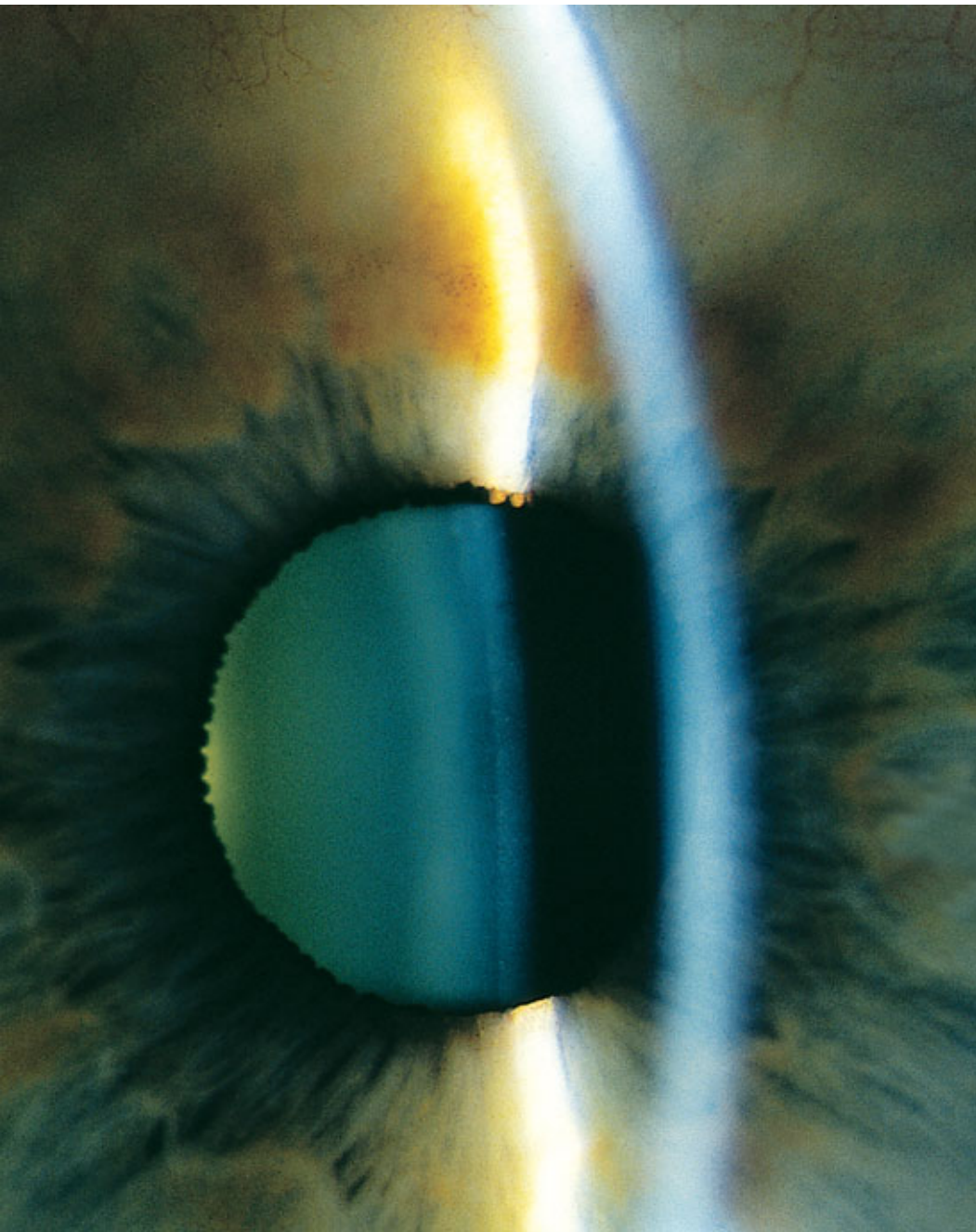


# Augenuntersuchungen mit der Spaltlampe.



# Zum Gedenken

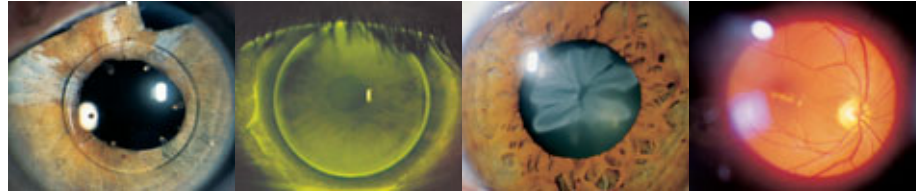
*an Prof. Allvar Gullstrand  
Nobelpreisträger für Physiologie und Medizin*

*05.06.1862 - 28.07.1930*



*Allvar Gullstrand*

# Augenuntersuchungen mit der Spaltlampe.



## Inhalt

<b>1. Anwendungsübersicht</b> .....	2
<b>2. Konstruktionsprinzipien</b> .....	3
2.1 Spaltbeleuchtungseinrichtung .....	3
2.2 Spaltlampenmikroskop .....	5
2.3 Gerätemechanik .....	8
2.4 Geräteelektrik .....	9
2.5 Das Spaltlampenprogramm von Carl Zeiss .....	9
<b>3. Untersuchungsmethoden - Beleuchtungsarten</b> .....	14
3.1 Beobachtung im optischen Schnitt .....	14
3.2 Direkte diffuse Beleuchtung .....	16
3.3 Indirekte Beleuchtung .....	17
3.4 Regrediente Beleuchtung .....	17
3.5 Streuende sklero-corneale Beleuchtung .....	19
3.6 Fundusbetrachtung und Gonioskopie mit der Spaltlampe .....	19
3.7 Fluoreszenzbeobachtung und Spaltlampenmikroskopie bei der Kontaktlinsenanpassung .....	24
3.8 Beurteilung des Tränenfilmes .....	26
3.9 Weitere Untersuchungsmethoden .....	27
<b>4. Befunddokumentation</b> .....	28
4.1 Videodokumentation .....	28
4.2 Digitale Bildaufnahme- und -bearbeitung .....	29
<b>5. Zubehör</b> .....	30
5.1 Messungen des Augeninnendruckes .....	30
5.2 Längen- und Winkelmessung .....	32
5.3 Sonstiges Zubehör .....	32
<b>6. Geschichte der Spaltlampe</b> und Entwicklung der Fotografie des optischen Schnittes .....	33
<b>7. Literaturquellen</b>	

# 1. Anwendungsübersicht.



*Abb. 1  
Anwenderaufnahme mit der  
Spaltlampe SL120*

Die Spaltlampe ist heute das meistgebrauchte und vielseitigste Untersuchungsgerät des Ophthalmologen. Ihr primäres Anwendungsgebiet ist die Betrachtung der vorderen Augenabschnitte einschließlich der Linse und des nahen Glaskörpers.

Mit Zusatzoptiken in Form von Kontakt- und Vorsatzgläsern werden auch die tieferen Augenabschnitte beobachtbar, desgleichen der Kammerwinkel, der im direkten optischen Strahlengang nicht erreichbar wäre.

Zu der Spaltlampe wurden verschiedene Ergänzungs- und Zusatzeinrichtungen entwickelt, die sie vom reinen Beobachtungsgerät zu einem Messgerät erweitern, so z.B. für die Messung des Augeninnendruckes.

Die Befunddokumentation auf elektronischen Medien gewinnt zunehmend an Bedeutung, da sie eine günstige Möglichkeit der Verlaufskontrolle darstellt und die Kommunikation zwischen Arzt und Patient bzw. Arzt und Arzt erleichtert.

Erwähnenswert ist der Einsatz der Spaltlampen bei der Anpassung von Kontaktlinsen. Dadurch hat das Gerät auch über die ophthalmologische Praxis hinaus zunehmend Verbreitung gewonnen.

# 2. Konstruktionsprinzipien.

## 2.1 Spaltbeleuchtungseinrichtung

Die Beleuchtungseinrichtung hat die Funktion, ein in Länge, Breite und Lage, veränderliches, möglichst helles Spaltbild in definiertem Abstand vom Gerät zu erzeugen. Dazu benutzt man heute ausschließlich das sogenannte *Köhler'sche Beleuchtungsprinzip* (Abb. 2). Dabei wird die Lichtquelle **L** durch das Kollektorsystem **K** in das Objektiv **O** abgebildet. Das Objektiv wiederum bildet den nahe dem Kollektorsystem befindlichen mechanischen Spalt nach **S** ab. Das Bild der Lichtquelle in **O** ist die Austrittspupille der Abbildung. Die Köhler'sche Beleuchtung liefert bei beliebig strukturierter Lichtquelle ein sehr homogenes Spaltbild. Diesen Vorteil hat man nicht, wenn die Lichtquelle in den Spalt und dieser Spalt samt Lichtquellenbild in das Auge abgebildet würde. Eine solche Anordnung, die bei der ersten *Gullstrandschen Spaltlampe* 1911 verwirklicht wurde, hat nur noch historische Bedeutung.

Die Helligkeit der Spaltlampe wird gekennzeichnet durch die Größe der Beleuchtungsstärke im Spaltbild. Einfluss darauf haben die Leuchtdichte der Lichtquelle, die Transmission der Abbildungsoptik, die Fläche der Austrittspupille sowie der Abstand der Austrittspupille vom Spalt.

Eine Standard-Spaltlampe setzt sich im wesentlichen aus drei Elementen zusammen:

### 1. Spaltbeleuchtungseinrichtung

Sie hat dem Gerät den Namen gegeben

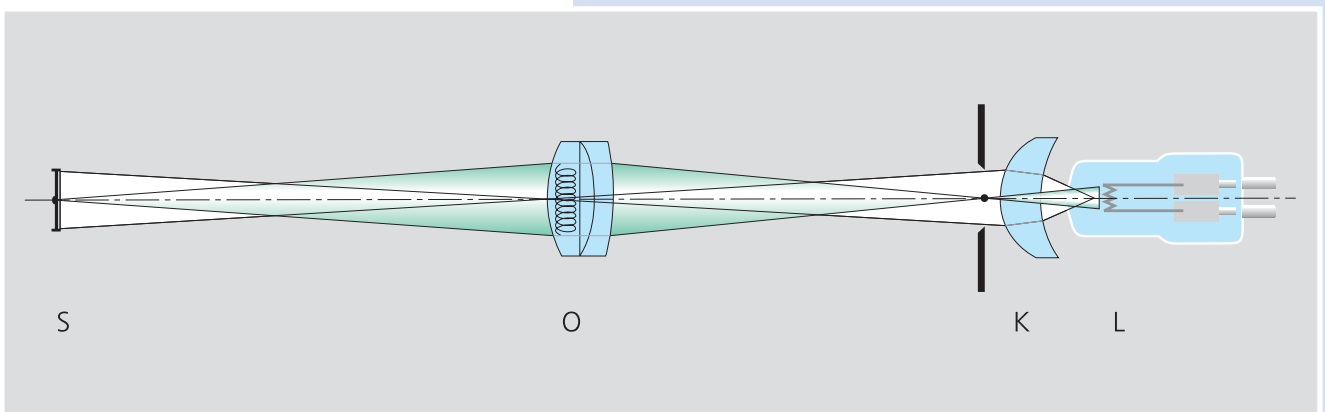
### 2. Stereomikroskop

Es wird in dieser Art auch an anderen ophthalmologischen Geräten, z.B. den Operationsmikroskopen, verwendet

### 3. Gerätemechanik

Sie koppelt Mikroskop und Beleuchtungseinrichtung und dient der Positionierung des Gerätes

Abb. 2  
Prinzip der Köhler'schen Beleuchtung



Die optische Transmission erhöht man durch Entspiegelung (Vergütung) aller Glasflächen. Die Reflexionsverluste pro Fläche vermindern sich dann auf 1,5% bzw. >0,5% bei Superentspiegelung. Der damit insgesamt erzielte Helligkeitsgewinn der Spaltbeleuchtung gegenüber der unvergüteten Ausführung liegt bei ca. 20%. Der Käufer einer Spaltlampe sollte daher auf eine besondere Optikvergütung Wert legen.

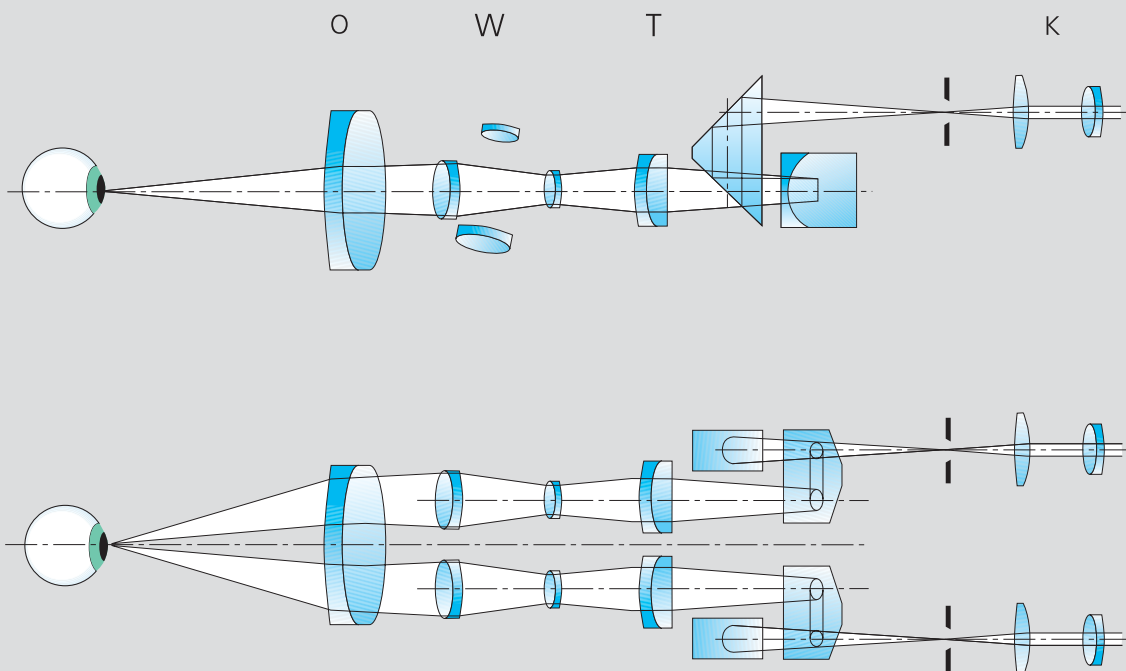
Als Lichtquelle in Spaltlampen dienen Nieder-voltglühlampen oder Halogenlampen, wobei die Halogenlampen wegen der hohen Leuchtdichte und Farbtemperatur bevorzugt werden.

Entsprechend den physikalischen Gesetzen ist die Streuung und Fluoreszenz der transparenten Medien für solches Licht größer und es können z. B. diagnostisch bedeutsame Gelbverfärbungen besser erkannt werden. Moderne Spaltlampen (s. Abb. 7 - 10) verwenden deshalb als Lichtquelle Halogenlampen.

Für bestimmte Untersuchungsmethoden ist weniger die intensive Spaltbeleuchtung, als vielmehr eine großflächige, diffuse Allgemeinbeleuchtung erwünscht. Einige Geräte tragen dem Rechnung, indem sich am Ort der Austrittspupille und Wendelabbildung eine Mattscheibe vorsetzen läßt. Dadurch wird der Strahlengang an dieser Stelle unterbrochen, und die Mattscheibe wirkt als Sekundärstrahler.

Andere Untersuchungsmethoden erfordern eine Änderung der spektralen Zusammensetzung des Lichtes (z.B. für die Fluoreszenzbetrachtung bei der Kontaktlinseenanpassung). Dafür sind in der Beleuchtungseinrichtung verschiedene Filter vorgesehen, die sich leicht einschwenken lassen (Erregerfilter für die Fluoreszenz, Grünfilter zur Kontraststeigerung, u.U. auch Graufilter zur Reduzierung der Beleuchtungsstärke bei gleichbleibender Farbtemperatur).

Abb. 3  
Schematischer Strahlengang  
im Stereomikroskop einer  
Spaltlampe



## 2.2 Spaltlampenmikroskop

Von einem Spaltlampenmikroskop erwartet der Benutzer eine optimale stereoskopische Beobachtungsmöglichkeit mit wählbarer Vergrößerung. Gesichtsfelddurchmesser und Schärfentiefe sollten möglichst groß sein und der Raum vor dem Mikroskop muss für Manipulationen am Auge ausreichend Platz bieten.

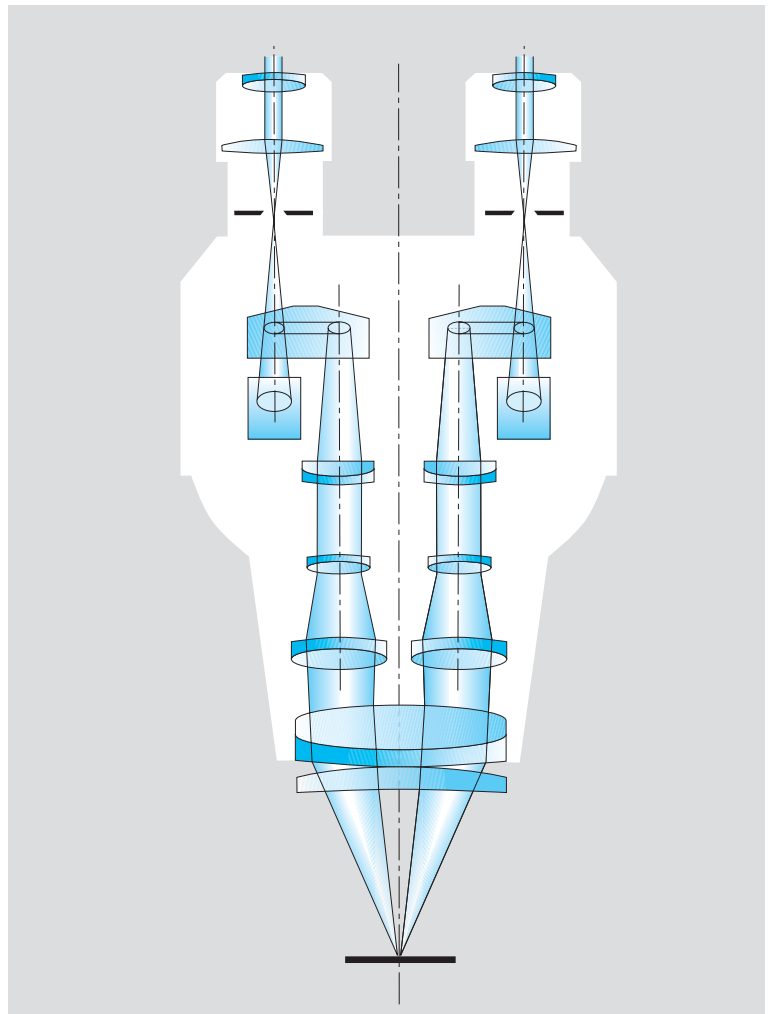
Die Abb. 3 zeigt den Strahlengang in einem Stereomikroskop, das nach dem Prinzip einer Fernrohrlupe arbeitet.

Mit Fernrohrlupen werden größere Arbeitsabstände erreicht, als mit einfachen Lupen. Diese Systeme bestehen aus einem Fernrohr und einer objektseitigen Lupe. Die Abbildung erfolgt prinzipiell so, dass das Objekt im objektseitigen Brennpunkt der Lupe steht und von dieser entsprechend vergrößert virtuell ins Unendliche abgebildet wird. Dieses Lupenbild wird dann durch das dahinter befindliche Fernrohr mit entsprechender Fernrohrvergrößerung betrachtet.

### Erläuterung zur Abb. 3

Zwischen dem Objektiv **O** (Brennweite  $f_1$ ) und den Tubuslinsen **T** ( $f_2$ ) besteht für jedes Auge ein separater, paralleler Strahlengang. Folglich liegt das Objekt in der Brennebene von **O**. Zwischen **O** und **T** kann je ein teleskopisches System **W** angeordnet sein (Vergrößerungsfaktor  $g$ ), mit dem die Gesamtvergrößerung variiert wird.

Stereoskopisches Sehen erfordert einen bestimmten Winkel zwischen den beiden Sehachsen. Diese Konvergenz wird durch eine prismatische Wirkung am Objektiv erzeugt, das von beiden Strahlengängen außerhalb der Achse durchsetzt wird. Die von den Tubuslinsen **T** über nachfolgende drehbare Prismen entworfenen Zwischenbilder werden mit den Okularen **K** ( $f_3$ ) betrachtet.



Die angulare Gesamtvergrößerung  $G$  des Systems errechnet sich nach folgender Formel:

Abb. 4  
Prinzip-Strahlengang  
Teleskop-System

$$G = \frac{f_2}{f_1} \times g \times \frac{250 \text{ mm}}{f_3 \text{ (mm)}}$$

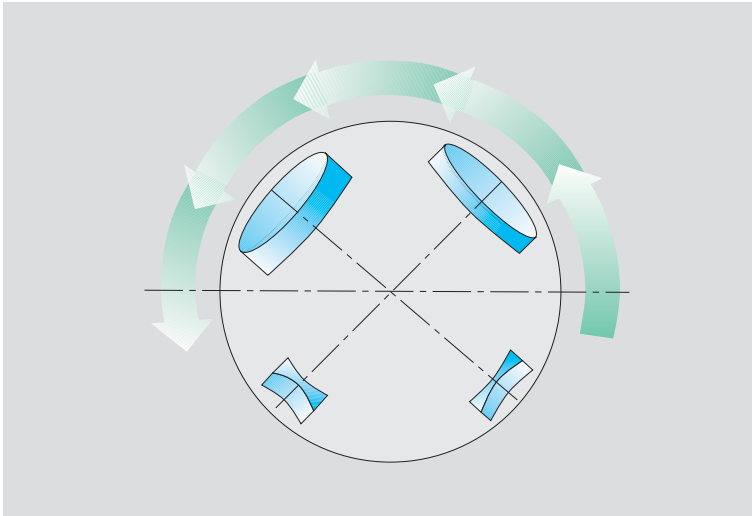


Abb. 5  
Galilei-System

Bei den Stereomikroskopen unserer Spaltlampen wird das folgende Geräteprinzip angewendet:

### Teleskopsystem

Galileisystem mit telezentrischem Strahlengang (Abb. 4).

Beide Strahlengänge haben ein gemeinsames Objektiv (Hauptobjektiv). Dieses projiziert das Bild des Objektes in das Unendliche, welches mit dem Stereotubus (Fernrohrpaar) betrachtet wird. Die Praxis der Spaltlampenbeobachtung erfordert Vergrößerungen zwischen 5x und 50x. Am häufigsten werden die Vergrößerungen 10x, 16x und 25x benutzt. Eine Variation der Mikroskopvergrößerung kann durch Auswechseln der Okulare erreicht werden. Eleganter und einfacher ist es jedoch, wenn zusätzlich variable optische Glieder vorhanden sind. Bei einer Änderung der Vergrößerung muss natürlich die Lage der Objektebene invariant sein. Eine bewährte Einrichtung für den Vergrößerungswechsel ist ein Galilei-Fernrohr. Hier sind in einer drehbaren Walze, deren Achse senkrecht zu den optischen Achsen steht, zwei schräg aufeinanderstehende kleine Galileische Fernrohre angebracht, die in beiden Richtungen benutzt werden können und somit vier verschiedene Vergrößerungen ergeben. Eine fünfte ergibt sich durch den freien Durchgang.

Die Vergrößerungswechsler der Spaltlampen SL 115 Classic, SL 120 und SL 130 basieren auf diesem Prinzip.

Der Binokulartubus dient als Einblick für die Spaltlampe und nimmt die Okulare auf. Gleichzeitig sichert er den definierten Abstand zwischen Okularen und dem Hauptobjektiv (=mechanische Tubuslänge).

In den vergangenen Jahren haben sich bei den Spaltlampen vor allem Stereomikroskope mit Teleskopsystem auf dem Markt durchgesetzt. Diese Stereomikroskope haben einen geraden Binokulartubus (Paralleltubus), der bei langem Arbeiten mit der Spaltlampe ein entspanntes, ermüdungsfreies Sehen durch das Gerät ermöglicht.

Für Untersuchungen, bei denen das Patientenaug abwechselnd mit bloßem Auge (akkommodiert!) und durch die Spaltlampe beobachtet wird, ist jedoch eine konvergente Strahlführung empfehlenswert (Konvergenztubus). Es besteht bekanntlich ein Zusammenhang zwischen der Entfernungseinstellung des Auges auf ein betrachtetes Objekt, also der Akkommodation, und der Konvergenz der Blicklinien beider Augen auf dieses Objekt.

Die Spaltlampen SL 120 und SL 130 werden üblicherweise mit einem Konvergenztubus  $f = 140$  mm geliefert, Paralleltuben sind als Zubehör verfügbar.

Neben der Vergrößerung interessieren den Benutzer eines Spaltlampenmikroskops im Allgemeinen noch folgende optische Größen:

- Auflösungsvermögen
- Helligkeit
- Schärfentiefe
- Stereowinkel bzw. -basis und
- Schnittweite

Das **Auflösungsvermögen** eines Mikroskops (kleinster zu trennender Abstand) wird bekanntlich durch dessen numerische Apertur bestimmt. Bei gegebener Apertur ist es sinnlos, die Mikroskop-



vergrößerung über einen bestimmten Wert, die sogenannte förderliche Vergrößerung, zu steigern, da hierbei keine Objektstrukturen, sondern nur noch die Beugungsfiguren vergrößert werden. Andererseits ist es aber auch nicht sinnvoll, bei gegebener Vergrößerung die Apertur über das bezeichnete Maß hinaus zu steigern, da dann die Auflösung durch die Sehschärfe und Pupillengröße des Beobachters bestimmt wird und außerdem die Optik schlecht ausgenutzt wäre. Die Austrittspupillen guter Spaltlampenmikroskope betragen je nach Vergrößerung 0,8 bis 2,7 mm.

Die **Schärfentiefe** ist besonders wichtig für die Handhabung der Spaltlampen. Die Schärfentiefe setzt sich aus drei Anteilen zusammen:

- Fokustiefe
- Akkommodationstiefe
- Auflösungstiefe

Die **Fokustiefe** ist dadurch gegeben, dass für das Auge ein kleinster auflösbarer Winkel existiert (Sehschärfenwinkel), demzufolge ein Blickpunkt und seine Zerstreuungskreise gleichscharf gesehen werden. Dagegen beruht die Akkommodationstiefe auf der Brechkraftveränderung des Systems Okular-Auge, wodurch der Ort größter Sehschärfe um die Okularebene verschoben werden kann. Die Auflösungstiefe resultiert aus der Lichtbeugung an der Mikroskopöffnung. Sie hat zur Folge, dass eine Objektdifferenzierung innerhalb des Tiefenbereichs nicht mehr möglich ist, deshalb hat sie ebenfalls den Charakter einer Schärfentiefe.

Wie bei der Beleuchtung ist festzustellen, dass die Forderung nach größter Helligkeit und größter Schärfentiefe miteinander konkurrieren. Die "hellere" Spaltlampe kann also, wenn ihre Helligkeit nicht auf der Helligkeit der Beleuchtung beruht, den gravierenden Nachteil geringerer Schärfentiefe haben. Die Aperturen guter Spaltlampenmikroskope liegen nahe 0,05 bei mittlerer Vergrößerung, bei den neuen Spaltlampen zwischen 0,05 und 0,08.

Stereoskopisches Sehen ist die Grundlage der Spaltlampenmikroskopie. Dem Verlangen, den **Stereowinkel** möglichst groß zu machen, steht allerdings die Forderung entgegen, durch begrenzte Öffnungen (Pupille, Kontaktglasspiegel) zu sehen (siehe auch Abschnitt 3.6 "Fundusbetrachtung und Gonioskopie"). Gute Spaltlampenmikroskope arbeiten deshalb mit einem Stereowinkel zwischen  $10^\circ$  und  $15^\circ$ . Die Spaltlampen SL 120 und SL 130 haben einen Stereowinkel von  $12,5^\circ$  und die Spaltlampe SL 115 Classic arbeitet mit einem Stereowinkel von  $10^\circ$ .

Von den Konstruktionsdaten des Spaltlampenmikroskops ist weiterhin die **Schnittweite** von besonderem Interesse. Darunter ist der Abstand der Objektebene von der vorderen Linsenfläche des Mikroskops zu verstehen. Die Schnittweite muss eine gewisse Mindestgröße haben, um dem Arzt Arbeitsraum zu geben. Ist sie jedoch zu groß, werden die Manipulationen am Auge erschwert, da eine unbequeme Armhaltung nötig wird. Weiterhin sinkt bei gegebener Objektöffnung die Apertur und damit die Helligkeit des Gerätes. Die Schnittweite der Spaltlampe sollte zwischen 90 mm und 120 mm liegen. Bei den Spaltlampen SL 120 und SL 130 beträgt der Wert ca. 106 mm und bei der Spaltlampe SL 115 Classic ca. 118 mm.

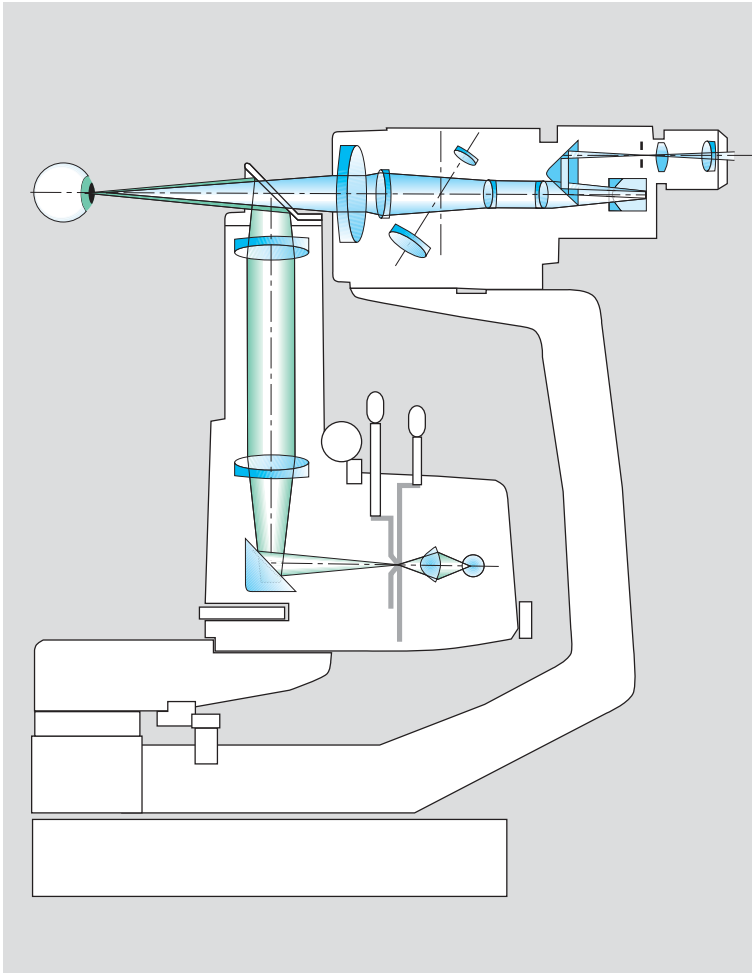


Abb. 6  
Strahlengang der  
Spaltlampe SL120

### 2.3 Gerätemechanik

Die Gerätemechanik der heutigen Spaltlampen ist das Produkt einer mehr als 80-jährigen Entwicklung und stellt einen gewachsenen Kompromiss zwischen dem Verlangen nach bequemer Bedienung und universeller Funktion dar.

Die funktionelle Verknüpfung von Beleuchtungseinrichtung und Stereomikroskop über die Gerätemechanik zeigt Abb. 6. Die Beleuchtungsgruppe wie auch das Mikroskop sind unabhängig voneinander um eine gemeinsame vertikale Achse schwenkbar. Sie ist die virtuelle Verlängerung einer mechanischen Geräteachse und Lagerung, die sich unterhalb des

Patientenauges befindet. In die Achsenebene wird normalerweise der Spalt scharf abgebildet und kann dort mit dem Mikroskop auch scharf gesehen werden. Bei der Untersuchung wird diese Drehachse an den Ort des zu untersuchenden Objektes gebracht. Dies geschieht mit Hilfe einer mechanischen Instrumentenbasis, die eine Kreuzschlittenführung enthält und auf der die mechanische Trägerachse von Beleuchtungseinrichtung und Mikroskop befestigt ist. Die Bewegung der Basis in der horizontalen Ebene erfolgt mit einem einzigen Bedienelement, dem Steuerknüppel. Die Gerätebasis enthält weiterhin eine Einrichtung zur Höhenverstellung, wodurch Spalt und Achse der Beobachtung vertikal verschoben werden können. Die Bedienung dieser Höhenverstellung ist bei Spaltlampen üblicherweise ebenfalls in den Steuerknüppel integriert und wird durch eine Drehung betätigt. Der Anwender kann also mit Hilfe des Steuerknüppels eine Anpassung des Gerätes an das Beobachtungsobjekt in allen drei Raumkoordinaten vornehmen (3-Koordinatensteuerhebel).

Bei den modernen Spaltlampen lässt sich die Beleuchtungseinrichtung nicht nur vor dem Stereomikroskop durchschwenken. Es gibt auch eine gerastete Mittenstellung, in der sich das Beleuchtungsprisma zwischen den beiden Mikroskop Strahlengängen befindet. Dieses Prisma ist so schmal gestaltet, dass ein stereoskopisches Vorbeisehen mit dem Mikroskop möglich ist.

Darüberhinaus gibt es eine Reihe anderer wichtiger mechanischer Gerätefunktionen:

- a) Das normalerweise senkrechte Spaltbild lässt sich kontinuierlich um  $\pm 90^\circ$  drehen und liegt dann horizontal.
- b) Für den horizontalen Spalt lässt sich die Einstrahlrichtung der Spaltbeleuchtung so verändern, dass zwischen Mikroskop- und Spaltbeleuchtungsachse ein bestimmter Winkel besteht. Bei einigen Geräten erfolgt dies z.B. durch ein Schwenkprisma

(15° von unten). Andere Geräte, z.B. die Spallampen SL 120 und SL 130 haben einen höhenbeweglichen Prismenkopf (einstellbar zwischen 0° und 20°). Diese Einstellung ist günstig bei Untersuchungen mit Spiegelkontaktgläsern.

- c) Zur Beobachtung im regredienten Licht kann der Prismenkopf aus der Mittenrast nach rechts oder links gedreht werden. Dabei wandert auch das Spaltbild seitlich aus.

Wie bereits erwähnt, haben fast alle Spallampentypen die gemeinsame mechanische Schwenkachse. Die einzelnen Fabrikate unterscheiden sich lediglich dadurch, dass der Beleuchtungsstrahlengang unterhalb oder oberhalb des Mikroskopkörpers angeordnet ist, oder dass der Beleuchtungsstrahlengang durch Prismen oder Spiegel ein- oder zweimal geknickt wird.

Zwei interessante Sonderformen:

- Die Handspallampe als mobiles Handgerät ermöglicht Spallampenuntersuchungen am sitzenden oder liegenden Patienten, auch außerhalb der ophthalmologischen Praxis (Abb. 10, Seite 11)
- Die Stativ- oder Operationsspallampe als Kombination eines Operationsmikroskops mit einer durchschwenkbaren Spaltbeleuchtungseinrichtung zur Untersuchung und Behandlung von liegenden Patienten. Auf Grund dieser Konzeption gibt es bei diesem Gerät auch keine reale Schwenkachse der Beleuchtung, sondern eine mechanische Kreisbogenführung mit virtueller Achse.

## 2.4 Geräteelektrik

Spallampen benötigen normalerweise an elektrischen Einrichtungen lediglich eine Niederspannungsquelle (Netzanschlussgerät) zur Versorgung der Niedervolt-Glühlampe bzw. der moderneren und helleren Halogenlampe.

Vorteilhaft dazu ist eine Einrichtung, mit deren Hilfe die Lampenspannung innerhalb eines gewissen Bereiches eingestellt werden kann. So ist es möglich, die Beleuchtungsstärke den jeweiligen Erfordernissen der Untersuchung anzupassen.

## 2.5 Das Spallampenprogramm von Carl Zeiss

Die Spallampen von Carl Zeiss zeichnen sich durch hervorragende Leistungsmerkmale aus. Die optische Transmission des Beobachtungssystems ist äußerst hoch. Dadurch ergeben sich nur minimale Lichtverluste bei der Beobachtung und Dokumentation, was eine Reduzierung der Lichtbelastung des Patienten zur Folge hat. Durch eine hohe Auflösung werden auch feinste Strukturen mit hohem Kontrast sichtbar. Der Stereowinkel von 12,5° bietet eine sehr gute räumliche Differenzierung von Details in der Tiefe für eine sichere Diagnose.

Okulare mit einer weit außerhalb der optischen Flächen gelegenen Austrittspupille, (Super high eyepoint-Okulare) ermöglichen auch Brillenträgern das Arbeiten mit den Spallampen, ohne Einschränkung. Einen praxisnahen Bedienkomfort garantiert der Einhandsteuerhebel zur schnellen und präzisen Positionierung der Instrumentenbasis in allen 3 Koordinaten sowie griffgünstige Elemente für ein feinfühliges Einstellen des Spaltbildes. Bis ins letzte Detail durchdacht, bieten die Spallampen von Carl Zeiss dem Anwender die besten Voraussetzungen für eine fundierte Diagnose.



Abb. 7  
Spaltlampe SL 115 Classic

### Die Spaltlampe SL 115 Classic

ist das praxisorientierte Routinegerät für Untersuchungen und Messungen am Auge. Der integrierte Gelbfilter und die Spaltbildlänge von 14 mm liefern beste Voraussetzungen für die Kontaktlinsenanpassung. Der Vergrößerungswechsler bietet die Vergrößerungsstufen 8x, 12x und 20x. Durch das praktische Plug-and-play-Prinzip - die Spaltlampe wird bereits komplett montiert geliefert - entsteht kaum Installationsaufwand. Die Spaltlampe SL 115 Classic lässt sich selbstverständlich mit einer kompakten Videokamera nachrüsten.



Abb. 8  
Spaltlampe SL 120

### Die Spaltlampe SL 120

ist das leistungsstarke Universalgerät mit 5stufigem Vergrößerungswechsler. In Kombination mit Okularen 10x ist die Vergrößerung von 5x bis 32x einstellbar. Zum Lieferumfang gehört der Konvergenztubus  $f = 140$  mm, der Paralleltubus  $f = 140$  mm ist optional lieferbar. Das Spaltbild lässt sich in der Breite von 0 - 14 mm kontinuierlich progressiv variieren. Die Spaltbildlänge kann von 1 - 6 mm kontinuierlich progressiv und in Stufen von 0,5; 3,5; 8 und 14 mm eingestellt werden.



Abb. 9  
Spaltlampe SL 130

### Die Spaltlampe SL 130

ist ein universelles Diagnosegerät und bietet ein vielfältiges Ausbauprogramm zum Messen und Dokumentieren.

Die Spaltlampe unterscheidet sich von den vorher beschriebenen Modellen durch andere Bedienung der Spaltfunktionen. Die Spalteinstellungen lassen sich auch bei Mittelstellung der Spaltbeleuchtungseinrichtung von rechts nach links vornehmen. Dies ermöglicht ein effizientes und feinfühliges Arbeiten insbesondere beim Einsatz der Spaltlampe zur Laserbehandlung.

Der Einsatzbereich dieser Spaltlampen erstreckt sich also vom vorderen Augenabschnitt über den Glaskörper bis zum Augenhintergrund.



Abb.10  
Handspaltlampe HSO 10

### Die Handspaltlampe HSO 10

rundet als mobiles Gerät dieses Programm ab. Sie ist die ideale Geräte-Kombination einer binokularen Spaltlampe und einer Ophthalmoskopierleuchte für die nichtstationäre Untersuchung der vorderen und hinteren Augenabschnitte am sitzenden oder liegenden Patienten. Eine Besonderheit ist die beidseitige, klemmbare Kreisbogenführung, die eine echte und bequeme Einhandbedienung des Gerätes ermöglicht. Ein aufladbarer Akku unterstützt die Mobilität dieser Handspaltlampe HSO 10.

## Geräteinformationen

### Zeiss Spaltlampen im Detail

#### Spaltlampe SL 115 Classic

Vergößerungen	8x, 12x, 20x
Sehfelddurchmesser	25 mm - 10 mm
Okularvergrößerung	Okulare 10x mit High eyepoint, Ametropieausgleich $\pm 8$ dpt.
Spaltbildbreite	kontinuierlich progressiv 0 - 14 mm
Spaltbildlänge	in Stufen 0,5 / 3,5 / 8 / 14 mm kontinuierlich 1 - 14 mm
Spaltbilddrehung	kontinuierlich $\pm 90^\circ$
Spaltbilddezentrierung	variabel, Raststellung bei $0^\circ$
Schwenkbereich des Spaltprojektors	$180^\circ$ , Winkelskala für Differenzwinkel, Raststellung bei $0^\circ$
Einstrahlwinkel	$0^\circ$ horizontal
Filter	blau, grün (rotfrei) und Mattscheibe einschwenkbar; Sperrfilter (gelb) einschwenkbar; UV-Schutzfilter, Wärmeschutzfilter
Freier Abstand	73 mm
Austrittsprisma-Patientenauge	
Verstellung Instrumentenbasis	Höhe 30 mm; Seite 110 mm; Tiefe 90 mm
Höhenverstellbereich der Kopfstütze	58 mm
Beleuchtung	Halogenlampe 6 V 10 W
Helligkeit	stufenlos regelbar
Netzanschluss	100 V bis 240 V $\pm 10\%$ selbstanpassend, 50 - 60 Hz
Masse	Grundgerät 9,75 kg; Kopfstütze 1,25 kg

#### Spaltlampe SL 120

Vergößerungen	5x, 8x, 12x, 20x, 32x (6x, 10x, 16x, 25x, 40x bei optionalen Okularen 12,5x)
Sehfelddurchmesser	40 mm - 6 mm
Okularvergrößerung	Okulare 10x mit Super high eyepoint, Ametropieausgleich $\pm 8$ dpt.
Spaltbildbreite	kontinuierlich progressiv 0 - 14 mm
Spaltbildlänge	in Stufen 0,5 / 3,5 / 8 / 14 mm kontinuierlich 1 - 6 mm
Spaltbilddrehung	kontinuierlich $\pm 90^\circ$ , Winkelskala Tabo
Spaltbilddezentrierung	$\pm 4^\circ$ horizontal, Raststellung bei $0^\circ$
Schwenkbereich des Spaltprojektors	$180^\circ$ , Winkelskala für Differenzwinkel
Einstrahlwinkel	$0^\circ$ - $20^\circ$ mit absenkbarem Prismenkopf (optional)
Filter	blau, grün (rotfrei) und Mattscheibe einschwenkbar; Wärmeschutzfilter
Freier Abstand	60 mm
Austrittsprisma-Patientenauge	
Verstellung Instrumentenbasis	Höhe 30 mm; Seite 110 mm; Tiefe 90 mm
Höhenverstellbereich der Kopfstütze	60 mm
Beleuchtung	Halogenlampe 6 V 20 W
Helligkeit	stufenlos regelbar
Netzanschluss	100 V bis 240 V $\pm 10\%$ selbstanpassend, 50 - 60 Hz
Masse	Grundgerät 9,25 kg; Kopfstütze 1,25 kg

## Spaltlampe SL 130

Vergrößerungen	5x, 8x, 12x, 20x, 32x (6x, 10x, 16x, 25x, 40x bei optionalen Okularen 12,5x)
Sehfelddurchmesser	40 mm - 6 mm
Okularvergrößerung	Okulare 10x mit Super high eyepoint, Ametropieausgleich $\pm 8$ dpt.
Spaltbildbreite	kontinuierlich progressiv 0 - 14 mm
Spaltbildlänge	in Stufen 0,3 / 2,5 / 3,5 / 7 / 10 / 14 mm; Dreifachspalt
Spaltbilddrehung	kontinuierlich $\pm 90^\circ$
Spaltbilddезentrierung	$\pm 4^\circ$ horizontal, Raststellung bei $0^\circ$
Schwenkbereich des Spaltprojektors	$180^\circ$ , Winkelskala für Differenzwinkel
Einstrahlwinkel	$0^\circ - 20^\circ$ absenkbar
Filter	blau, grün (rotfrei), grau (neutral) und Mattscheibe einschwenkbar; Wärmeschutzfilter
Freier Abstand	66 mm
Austrittsprisma-Patientenaug	
Verstellung Instrumentenbasis	Höhe 30 mm; Seite 110 mm; Tiefe 90 mm
Höhenverstellbereich der Kopfstütze	60 mm
Beleuchtung	Halogenlampe 6 V 20 W
Helligkeit	stufenlos regelbar
Netzanschluss	100 V bis 240 V $\pm 10\%$ selbstanpassend, 50 - 60 Hz
Masse	Grundgerät 9,85 kg; Kopfstütze 1,25 kg

## Handspaltlampe HSO 10

Mikroskop	Binokularer Geradtubus $f = 80$ mm mit Pupillendistanzanzeige 50 - 75 mm
Brillenträgerokular (fest montiert)	$f = 13$ mm mit Ametropieausgleich +8 bis -4 dpt
Objektiv	$f = 125$ mm
Spaltbreite	in Stufen 0,15 mm und 0,75 mm
Spalthöhekontinuierlich	2 - 12 mm
Einstrahlwinkel	$0 - 30^\circ$ wahlweise rechts oder links, klemmbar
Gesamtgewicht	850 g (ohne Akku)
Behälter	tragbarer Koffer
Netzanschluss für Ladegerät	110 V, 220 V; 50 - 60 Hz

## 3. Untersuchungsmethoden - Beleuchtungsarten.

Die Biomikroskopie am lebenden Auge gehört zu den ophthalmologischen Routineuntersuchungen. Die Spaltlampe gibt dem Untersucher die Möglichkeit, einzelne Augenabschnitte in schneller zeitlicher Folge zu inspizieren, aus den optischen Teilbildern einen Gesamteindruck zu gewinnen und die Diagnose zu stellen.

Bei einer Spaltlampe ist die Spaltbeleuchtung im optischen Schnitt die wichtigste Beleuchtungsart, alle anderen Methoden sind Sonderformen.

Für die Übersichtsuntersuchung der vorderen Augenabschnitte wird der Spalt auf volle Öffnung gestellt, so daß sich ein rundes, sehr helles und gleichmäßig ausgeleuchtetes Feld ergibt, das jedoch etwas kleiner ist als das Mikroskopgesichtsfeld. Mit einem vorschaltbaren Mattglas kann man aber das gesamte Gesichtsfeld ausleuchten.

Die Struktur transparenter Objekte wie Hornhaut, Vorderkammer, Augenlinse, Glaskörper wird bekanntlich im Durch- und Auflicht nur sehr unvollkommen erkannt, da die relative Amplitudenmodulation des Lichtes zu gering ist und die Phasenmodulation vom Auge nicht wahrgenommen wird. Solche Objekte lassen sich aber meist gut im Streulicht oder im Fluoreszenzlicht beobachten.

Die grundlegenden Untersuchungsmethoden kann man nach den folgenden Beleuchtungsarten einteilen.

### 3.1 Beobachtung im optischen Schnitt

Die Beobachtung im optischen Schnitt oder direkte fokale Beleuchtung (Abb.11) ist die häufigste Untersuchungsmethode mit der Spaltlampe. Dabei schneiden sich die Achsen von Beleuchtungs- und Beobachtungsstrahlengang in dem zu untersuchenden Bezirk der vorderen Augenmedien, z.B. den einzelnen cornealen Schichten.

Der Winkel zwischen Beleuchtung und Beobachtung ist möglichst groß (bis zu 90°) zu wählen.

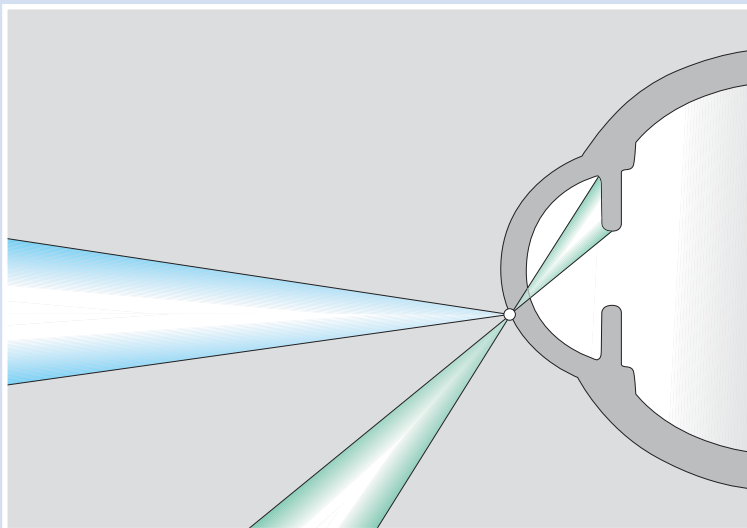


Abb. 11  
Direkte fokale Beleuchtung



Die Spaltlänge sollte zur Herabsetzung der Blendung des Patienten Auges gering gehalten werden. Der Beleuchtungsstrahlengang hat bei geringer Spaltbreite (etwa 0,1 mm bis 0,2 mm) und hinreichend kleinem Öffnungswinkel die Form zweier, mit den Schneiden aneinandergelagerter Messer. Nur in diesem "optischen Schnitt" tritt Streulicht auf, das je nach Objektstruktur mehr oder weniger intensiv ist. Die Intensität des gestreuten Lichtes wächst mit der Spaltbeleuchtungsstärke sowie dem Anteil des enthaltenen kurzwelligeren Lichtes, d.h. der Farbtemperatur der Lichtquelle.

Für eine gute Beobachtung mit der Spaltlampe ist es deshalb sehr wichtig, dass die Lichtquelle genügend kurzwelliges Licht (möglichst hoher Blauanteil) liefert. Die Farbtemperatur der Lampe sollte also ziemlich hoch sein; moderne Halogenlampen entsprechen dieser Forderung.

Der optische Schnitt ermöglicht in Verbindung mit dem Stereomikroskop eine sehr gute Tiefenlokalisierung von Objekten und macht die Grenzflächenformung zwischen transparenten Medien besonders deutlich. Bei geringer Spaltbreite sind die Bilder von Spalt und Objekt bei klaren Medien gleichzeitig scharf. Spaltbreite und Vergrößerung können je nach gewünschter Detailerkennbarkeit variiert werden. Man erhält brillante optische Schnittbilder durch die vorderen Augenabschnitte bis zur Rückfläche der Linse.

Bei engem Spalt ist die Tiefenlage verschiedener Gebilde (z.B. Eindringtiefe von Fremdkörpern, Augenslinsenform) leichter aufzulösen. Im breiteren Spalt kann ihre Ausdehnung und Form besser gesehen werden (z.B. Tiefenausdehnung bei Verletzungen). Es ist deshalb nützlich, die Spaltbreite während der Untersuchung zu verändern.

Der optische Schnitt an der Hornhaut liefert ein leuchtendes prismatisches Gewebestück. Die Cornealepithelschicht ist nur im ganz schmalen, genau fokussierten Schnitt als dünner, blauer Streifen scharf vor dem Beginn des Parenchyms zu sehen. Unter-

suchungen der Vorderkammer werden dagegen mit breitem Spalt durchgeführt. Mit schwacher Vergrößerung ist der Tyndall-Streifen (Tyndall-Phänomen im Kammerwasser) vor der dunklen Pupille zu sehen. Zellen im Kammerwasser lassen sich dagegen nur bei stärkerer Vergrößerung erkennen.

Wichtig ist immer, dass der Hintergrund, vor dem beobachtet wird, so dunkel wie möglich bleibt.

Ein für den optischen Schnitt vorzüglich geeignetes Objekt ist die Linse. Mit engem Spalt kann man die Diskontinuitätszonen sichtbar machen. Zur Untersuchung der vorderen Glaskörperabschnitte ist es empfehlenswert, die Spaltlänge möglichst gering einzustellen, damit sowohl der Untersuchte als auch der Untersucher nicht geblendet werden. Bei diesen Untersuchungen muss die Spaltbeleuchtungsstärke groß sein.

Die Gerätekonstruktion der Spaltlampe bietet optimale Voraussetzungen für die Beobachtung im optischen Schnitt. Da Mikroskop und Beleuchtungseinrichtung mechanisch gekoppelt sind, befindet sich das Spaltbild stets in der Schärfenebene und Gesichtsfeldmitte des Mikroskops und zwar unabhängig von der Fokussierung und der gewählten Vergrößerung. Die Praxis hat gezeigt, dass diese Beziehung, wenn sie in Luft gilt, mit ausreichender Genauigkeit auch in den brechenden Medien gilt, wenn der Beobachter die korrekte Dioptrien-einstellung an den Okularen vorgenommen hat.

Der optische Schnitt lässt sich um den Spalt als Achse schwenken. Der Spalt selbst kann vertikal oder horizontal eingestellt werden. Die horizontale Lage des Spalts ist bei der Untersuchung im optischen Schnitt aber die Ausnahme, vor allem auch, weil für den horizontalen Spalt das stereoskopische Sehen eingeschränkt ist. Der Grund dafür ist, dass der Spalt nicht mehr senkrecht auf der Ebene steht, welche die Sehachsen des Mikroskops enthält und in der die Querdispersionen des Beobachters liegen.

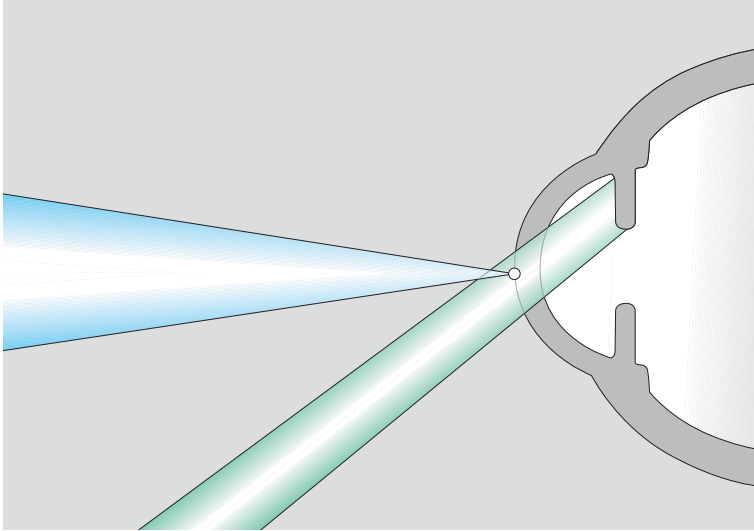


Abb. 12  
Direkte diffuse Beleuchtung

#### Haupteinsatzgebiete

- Beleuchtungsmethoden für Details, die bei der Betrachtung mit der diffusen Beleuchtung aufgefallen sind, aber nicht genau beobachtet werden konnten, besonders für die Beurteilung von Trübungen, Narben, Nerven, Gefäßen usw.
- Große Bedeutung hat die Beobachtung im optischen Schnitt auch bei der Festlegung der Stabilisierungsachse von torischen Kontaktlinsen (in Verbindung mit einem Messokular oder entsprechend schräggestelltem Spalt).
- Besonders schön sind auch Schnitte durch die Augenlinse, Kapsel, Rinde, Linsenstern und Trübungen sind dabei ohne größere Schwierigkeiten zu betrachten.

#### Empfehlenswerte Einstellungen Beleuchtung

- enger Spalt
- Winkel der Spaltbeleuchtungseinrichtung  $0^\circ - 45^\circ$  (für Aufricht-Hellfeld-Beleuchtung)
- Winkel der Spaltbeleuchtungseinrichtung  $45^\circ - 90^\circ$  (für Aufricht-Dunkelfeld-Beleuchtung)

#### Für direkte fokale Beleuchtung mit breitem Spalt

- Spaltbreite:  $> 0,5 \text{ mm}$
- Vergrößerung: ca.  $V =$  zwischen 20x und 32x  
ggfs. größer

Beobachtung von Details, z.B. von Stromaschlieren.

#### Für direkte fokale Beleuchtung mit schmalen Spalt

- Spaltbreite:  $0,1 - 0,3 \text{ mm}$
- Vergrößerung: maximal

Ideale Beleuchtung um für kleinste Details genügend Kontrast und wenig Überstrahlung zu haben. Es macht sich jedoch der Schärfentiefeverlust durch die Verwölbung der Hornhaut störend bemerkbar. In der Bildmitte ist dieser Effekt nicht gravierend. Auch bei der Betrachtung des Hornhautprofils ist der schmale Spalt zu verwenden.

### 3.2 Direkte diffuse Beleuchtung

Vorhandene Medientrübungen, besonders der Cornea, lassen in Abhängigkeit von deren Durchlässigkeit, oft kein optisches Schnittbild zu. In diesen Fällen kann man vorteilhaft mit direkter diffuser Beleuchtung (Abb.12) arbeiten. Dazu wird der Spalt ganz weit geöffnet und durch Vorschalten oder Einschwenken einer Matt- bzw. Streuscheibe (Diffusor) wird eine diffuse, abgeschwächte Übersichtsbeleuchtung erzeugt.

#### Haupteinsatzgebiete

Diese Beleuchtungsart wird eingesetzt für:

- die allgemeine Übersichtsbetrachtung der vorderen Augenabschnitte
- die allgemeine Betrachtung von Linsen- und Hornhautoberfläche
- die Beurteilung des Tränenreflexes
- die Beurteilung von weichen Kontaktlinsen

#### Empfehlenswerte Einstellungen

##### Beleuchtung

- volle Spaltöffnung (Kreisblende)
- mit Streulichtscheibe (Diffusor)
- Stellung des Mikroskops bei  $0^\circ$
- Winkel der Spaltbeleuchtungseinrichtung ca.  $30^\circ - 50^\circ$

##### Vergrößerung

- $V = 5x - 12x$  (für Gesamtübersicht eher geringer)
- $V = > 30x$  (Beurteilung des Tränenfilms)

### 3.3 Indirekte Beleuchtung

Hiermit dringt das Licht bei engem bis mittlerem Spalt (2 - 4 mm) neben dem zu untersuchenden Areal ins Auge ein. Die Achsen von Beleuchtungs- und Beobachtungsstrahlengang schneiden sich nicht an der Stelle der scharfen Abbildung. Das Beleuchtungsprisma wird um seine vertikale Achse aus der Normallage (Raststellung) leicht herausgeschwenkt. Dabei hellt reflektiertes, indirektes Licht das zu untersuchende Gebiet von Vorderkammer oder Cornea auf (Abb. 13). Das so beobachtete Hornhautareal liegt also zwischen dem einfallenden Lichtschnitt durch die Hornhaut und dem angestrahlten Teil der Iris. Die Beobachtung erfolgt daher vor einem relativ dunklen Hintergrund.

#### Haupteinsatzgebiet

- Untersuchung von Objekten, die in unmittelbarer Nachbarschaft von Hauptbereichen mit verminderter Transparenz liegen (z.B. Infiltrate, Hornhautnarben, Ablagerungen, Epithel- oder Stromadefekte)

#### Beleuchtung

- enger bis mittlerer Spalt
- Spalt dezentriert

#### Vergrößerung

ca.  $V = 12x$  (je nach Objektbeschaffenheit)

### 3.4 Regrediente Beleuchtung

Es gibt Situationen, wo die Beleuchtung im optischen Schnitt unergiebig oder unmöglich wird. Dies ist z.B. der Fall, wenn die Augenmedien in größeren, flächenhaften Zonen oder räumlichen Bereichen getrübt sind. Dann tritt eine Absorption des ohnehin nicht intensiven Streulichts auf. Eine vergleichbare Situation entsteht, wenn Gebiete jenseits der Linse beobachtet werden sollen. Hier muss das Beobachtungslicht zahlreiche Grenzflächen passieren, an denen Reflexe und Lichtschwächungen auftreten können.

In solchen Fällen bewährt sich meist die regrediente Beleuchtung (Abb. 14). Ähnlich wie in der konventio-

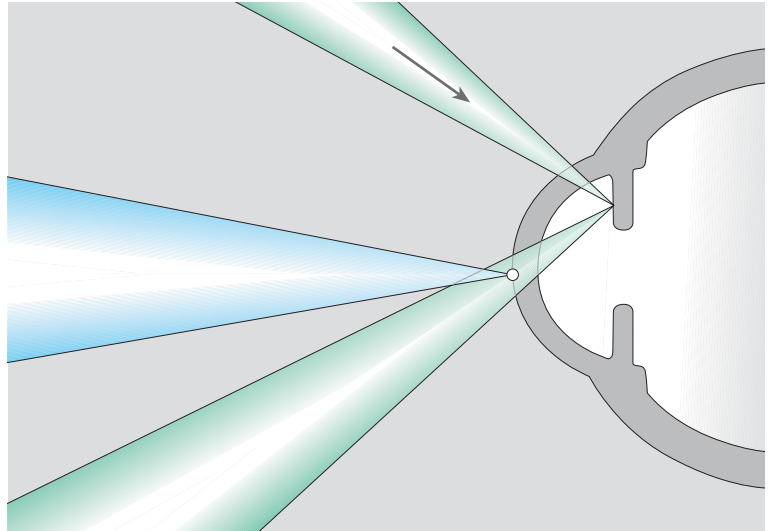


Abb. 13  
Indirekte Beleuchtung

nellen Hellfeldmikroskopie wird dabei im Durchlicht beobachtet, wobei die Objektstruktur durch Absorptionsunterschiede erkannt wird. Für Durchlicht ist eine jenseits des Objekts befindliche Lichtquelle erforderlich. Bei der regredienten Beleuchtung wird sie durch Einstrahlung sekundär erzeugt. Dabei unterscheidet man zwischen direkter regredienter Beleuchtung (Direktreflexion an Flächen, z.B. der Iris, der Linse oder des Fundus) und indirekter (Diffusreflexion im Medium, d.h. an allen streuenden Medien und Flächen im Bereich des vorderen und hinteren Auges).

Für die Einstellung der regredienten Beleuchtung haben fast alle Spaltlampen die Möglichkeit der Dezentrierung des Spalts in horizontaler Richtung. Damit ist es möglich, den Spalt, der sich bei fokaler Beleuchtung in der Gesichtsfeldmitte befindet, seitlich zu verschieben. Das Spaltbild wird dabei also nach rechts und links aus dem Gesichtsfeld geschwenkt. Die Beleuchtung strahlt am zu beobachtenden Objekt vorbei auf den Hintergrund.

Regredientes Licht von der Iris lässt sich zur Sichtbarmachung von Hornhautbetauung, Hornhauttrübung und Fremdkörpern verwenden. Da die Rückstrahlung von der Iris ziemlich stark ist, wird der Spalt nicht allzuweit geöffnet. Objekte in der Linse erhalten

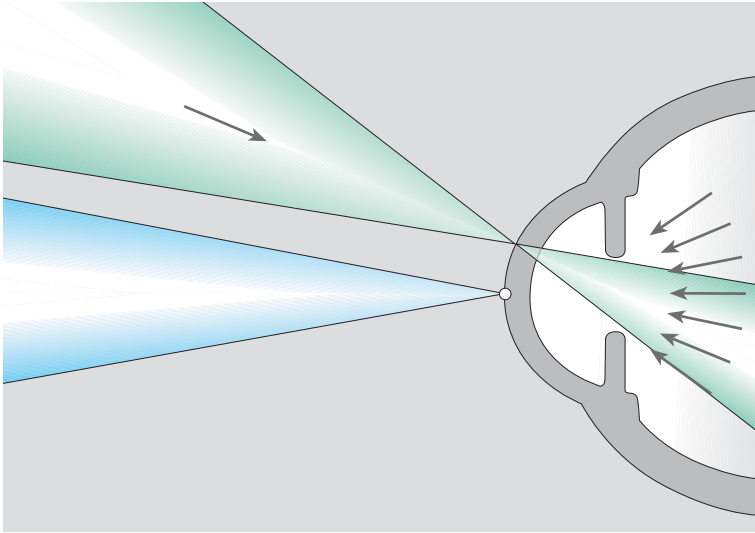


Abb. 14  
Indirekte regrediente  
Beleuchtung

ihr regredientes Licht entweder vom Reflex der hinteren Linsenoberfläche oder vom Fundus. Zur Ausnutzung des Funduslichtes muss der Winkel zwischen Beleuchtung und Beobachtung sehr klein und die Durchtrittsfläche des Beleuchtungsbüschels möglichst weit vom zu beobachtenden Objekt entfernt sein, damit das Streulicht der benachbarten Partien nicht stört. So lassen sich Pigmentierungen, Vakuolen und Wasserspeichen der Linse sehr schön darstellen. Auch für die Untersuchung der Irisstruktur ist die indirekte Beleuchtungsart wichtig.

Soll zur Darstellung von Pigmentblattdefekten der Iris das Streulicht der Linse genutzt werden, so muss das Beleuchtungsbüschel des weit geöffneten Spaltes unter großem Winkel gegen die Beobachtungsrichtung durch die Pupille geschickt werden, ohne dass die Iris selbst gestreift wird.

#### **Einstellung der direkten regredienten Beleuchtung** **Iris-Reflex** (Untersuchung im Gelbfeld)

Man stellt am Anfang wieder die direkte fokale Beleuchtung ein. Anschließend wird die Spaltbeleuchtungseinrichtung so weit zur Seite (temporal) geschwenkt, bis das von der Iris reflektierte Licht das Beobachtungsobjekt von hinten, also durch die Cornea hindurch, erhellt. Wenn das Mikroskop nun in der

Ausgangsposition der direkten fokalen Beleuchtung (ca. 90° zum Patientenauge) bleibt, dann entspricht diese "Gelbfeldbeleuchtung" der **Durchlicht-Dunkelfeldbeleuchtung** in der normalen Mikroskopie. Ist dabei die Pupille der Beobachtungshintergrund, dann sind mit dieser Beleuchtungsart besonders gut Mikrozysten und Vakuolen zu erkennen.

Wird nun der Winkel zwischen Beleuchtung und Beobachtung vergrößert, das Mikroskop also nach nasal geschwenkt, dann entspricht dies einer Untersuchung im Durchlicht-Hellfeld mit dem Mikroskop.

Spaltbreite: 1 – 2 mm

Vergrößerung: mittel - maximal

#### **Beobachtung von**

Vascularisationen, Mikrozysten, Vakuolen, Ödemen, Partikeln im Tränenfilm, Fließgeschwindigkeit des Tränenfilme, Descemetfalten.

#### **Linsen-Reflex** (Untersuchung im Weißfeld)

Das grau-weiß reflektierte Licht von der Linsenvorderfläche gibt dieser Beleuchtungsart den Namen.

#### **Beobachtung von**

oberflächlichen Hornhautdefekten, Narben, Partikeln im Tränenfilm.

#### **Retina-Reflex** (Untersuchung im Rotfeld)

Beleuchtungseinrichtung und Beobachtungsachse sind auf 0° eingestellt. Ähnlich wie bei der Skiaskopie tritt nun ein rötlicher Hornhautreflex auf, der aber nicht so hell ist. Dieser Reflex erinnert an die sogenannten "roten Augen" bei der Blitzfotografie. Bei dieser "Rotfeldbeleuchtung" sollte jedoch die Pupille stark erweitert werden. Bei normaler Pupillengröße ist mit dem relativ kleinen Gesichtsfeld kaum zu arbeiten. Die Farbe des Reflexes kann auch ins Gelbe "wandern", wenn Licht von der Papille reflektiert wird.

#### **Beobachtung von**

oberflächlichen Hornhautdefekten, Narben, Partikeln im Tränenfilm, Distrophien, Katarakt im neutralen Hornhautbereich.

### 3.5 Streuende sklero-corneale Beleuchtung

Bei dieser Beleuchtungsart wird ein breites Lichtbündel unter einem extrem flachen Eintrittswinkel und bei seitlich verdrehtem Beleuchtungsprisma so auf die Limbusregion der Hornhaut gerichtet, daß es nach dem Prinzip der Totalreflexion die cornealen Parenchymschichten durchläuft und die Grenzschichten der Hornhaut hell aufleuchten lässt (Abb. 15). Die Vergrößerung wird so gewählt, daß die gesamte Hornhaut gut überblickt werden kann. Die Spaltbeleuchtungseinrichtung wird temporal auf die Skleraregion, direkt neben dem Limbus, gerichtet.

Die Cornea ist im physiologischen Zustand völlig transparent, sie erscheint völlig klar. Die Exzentrizität des Lichtes ist dann richtig eingestellt, wenn um den gesamten Limbus herum ein hell leuchtender Ring sichtbar ist.

Bei Unregelmäßigkeiten in der Struktur, wie z.B. bei Einlagerungen, Narben, Trübungen, Fremdkörpern usw. entsteht eine gewisse Lichtstreuung, so dass die störenden Objekte, also auch schwache Ödeme, kleine Narben und feinste Trübungen durch Aufleuchten oder Schattenbildung zu lokalisieren sind.

- Spaltbreite: > 0,5 mm
- Vergrößerung: mittel
- Beleuchtung: maximal

### 3.6 Fundusbetrachtung und Gonioskopie mit der Spaltlampe

Die Fundusbetrachtung ist von der Ophthalmoskopie und dem Umgang mit der Funduskamera her bekannt. Mit der Spaltlampe ist jedoch eine direkte Beobachtung des Fundus wegen der Brechkraft der Augenmedien nicht möglich. Anders ausgedrückt: Der Fernpunkt des Auges liegt dann in so großem Abstand vor (bei Myopie) oder hinter (bei Hyperopie) dem Auge, dass die Schärfenebene des Mikroskops nicht an den gleichen Ort gebracht werden kann. Nur durch Anwendung einer zusätzlichen Optik, im allgemeinen

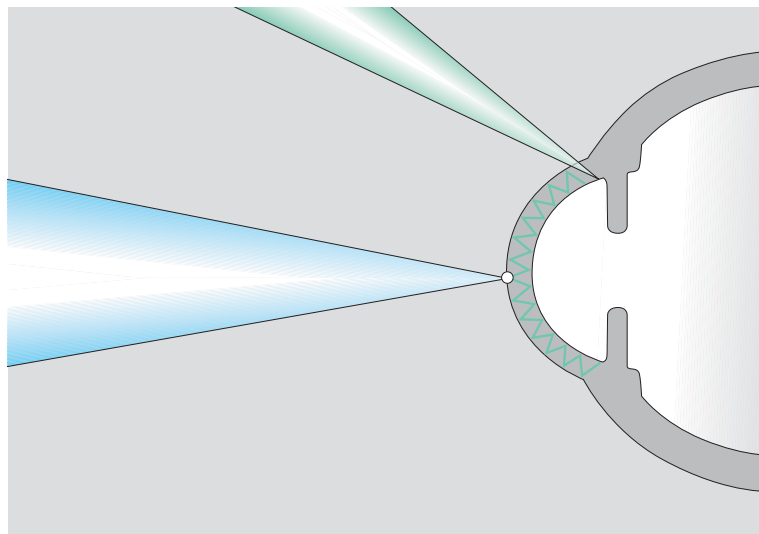


Abb. 15  
Streuende sklero-corneale  
Beleuchtung

in Form einer Linse, läßt sich der Fernpunkt wieder in den Fokussierbereich des Mikroskops bringen. Dafür sind diverse Zusatzlinsen in Gebrauch, die sich hinsichtlich ihrer optischen Eigenschaften und der praktischen Anwendbarkeit unterscheiden. Im wesentlichen kann man diese Linsen in zwei Gruppen einteilen:

- Konkav- und
- Konvexoptik.

#### Konkavoptik

Konkavgläser liefern ein aufrechtes, virtuelles Zwischenbild des Fundus. Auf Grund dieser Eigenschaft wird der normale Arbeitsabstand der Spaltlampe zum Patienten nur wenig geändert. Infolge der Blendenwirkung der Pupille tritt bei den Konkavgläsern jedoch eine Einschränkung des stereoskopischen Sehfeldes auf.

Es gibt zwei Arten von Konkavgläsern, die heute besonders verbreitet sind:

- Fundus-Kontaktglas und
- Dreispiegelhaftglas bzw. Vierspiegel-Kontaktglas (nach Goldmann) = Gonioskop

Man unterscheidet negative Kontaktgläser und sehr starke Pluskontaktgläser.

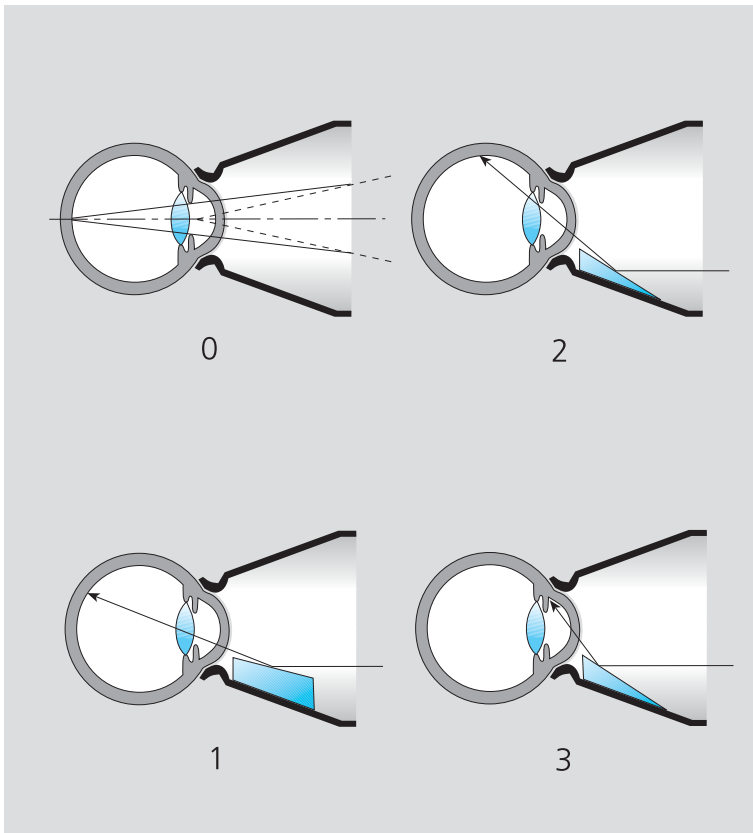


Abb. 16  
Schema Dreispiegelhaftglas

Zu den negativen Kontaktgläsern gehört das Fundus-Kontaktglas nach Goldmann. Es hat eine Brechkraft von  $-64$  dpt, kompensiert annähernd die Hornhautbrechkraft und gestattet die Untersuchung des hinteren Augenpols bis etwa  $30^\circ$  von der Augenachse.

Für das Normalauge beträgt die Lateralvergrößerung 0,91, die Axialvergrößerung 0,62. Ein besonderer Vorteil des Fundus-Kontaktglases ist, dass die Lateral- und Axialvergrößerung praktisch und unabhängig von der Refraktion des Patienten ist. Dies ist z.B. für Glaskörperuntersuchungen von besonderem Interesse. Weiterhin hat dieses Kontaktglas auch ein größeres monokulares und binokulares Sehfeld als beispielsweise eine Hruby-Linse.

Bei besonders empfindlichen und vor allem frisch operierten Patienten können Kontaktgläser jedoch nicht eingesetzt werden.

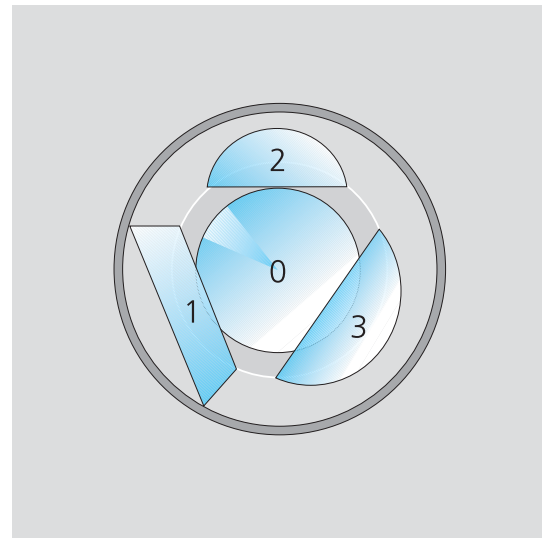


Abb. 17  
0 = Beobachtung der zentralen Teile der Netzhaut  
1 = Beobachtung der Netzhautteile außerhalb des Zentrums  
2 = Beobachtung der äußeren Peripherie der Netzhaut  
3 = Beobachtung des Kammerwinkels

Bei der Fundusbetrachtung eines Patienten mit Myopie mittels eines der Konkavgläser muss das Mikroskop in Richtung des Patienten verschoben werden. Bei einer Myopie von z.B.  $-20$  dpt beträgt die Verschiebung 18 mm, bei einem Fundus-Kontaktglas nur 7 mm.

Mit dem Fundus-Kontaktglas kann man nur den zentralen Teil des Fundus betrachten. Deswegen gibt es Konkavgläser auch mit eingebauten Spiegeln für die verschiedenen peripheren Fundusbereiche und Glaskörperabschnitte bzw. für die Beobachtung des Kammerwinkels (Gonioskopie).

Diese Gläser gibt es mit drei Spiegeln (Dreispiegelhaftglas, Abb. 16 und 17) aber auch mit vier (Vierspiegel-Kontaktglas). (Nicht so häufig gebräuchlich sind Ein- und Zweispiegel-Kontaktgläser). Durch den zentralen Bereich dieser Gläser (ohne Spiegel) kann man die axialen Glaskörper- und Fundusareale betrachten. Für diese Partien ist jedoch das einfache Fundus-Kontaktglas vorzuziehen, weil es infolge seiner geringeren Glasstärke optisch besser abbildet und das Glas selbst beweglicher als das etwas größere

Dreispiegelhaftglas ist. Die Neigung der Spiegelflächen beträgt z.B. beim Dreispiegelhaftglas nach Goldmann: 59°, 67° und 73°.

Das Vierspiegel-Kontaktglas ist eine kleine Pyramide, meist aus Glas, deren Spitze abgeschnitten ist und die dafür an dieser Stelle einen hohlen Einschliff hat. Der Krümmungsradius dieses Einschliffs beträgt ca. 8 mm, das entspricht etwa der normalen, mittleren Krümmung der Hornhaut, die Neigung der spiegelnden Flächen beträgt etwa 62°.

Die Objekte werden dabei spiegelbildlich gesehen. Kleine, periphere Netzhautlöcher, die mit einem Ophthalmoskop leicht übersehen werden, sind mit dem Dreispiegelhaftglas gut zu erkennen.

### Konvexoptik

Konvexe Gläser liefern ein umgekehrtes, reelles Zwischenbild des Fundus. Aus diesem Grund ist ein größerer Abstand zwischen Spaltlampe und Patientenauge erforderlich, was aber mit modernen Geräten möglich ist.

Konvexe Gläser können sehr große monoskopische oder stereoskopische Sehfelder haben. Das ergibt sich dadurch, dass durch das Konvexglas die Eintrittspupillen des Mikroskops verkleinert in die Patientenspupillen abgebildet werden können und die Augenpupille deshalb nicht als Gesichtsfeldblende wirkt.

Die Konvexoptik gibt es in zwei Ausführungen:

- als Kontaktglas (z.B. Kontaktglas nach Schlegel; Panfunduskop) oder als
- asphärische Pluslinse (z.B. Zusatzglas nach Bayadi; Volk-Linse 90 dpt; Asphärische Ophthalmoskopierlinse AOL 90 dpt).

Letztere sind von der indirekten Ophthalmoskopie her bekannt. Dabei wird die Linse mit der Hand ca. 9 mm vor das Patientenauge gehalten. Spaltprojektoren und Mikroskop sind in Mittenstellung zu bringen, der Spalt ist voll zu öffnen, am Mikroskop ist eine mittlere Vergrößerung (etwa 12x) einzustellen. Der Abstand zwischen Ophthalmoskopierlinse und Beleuchtungs-

prisma sollte ca. 80 mm betragen. Mit direkter fokaler Beleuchtung leuchtet man also auf die Linse und erhält ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild des Fundus. Bei nicht erweiterter Pupille ist durch das rechte oder linke Okular das Netzhautbild sichtbar, das zunächst von Reflexen an der Hornhaut überlagert ist. Diese Reflexe sind aber viel leichter als bei der Hruby-Linse durch seitliches Bewegen des Steuerhebels der Spaltlampe zu beseitigen. Die Fokussierung erfolgt wie bei der normalen Spaltbildbeobachtung. Das kleine Fundusbild kann mit dem Vergrößerungswechsler des Mikroskops noch deutlicher vergrößert werden. Mit erweiterter Pupille > 5 mm kann der Augenhintergrund stereoskopisch betrachtet werden. Der Bildwinkel bei der mittleren Vergrößerung beträgt 60°, bei 20facher Vergrößerung dagegen etwa 40°. Das Auffinden des Fundus ist so auch für den ungeübten Beobachter wesentlich leichter möglich, die Erkennbarkeit ist besser als bei der indirekten Ophthalmoskopie.

Mit Konvexgläsern können besonders gut hochmyope Augen untersucht werden. Bei geeigneter Dimensionierung des konvexen Glases lässt sich auch erreichen, dass die Lateral- und Axialvergrößerung unabhängig von der Refraktion des Patienten wird. Einfache Konvexgläser weisen jedoch abnorme Bildfeldwölbungen auf, die sie für Untersuchungen des Glaskörpers ungeeignet machen.

### Beleuchtung

Bisher wurde von den Bedingungen und Möglichkeiten der Fundusbeobachtung mit der Spaltlampe gesprochen. Eine Beobachtung ohne Ausleuchtung des Feldes, das man sehen will, ist aber nicht möglich. Für die Beleuchtung des Fundus über die Zusatzgläser bestehen besondere Anforderungen. Für alle Arten von Zusatzgläsern gilt, allerdings in unterschiedlichen Graden, dass die Größe der Pupille den maximal zwischen Beobachtung und Beleuchtung einstellbaren Winkel begrenzt. Es ist also nicht in allen Fällen möglich, die beiden Beobachtungsstrahlengänge und den Beleuchtungsstrahlengang in der Patientenspupille unterzubringen.

Besonders schwierig wird es bei der Beurteilung seitlicher Funduspartien (Beobachtung unter einem möglichst großen Winkel). Durch den schrägen Einblick nimmt die Eintrittspupille des Auges eine vertikal-ovale Form an, dadurch können die beiden Mikroskopstrahlengänge und der Beleuchtungsstrahlengang nicht mehr nebeneinander in der Pupille plaziert werden.

Man sollte deshalb zur Abhilfe den Beleuchtungsstrahlengang zwischen die beiden Beobachtungsstrahlengänge legen. So hat man zwar keine Möglichkeit der Beobachtung im optischen Schnitt, aber das ist bei der Untersuchung des Fundus auch nicht ganz so wichtig.

Es ist aber auch möglich, die seitlichen Partien bei einer Beleuchtung mit horizontalem Spalt zu untersuchen. Um eine fokale Beleuchtung zu erzielen, muss man den Spalt in die horizontale Ebene drehen und in vertikaler Richtung schwenken.

Allerdings bieten nicht alle Spaltlampen diese Möglichkeit.

Bei Verwendung der konkaven Vorsatzgläser ergibt sich ein Verlust der Homozentrität von Beobachtungs- und Beleuchtungsstrahlengang auf dem Fundus. Durch die starke sphärische Aberration entsteht eine Quer- und Längsversetzung des Spaltes. Die Querversetzung stört im allgemeinen nicht, man kann sie durch seitliche Dezentrierung des Spaltes ausgleichen. Die Längsversetzung dagegen führt zu einer Spaltunschärfe. Sie kann meist durch Nachstellen der beiden Okulare kompensiert werden.

Für die konkaven Vorsatzgläser gilt, daß der maximale Beleuchtungswinkel bei einem gegebenen Pupillendurchmesser um so größer ist, je höher die Brechkraft des Vorsatzglases und je geringer sein Abstand vom Auge ist. Mit zunehmender Myopie nimmt der maximal einstellbare Beleuchtungswinkel ab. Die konvexen Vorsatzgläser ermöglichen vergleichsweise größere Beleuchtungswinkel bei kleineren Pupillen und höherer Myopie als

Konkavgläser. Für die konvexen Vorsatzgläser mit ihrer reellen Zwischenbildebene ist die Homozentrität zwischen Beobachtungs- und Beleuchtungsstrahlengang auf dem Fundus besser gegeben als für die Konkavgläser.

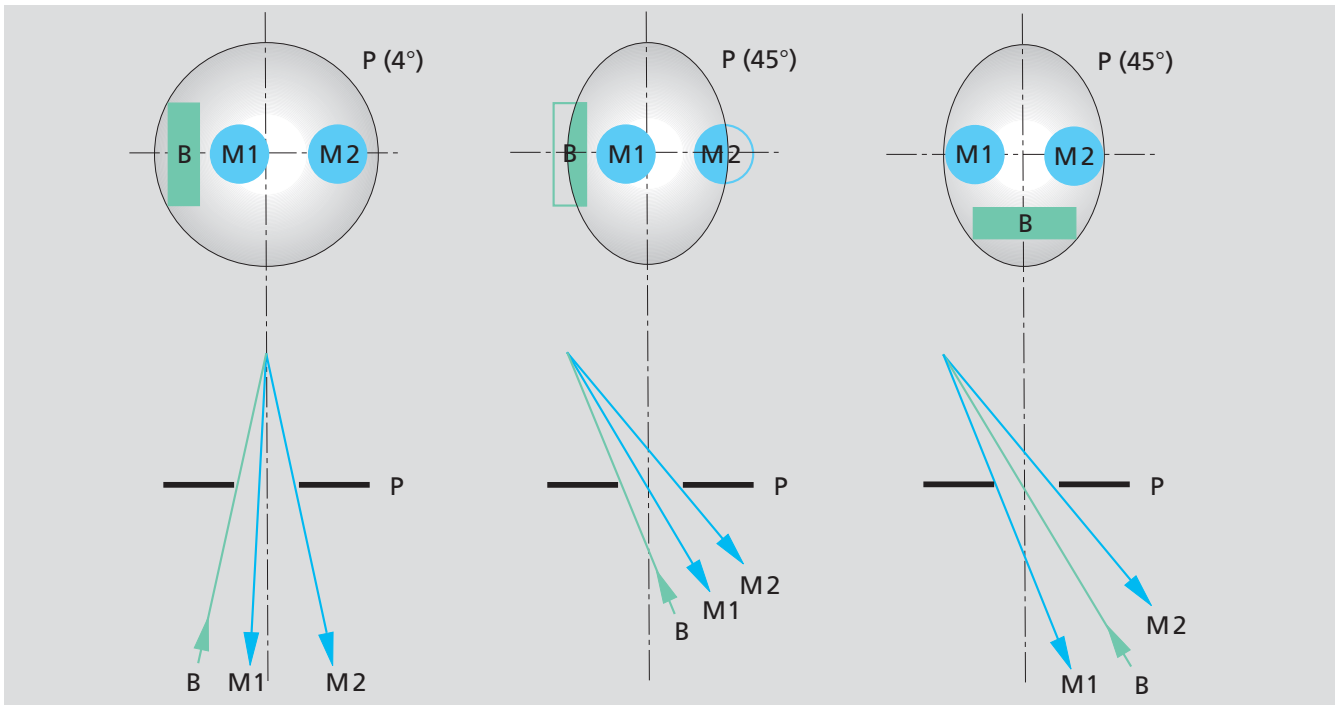
Für alle Arten der Untersuchung peripherer Bereiche des Glaskörpers und des Fundus ist also festzustellen, dass die oben und unten gelegenen Partien leichter zu untersuchen sind als die seitlichen. Das ist die Folge der perspektivischen Verzerrung der Pupille. Sie erscheint von oben oder unten betrachtet als quer-gestelltes Oval, durch das die beiden Beobachtungsbüschel des binokularen Mikroskops und das Beleuchtungsbüschel leicht hindurchtreten können. Blickt man aber von der Seite durch die Pupille, so erscheint sie längsoval und die drei Strahlengänge können nicht zusammen passieren. Man sieht in den seitlichen Partien nur noch monokular. Das gleiche gilt auch für die Gonioskopie (Abb. 18).

### Gonioskopie

Ohne optische Hilfsmittel ist der Kammerwinkel nicht einzusehen, da ein von dort ausgehender Strahl infolge Totalreflexion an der Hornhautoberfläche den Außenraum nicht erreicht. Würde man aber das Auge unter Wasser tauchen oder die Vorderkammer mit Luft füllen, so wäre der Kammerwinkel zu sehen. Den gleichen Effekt erzielt man mit Auflagegläsern, von denen in der Vergangenheit verschiedene Typen bekannt geworden sind. Die meisten konnten sich jedoch nicht durchsetzen. Im Zusammenhang mit der Spaltlampenuntersuchung sind heute nur noch die Spiegelkontaktgläser von praktischer Bedeutung, deren Prinzip GOLDMANN eingeführt hatte. Den Strahlenverlauf bei einem solchen Spiegelkontaktglas zeigt Abb. 16.

Diese Untersuchungsart ist inzwischen zu einer Standardmethode geworden und sie hat noch an Wichtigkeit zugenommen, seitdem man zur Glaukombehandlung die Lasertrabekuloplastik verwendet (Laserverspiegelung des Kontaktglases).





Das Spiegelkontaktglas wird mit der Hand gehalten bzw. es existieren besondere Haltevorrichtungen. Man sieht jeweils den Bereich der Netzhaut bzw. des Kammerwinkels, der dem benutzten Spiegel gegenüberliegt (spiegelbildlich!). Indem man das Glas um seine Achse dreht, erscheint ein Ort des Kammerwinkels nach dem anderen. Um den Winkel mehr von der Irisebene her oder mehr entlang der inneren Corneaoberfläche zu betrachten, muss entweder das Glas etwas gegen die Corneaachse gekippt werden oder der Patient muss den Blick etwas wenden. Die Ausleuchtung erfolgt mit der Spaltbeleuchtung. Für eine reflexfreie, gute Ausleuchtung ist es vorteilhaft, wenn der Spalt gedreht werden kann und zwar so, dass er zum Kammerwinkel senkrecht steht. Gegebenenfalls ist ein entsprechender Winkel zwischen Beobachtung und Beleuchtung einzustellen. Für den horizontalen Spalt ist das nicht bei allen Geräten möglich. Die Kammerwinkeluntersuchung setzt eine gute stereoskopische Mikroskopbeobachtung voraus. Im optischen Schnitt kann man den Kammerwinkel am besten in der 12- und 6-Uhr-Position sehen.

### Hinweise zur Arbeit mit dem Kontaktglas

Vor dem Aufsetzen des Kontaktglases muss das zu untersuchende Auge in üblicher Weise anästhesiert werden. Zum Untersuchen des Augenhintergrundes ist außerdem eine maximale Erweiterung der Pupille erforderlich.

Da die konkave Aufsetzfläche des Kontaktglases meist stärker gekrümmt ist als der mittlere Krümmungsradius der Hornhaut, muss der Zwischenraum zweckmäßigerweise mit 2 Tropfen physiologischer Kochsalzlösung oder Methylzellulose gefüllt werden.

Das Aufsetzen des Glases lässt sich leichter durchführen, wenn der Patient nach oben blickt und die Lider etwas abgezogen werden. Eventuelle Luftblasen verschwinden bei leichtem Drehen und Kippen des Glases.

Sollte das Glas nach beendeter Untersuchung zu stark haften, so drückt man den Bulbus am Rand des Skleralteils etwas ein (evtl. mit einem Glasstäbchen oder dgl.).

Abb. 18  
Zum stereoskopischen  
Sehen mit der Spaltlampe

Nach dem Gebrauch muß das Kontaktglas mit Wasser und Augenwatte gereinigt werden, damit Rückstände z.B. von Methylzellulose nicht antrocknen.

Zur Desinfektion kann man z.B. CLORINA verwenden (5%ige Lösung, Einwirkungszeit 10 Minuten, Hersteller: Lysoform, Dr. Rosemann GmbH, Berlin). Anschließend mit destilliertem Wasser abspülen und mit einem sterilen Tupfer abtrocknen.

Auf keinen Fall darf das Kontaktglas ausgekocht oder auf andere Weise übermäßig erhitzt werden. Die Verwendung von Alkohol sollte auch vermieden werden.

### 3.7 Fluoreszenzbeobachtung und Spaltlampenmikroskopie bei der Kontaktlinsenanpassung

Der Farbstoff Natrium-Fluorescein wird in der Medizin seit über 100 Jahren bei physikalisch-chemischen und bei biologischen Problemen verwendet. In die experimentelle Ophthalmologie wurde diese Methode 1881 durch EHRLICHER eingeführt und findet seit etwa 1938 auch in der Kontaktoptik ihre Anwendung. Sie beruht im wesentlichen darauf, dass das Fluoreszenzlicht spektral von der Anregungsstrahlung getrennt werden kann. Strukturen, die den Farbstoff Fluorescein aufnehmen, gewinnen durch die Fluoreszenz einen wesentlich höheren Kontrast gegenüber der nicht fluoreszierenden Umgebung. Fluorescein färbt z.B. beschädigte Zellen an und füllt interzelluläre Zwischenräume.

Speziell bei der Kontaktlinsenanpassung wird diese Methode zur Kontrolle des Sitzes der aufgesetzten formstabilen Kontaktlinse sowie zur Kontrolle der Hornhaut nach dem Tragen von Kontaktlinsen angewendet. Dadurch ist nicht nur die Beurteilung des Kontaktlinsensitzes und des Trändurchflusses möglich, sondern auch das Auffinden von oberflächlichen Beschädigungen des Hornhautepithels. Selbst kleinste Hornhautdefekte, die bei normaler Spaltlampenuntersuchung unentdeckt bleiben, kommen so zum Vorschein.

Die Voraussetzung für eine gezielte Fluoreszenzbeobachtung sind eine geeignete Anregungslichtquelle und eine richtig dosierte Konzentration des Fluoresceins im Tränenfilm. Das Fluorescein wird dabei in den Bindehautsack des Patientenauges eingetropt bzw. als Fluo-Strip in den Bindehautsack eingegeben.

Das gelbgrüne Fluoreszenzlicht ist nicht monochrom, das Emissionsmaximum liegt bei  $\lambda = 530 - 535 \text{ nm}$ . Zur Anregung ist folgreich eine Strahlung mit  $\lambda < 530 \text{ nm}$  erforderlich. Der Wirkungsgrad der Fluoreszenz ist am größten bei einer Anregung mit blauem Licht, im Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda = 450 - 500 \text{ nm}$ . Als Anregungslichtquelle dient die Halogenlampe der Spaltlampe, der als Erregerfilter ein Kobalt-Blau-Filter vorgeschaltet wird. Kontrastminderndes Streulicht muss für die Beobachtung und auch für die fotografische Dokumentation durch ein Sperrfilter ausgefiltert werden. Dafür verwendet man ein Gelbfilter mit  $\lambda = 530 \text{ nm}$ . Dieses sperrt das blaue Anregungslicht und lässt nur die gelbgrüne Fluoreszenzstrahlung und längerwelliges Licht hindurch.

#### Konzentration des Natrium-Fluoresceins

Optimale Fluoreszenzausbeute erhält man bei einer Konzentration des Natrium-Fluoresceins von 0,2 - 0,4 % in der Tränenflüssigkeit.

Diese Konzentration entsteht durch Eingabe eines Tropfens 2%igen Natrium-Fluoresceins (bei normaler Tränensekretion) in den Bindehautsack des Patientenauges. Die Reaktionszeit beträgt etwa 1 - 2 Minuten. Bei Hyposekretion ist diese Konzentration jedoch zu hoch, es entsteht keine Fluoreszenz, sondern nur eine bräunliche Verfärbung des Tränenfilms. Man kann dadurch Abhilfe schaffen, dass nur 1%iges Natrium-Fluorescein verwendet oder dass ein Tropfen NaCl (Kochsalzlösung) zugegeben wird.

Bei Hypersekretion ist die oben genannte Konzentration des Natrium-Fluoresceins zu niedrig, es ist eine höhere Dosis notwendig.

Die Anwendung der Fluoreszenzbeobachtung mit der Spaltlampe in der Kontaktlinsenoptik umfasst im wesentlichen folgende Bereiche:

- Kontrolle des äußeren vorderen Augenabschnitts vor dem Einsetzen einer Kontaktlinse
- Kontrolle des Sitzes der Kontaktlinse auf dem Auge mit und ohne Natrium-Fluorescein
- Kontrolle des vorderen Augenabschnitts und besonders der Hornhaut nach Herausnehmen der Kontaktlinse nach längerer Tragezeit
- Eingehende Inspektion der Kontaktlinse.

Diese Untersuchungen können wie folgt vorgenommen werden:

#### **Kontrolle der vorderen Augenabschnitte**

Die Untersuchung erfolgt mit diffuser oder direkter fokaler Beleuchtung mit breitem Spalt (volle Öffnung). Untersucht werden die Hornhaut auf Narben, Vascularisation, Neovascularisation, Infiltrate, anomale Gewebeeränderung der Hornhaurückfläche, ringförmige Lipoid-Einlagerungen am Hornhautrand, Einlagerungen bei Keratokonus; die Sklera und die Lider auf Unregelmäßigkeiten; die Konjunktiva auf Blutfülle und mögliche Anomalien und es ist auch die Beurteilung der Tränenflüssigkeit möglich.

#### **Kontrolle des Sitzes der Kontaktlinse**

Bei diffuser Beleuchtung und Vergrößerung ca.  $V = 12x$ . Es können beurteilt werden der Sitz der Kontaktlinse (zentriert oder dezentriert), die Bewegung der Kontaktlinse (Richtung und Geschwindigkeit), ob sich Luftblasen oder Fremdkörper unter der Kontaktlinse befinden und auch der Zustand der Tränenflüssigkeit.

Bei formstabilen Kontaktlinsen können die Größe der Kontaktlinse zur Lidspalte, der hydrophobe Zustand der Kontaktlinse und die Verteilung der Tränenflüssigkeit unter der Kontaktlinse (Fluo-Bild) beurteilt sowie die Kontaktlinse auf Fett- und

Schmutzablagerungen untersucht werden. Bei weichen Kontaktlinsen werden das Ausmaß der Kontaktlinsenbewegung im Bereich des Limbusrandes, die Größe der Kontaktlinse zur Hornhaut und der Zustand des Kontaktlinsenrandes (faltig oder gewellt, fest anliegend, Druck auf die Bindehaut) beurteilt und die Blutgefäße kontrolliert, ob die Kontaktlinse die Gefäße verschiebt oder sie abdrückt, so dass es zu einer Reizung der Bindehaut kommen kann.

#### **Kontrolle der Hornhaut**

Die Untersuchung erfolgt bei direkter fokaler Beleuchtung (im optischen Schnitt), bei indirekter oder bei streuender sklero-kornealer Beleuchtung. Dabei wird die Hornhaut auf Stippen, Läsionen, Erosionen sowie auf evtl. Deformationen (Luftblasen-Dellen, Ödeme) kontrolliert, ebenfalls auf Veränderungen in den tieferen Hornhautschichten, in der Bindehaut (Druckstellen, allergische Reaktionen, Pflegemittelprobleme) und an den Lidern.

#### **Inspektion der Kontaktlinse**

Sie erfolgt bei diffuser und indirekter fokaler Beleuchtung. Die Kontaktlinse sollte speziell gehalten werden. Die Kontaktlinsenflächen werden auf Kratzer, Gratbildung, Polierspuren und die Kontaktlinsenrandbereiche auf Risse, Ausbrüche, Defekte und eventuelle Ablagerungen untersucht.

#### **Beurteilung von Fluo-Bildern unter Kontaktlinsen mit sphärischer Rückfläche**

##### Flachanpassung

Das Fluo-Bild einer flach angepassten Kontaktlinse auf sphärischer Hornhaut zeigt zentral eine runde, dunkle Auflagezone, umgeben von einem zur Peripherie hin heller werdenden breiten Fluo-Ring. Die Intensität der Fluoreszenz nimmt zum Rand hin kontinuierlich zu (intensives Gelbgrün). Eine flach angepasste sphärische Kontaktlinse auf torischer Hornhaut bildet eine zentrale, dunkle Auflagezone in

Form einer Ellipse, deren lange Achse dem flacheren Hornhautmeridian entspricht. Mit zunehmender Torizität wird die Ellipse flacher und länger. Im steileren Meridian steht die Kontaktlinse von der Hornhaut ab und zeigt ein Gebiet zunehmender Fluoreszenz.

#### Parallelanpassung

Eine parallel angepasste Kontaktlinse auf sphärischer Hornhaut zeigt im Fluo-Bild eine zentrale, einheitlich runde, dunkle Auflagezone, umgeben von einem zum Rand hin heller werdenden Fluo-Ring. Dabei beträgt die dunkle Zone etwa 70 – 72 %, der gelbgrüne Ring etwa 28 – 30 % der Fläche. Das Randgebiet muss sich sanft und kontinuierlich von der Hornhaut abheben, die Übergänge sollten fließend sein. Wenn nicht, wäre ein Fehler auf der Kontaktlinse vorhanden und die Kontaktlinse sollte sofort von der Hornhaut entfernt werden.

Das Fluo-Bild einer parallel angepassten sphärischen Kontaktlinse auf torischer Hornhaut zeigt eine zentrale, dunkle Auflagefläche mit peripheren Einbuchtungen im steileren Meridian. Mit zunehmender Torizität der Hornhaut entsteht eine dunkle Auflagefläche in Form eines Knochens oder Schmetterlings. Die Kontaktlinse liegt auf dem flacheren Meridian auf, im steileren steht sie von der Hornhaut ab. Die Randzone muss sich sanft abheben.

#### Steilanpassung

Das Fluo-Bild einer steil angepassten Kontaktlinse auf sphärischer Hornhaut zeigt einen zentralen Fluo-See, umgeben von einem parazentralen, schmalen dunklen Fluo-Ring. An diesen dunklen Ring schließt sich ein Fluo-Ring an (Randzone der KL!), dessen Helligkeit nach außen kontinuierlich zunimmt. Alle Übergänge müssen fließend sein!

Das Fluo-Bild einer steil angepassten Kontaktlinse auf torischer Hornhaut zeigt parazentrale, dunkle Auflagezonen in Sichel- oder Nierenform in Richtung

des steileren Meridians. Sie umgeben einen mit zunehmender Torizität ovaler werdenden Tränensee. Peripher schließt sich der nach außen heller werdende Fluo-Ring der Kontaktlinsen-Randzone an.

Prinzipiell sollte nach jeder Beobachtung mit Natrium-Fluorescein das Auge gründlich mit physiologischer Kochsalzlösung gespült werden, um Infektionen zu verhindern.

### **3.8 Beurteilung des Tränenfilms**

Die Beurteilung des Tränenfilms, wie auch die Inspektion des Tränenapparates, sollte ganz zu Beginn der Untersuchung, speziell vor der Kontaktlinsenanpassung erfolgen. Im Verlauf der Kontrollen und Messungen sowie während der Anpassung können sich Menge und Zusammensetzung der Tränenflüssigkeit verändern.

Die tägliche Tränensekretion beträgt etwa 0,5 ml bis 1,0 ml - im Schlaf wird jedoch keine Tränenflüssigkeit produziert. Ist die tägliche Sekretionsrate kleiner (Hyposekretion), besteht die Gefahr der Unterversorgung (Hypoxie) der Hornhaut, da die wässrige Phase als Sauerstoffträger zu schwach ausgebildet ist. Bei weichen Kontaktlinsen tritt zusätzlich eine Dehydration ein. Bei einer Überproduktion (Hypersekretion) von Tränenflüssigkeit gibt es im allgemeinen keine Probleme bei der Kontaktlinsenanwendung.

Es muss also vor der Kontaktlinsenanwendung kontrolliert werden, ob die Tränenflüssigkeit des zu versorgenden Auges von der Quantität her das Tragen von Kontaktlinsen ermöglicht und ob die Zusammensetzung des Tränensekrets sich innerhalb des normalen Bereichs bewegt. Jede Kontaktlinse benötigt einen gewissen Tränensee, um reibungsarm über die Hornhautoberfläche gleiten zu können. Weiche Linsen benötigen zusätzlich ein gewisses Angebot an Tränenfeuchtigkeit, um elastisch zu bleiben. Je nach Linsentyp, Material und Tragemodus sind bis zu 1 ml Tränenflüssigkeit pro Tag erforderlich, eine Menge, die der Tagesproduktion eines gesunden Menschen

entspricht. Ein Tränenmangel kann daher das Tragen einer Kontaktlinse zum Risiko werden lassen.

Qualität und Quantität des Tränenfilms lassen sich einfach und sicher mit der Spaltlampe untersuchen. Die Aufreißzeit und damit die Stabilität des Tränenfilms sind ein wichtiges Kriterium für ein beschwerdefreies Tragen von Kontaktlinsen. Zum Bestimmen dieser Aufreißzeit färbt man die Tränenflüssigkeit des Patienten mit Natrium-Fluorescein-Tropfen an, ohne Lokalanästhetikum. An der Spaltlampe bringt man das Kobalt-Blau-Filter in den Strahlengang. Während dauernder Beobachtung der Hornhautoberfläche mit eingesetztem Gelbfilter wird mit einer Stoppuhr die Zeit vom Lidauflschlag bis zum Auftreten der ersten trockenen Flecke (Aufreißen des Tränenfilms) gemessen. Dieses Zeitintervall wird als Aufreißzeit oder „break-up-time“ (BUT) bezeichnet. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass das Auge des Patienten keiner Blendung (retinale Reizung - reflektorische Sekretion) ausgesetzt wird, um das Untersuchungsergebnis nicht zu verfälschen. Beträgt diese Aufreißzeit zwischen 0 und 10 Sekunden, leidet der Patient an akutem Mucin-Mangel. Liegt diese Zeit zwischen 10 und 25 Sekunden, so ist die Mucin-Produktion gestört, der Tränenfilm ist labil. Bei über 25 Sekunden Aufreißzeit ist der Tränenfilm stabil.

Komfortabler ist die Verwendung eines Videosystems (z.B. der Video-Kompaktkamera 020) an der Spaltlampe. Auf einem Monitor lassen sich so alle Einzelheiten des Verlaufs der Beobachtung bei Zeitlupen- oder Einzelbildschaltungen leicht differenzieren und beurteilen. Die Aufzeichnung der Untersuchung erfolgt mit einem Videorecorder. Mit dem darin enthaltenen elektronischen Zähler lässt sich die BUT einfach und exakt ermitteln. Diese Aufnahmemethode ist inzwischen vervollkommen worden, bedienfreundlich und preisgünstig, dass man ihr den Vorzug vor der normalen Fotografie (nur "Standbild", kein Verlauf, Zeitfaktor Entwicklung, Kosten) geben sollte.

### 3.9 Weitere Untersuchungsmethoden

Neben den bisher behandelten Untersuchungsmethoden sind Spaltlampen auch für andere Behandlungen und Untersuchungen einsetzbar. Grünfilter (Rotfreifilter) werden benötigt, um bei Objekten mit hohem Rotanteil (z.B. Fundus) den Kontrast zu steigern.

Es wurden auch schon Beobachtungen im polarisierten Licht unternommen. Derartige Untersuchungen haben jedoch bisher zu keiner allgemein nützlichen Anwendung geführt, so dass diese Filter nicht serienmäßig in Spaltlampen eingebaut werden.

Von besonderem Interesse und besonderer Bedeutung sind alle Bestrebungen, die Spaltlampe nicht nur als Beobachtungsgerät, sondern mit entsprechenden Zusätzen auch als Messgerät zu verwenden.

Durch die weite Verbreitung kann durch die Einbeziehung und Nutzung der mechanisch-optischen Komponente der Spaltlampe der Aufwand für ein Messgerät ganz erheblich reduziert werden. Das bekannteste Beispiel dafür ist das Applanations-Tonometer zur Messung des Augeninnendruckes. Ein weiteres Beispiel ist das Messokular zur Längen- und Winkelmessung an der Cornea. Auf dieses wird unter Punkt 5 näher eingegangen.

Die Spaltlampe wird aber nicht nur als Untersuchungsgerät benutzt, das Hornhautmikroskop wird beispielsweise bei kleinen Eingriffen an der Hornhaut, z.B. zur Entfernung von Fremdkörpern, benötigt. Mit der Spaltbeleuchtung kann eine gezielte Beleuchtung des jeweiligen Areals erfolgen. Durch den günstigen Arbeitsabstand zwischen Mikroskop und Auge sind entsprechende Manipulationen bequem durchführbar.

# 4. Befunddokumentation.



Abb. 19  
Video-Kompaktkamera 020

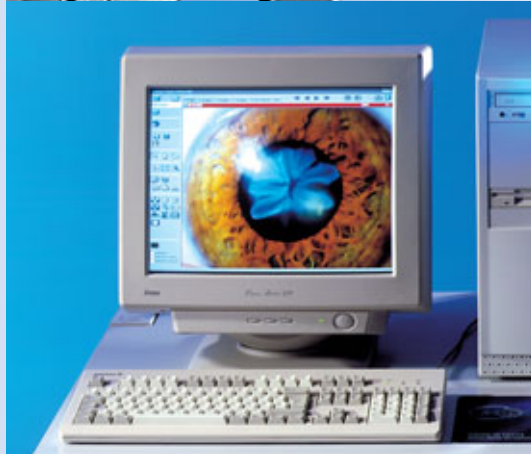


Abb. 20  
VISUPAC Software



Abb. 21  
TV-Anpassung mit  
3CCD-Kamera

## 4.1 Videodokumentation

Seit einiger Zeit hat sich bei Spaltlampenuntersuchungen die Videodokumentation durchgesetzt, weil eine "starre" Fotoaufnahme lange nicht so aussagekräftig ist, wie eine dynamische Filmaufnahme. Nur so kann der Verlauf einer Spaltlampenuntersuchung wirklichkeitsgetreu dargestellt werden, wie es der Untersucher sieht, bzw. zu sehen gewohnt ist - als komplexes Bild.

Weitere Vorteile gegenüber der fotografischen Aufnahme sind die geringere Lichtbelastung des Patienten sowie die rasche Verfügbarkeit der Ergebnisse. Durch den Wegfall der Filmentwicklung ergibt sich eine Verringerung der laufenden Kosten. Oft ist es auch von Vorteil, einem Patienten oder Kontaktlinsträger noch während der Untersuchung den Befund oder den Zustand und "Sitz" der Kontaktlinse zu erläutern; das spart lange Erklärungen. Damit ist diese moderne Technik sehr gut geeignet für die Dokumentation, Information sowie für Unterrichts- und Lehrzwecke.

Für die Spaltlampen SL 115 Classic/120/130 gibt es verschiedene Möglichkeiten der Videodokumentation.

### Für die Spaltlampen SL 120/130:

- Handelsübliche TV-Farb-Kameras 1/2" über Strahlenteiler 50/50 mit Schiebepisma, TV-Ansatz  $f = 75$  mm und TV-Kupplung (Standard-C-Gewinde/C-Mount) (Abb. 21). Bei speziellen Anforderungen kann hier auch leicht eine 3CCD-Kamera eingesetzt werden.
- Als entscheidender Meilenstein zur integrierten Videodokumentation ist die spezielle Video-Kompaktkamera 020 (Abb. 19) an die Schnittstelle zwischen Mikroskopkörper und Binokulartubus der Spaltlampen SL 120/130 ansetzbar - ohne Zwischenstück und ohne TV-Adapter. Diese Miniaturkamera bringt eine hervorragende Bildauflösung. Durch das geringe Gewicht wird die Beweglichkeit und Handhabbarkeit der Spaltlampe überhaupt nicht beeinträchtigt.



Abb. 22  
Spaltlampe SL 120 mit  
Video-Ausrüstung zur  
Aufzeichnung und  
Video-Printer

- Nachrüstung der SL 115 Classic mit 1/2" Miniaturkamera über einen Videokompaktansatz.

Neben der Spaltbeleuchtungseinrichtung sollte eine Umfeldbeleuchtung eingesetzt werden, damit eine bessere Ausleuchtung der Konturen des Auges gegeben ist.

Zur vollen Ausschöpfung der Bildqualität wird ein TV-System verwendet, bei dem die Farb- und Synchronisationssignale getrennt geführt und aufgezeichnet werden. Solche Systeme sind S-VHS bzw. Hi 8 (engl. :Y/C). Ein komplettes Video-System für die Spaltlampe, bestehend aus Video-Kompaktkamera 020, Monitor, Video-Recorder und Video-Printer zeigt Abb. 22.

Das digitale Bildaufnahme- und -verarbeitungssystem VISUPAC für Spaltlampen rundet das Dokumentationszubehör ab.

#### 4.2 Digitale Bildaufnahme- und -bearbeitung

##### VISUPAC

Das digitale Bildaufnahme- und -bearbeitungssystem VISUPAC für Spaltlampen (Abb. 20) bietet die Möglichkeit, die mit der Spaltlampe gewonnenen Bilder komfortabel abzuspeichern, zu bearbeiten und zu verwalten. Die Nutzung einer professionellen SQL-Datenbank gewährleistet schnellen Zugriff auf alle

Daten bei einer hohen Stabilität des Systems. Schnelles Arbeiten mit dem VISUPAC für Spaltlampen wird ebenfalls durch die funktional gestaltete graphische Oberfläche ermöglicht.

Zu den Software-Features gehören umfangreiche Bildbearbeitungsfunktionen wie Schärfen, Weichzeichner, Zoom, Invertieren, Kontrast- und Helligkeitsregelung, Slideshow, etc. Eine optimale Nachbearbeitung der Bilder ist somit möglich.

Grafik- oder Textelemente können problemlos in bestehende Bilder eingefügt werden. Diese Elemente sind Teil einer das Bild überlagernden Ebene und können jederzeit ein- und ausgeblendet, bearbeitet und gelöscht werden.

Mit einer weiteren Funktion ist es möglich, eine Kontur - beispielsweise einen Kreis oder ein Rechteck - von einem Bild in andere Bilder zum Vergleich einer ROI (Region Of Interest) zu übertragen. Die Kontur wird anhand von Referenzmarken geometrisch korrekt in Bezug auf Position, Größe und Orientierung übertragen.

Natürlich kann für den Datenimport und -export der DICOM-Standard (Digital Imaging and COmmunications in Medicine) genutzt werden. Hier werden neben den Bildinformationen auch Patientinformationen innerhalb einer Datei transportiert.

# 5. Zubehör.

Die Anwendungsgebiete einer Spaltlampe lassen sich mit vielfältigen Zubehöreinheiten zum Messen, Untersuchen und Dokumentieren erweitern.

Die verbreitetsten Zusatzgeräte sind:

## **Applanationstonometer**

zur Messung des Augeninnendruckes

## **Messokulare**

zur Längen- und Winkelmessung am Auge, insbesondere zur Kontaktlinsenanpassung

## **Kontaktgläser**

zur Untersuchung von Kammerwinkel, zentralen und peripheren Fundus

## **TV-Kameras,**

## **Mitbeobachtungseinrichtungen**

zur Befunddokumentation und zu Lehr- und Ausbildungszwecken

## **Digitale Bildarchivierung**

zur Befunddokumentation, Bildverarbeitung und -speicherung

## **5.1 Messung des Augeninnendruckes**

Das verbreitetste Zusatzgerät zur Spaltlampe ist das Applanations-Tonometer nach Goldmann. Es dient zur Messung des Augeninnendruckes. Diese Methode ist heute, vergleichsweise zu anderen Verfahren, durch hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Einfachheit gekennzeichnet. Konstruktion und Messprinzip sind weitgehend bekannt. Es wurden darüber genügend Arbeiten veröffentlicht.

Wichtig für den praktischen Gebrauch ist eine richtige Halterung des Applanations-Tonometers an der Spaltlampe. Für routinemäßige Druckmessungen muss das Applanations-Tonometer schnell und einfach zum Einsatz gebracht werden können. Andererseits darf es bei der normalen Spaltlampenarbeit nicht stören. Diese Forderungen wurden für die Applanations-Tonometer AT 020 (Abb.23) und AT 030 (Abb.24) berücksichtigt, die speziell für die Spaltlampen SL 120/130 entwickelt wurden. Mit einem entsprechenden Tonometerhalter ist das Applanations-Tonometer AT 020 jedoch auch für die Spaltlampen unseres bisherigen Lieferprogramms und für die Spaltlampe SL 115 Classic einsetzbar.

### **Durchführung der Messung**

Vor Beginn der Messung des intraokularen Druckes wird die Beleuchtung der Spaltlampe eingerichtet: Größtes Leuchtfeld, geöffneter Spalt, eingeschwenktes Blaufilter, Spaltprojektor ist auf ca. 50° seitlich auszu-schwenken, Mikroskopvergrößerung 8x oder 12x.

Es erfolgt eine normale Anästhesie der Patienten- augen. Dabei sind immer beide Augen eines Patienten zu anästhesieren, da sonst ein Lidschlag unvermeidlich ist. Wenn nötig, ist die Fixierleuchte zur Ruhigstellung der Augen zu verwenden. In den Bindehautsack beider Augen ist je ein Tropfen einer Natrium-Fluorescein- Lösung zu geben, eventuell in Form eines Fließpapier- streifens.

Abb. 23  
Applanations-Tonometer  
AT 020

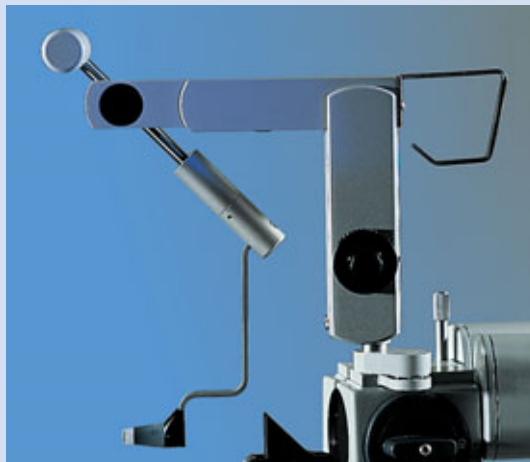






Abb. 24  
Applanations-Tonometer AT 030

Der Patient sollte ca. 6° nach rechts schauen. Zur Messung muss das Patientenauge weit geöffnet sein. Dies kann durch den Untersucher unterstützt werden, indem er die Lider des Patienten Auges mit Finger und Daumen spreizt. Dabei darf kein unabsichtlicher Druck auf den Bulbus ausgeübt werden, die Finger können sich lediglich an der knöchernen Augenhöhle abstützen.

Der Messkörper des Applanations-Tonometers hat ein Prisma zur Bildverdopplung. Damit wird der Tränenfilmring zwischen Messkörper und Hornhaut in zwei grün fluoreszierende Halbringe geteilt.

Die beiden Halbkreise müssen gleich groß sein. Die entsprechende Höhenverstellung erfolgt mit der Spaltlampe.

Die Breite der Ringe soll etwa 0,2 - 0,3 mm betragen und entsprechend dem Pulsschlag oszillieren.

Zur Messung wird der Messkörper auf die Cornea gebracht. Der Druck auf die Hornhaut, ausgehend vom Skalenteil 1 auf der Messtrommel, wird erhöht, bis sich die inneren Ränder der Ringe gerade berühren (Abb. 25). Dieser Wert wird an der Messtrommel abgelesen und gemäß einer Umrechnungstabelle in kPa umgestellt.

Es empfiehlt sich zunächst eine Probemessung an beiden Augen. Es folgen dann an jedem Auge drei Messungen, um die kurzzeitigen Schwankungen des intraokularen Druckes zu erfassen. Schließlich wird der Mittelwert gebildet.

Bei länger dauernder Messung kommt es zu mehr oder weniger deutlichen Austrocknungserscheinungen des Hornhautepithels an beiden Augen. Dann erhält man keine brauchbare Messung mehr. Deshalb sollte nur kurz und wechselweise an beiden Augen gemessen werden. Diese eventuellen Austrocknungserscheinungen verschwinden nach kurzer Zeit ohne Behandlung.

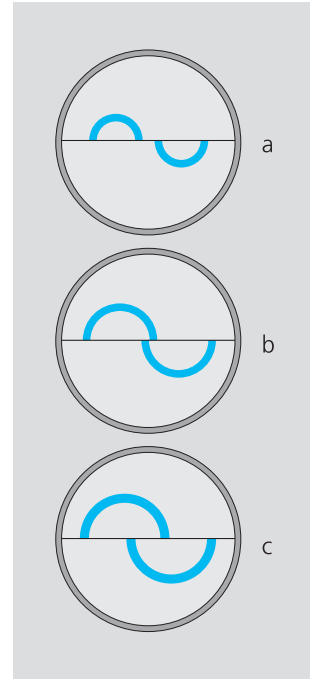


Abb. 25  
Messfiguren mit dem  
Applanations-Tonometer

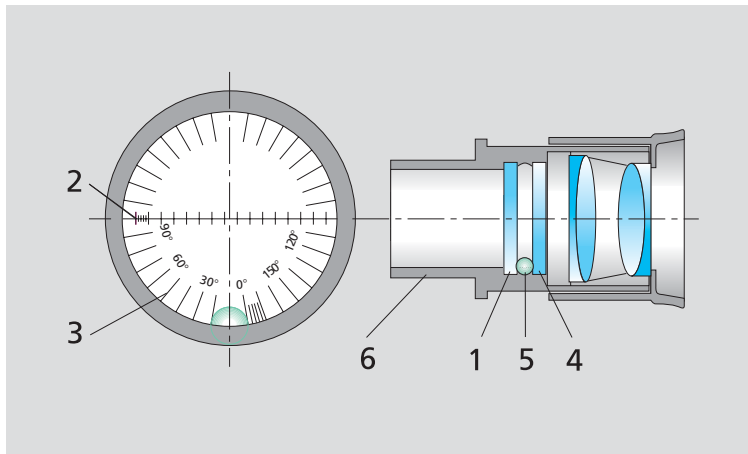


Abb. 26  
Messokular (Okularbild)



Abb. 27  
Spaltlampenmikroskop mit  
Mitbeobachtereinrichtung

## 5.2 Längen- und Winkelmessung

Für den Augenarzt, aber auch für den Kontaktlinsen-anpasser ist es von großem Vorteil, dass mit Zusatzeinrichtungen an den Spaltlampen SL 115 Classic/120/130 auch Längen- und Winkelmessungen vorgenommen werden können. So sind z.B. der Durchmesser der Cornea, der Pupille oder die Lidspaltenhöhe messbar, bzw. die Achse einer torischen Kontaktlinse zu bestimmen. Diese Messungen erfolgen mit einem Spezialokular (Abb. 26), das sich anstelle eines der normalen Standardokulare in den Binokulartubus der Spaltlampe einstecken lässt und mit mittlerer Vergrößerung 12x benutzt werden sollte.

- 1 Strichplatte
- 2 Längenskala, Intervall 0,2 mm
- 3 Tabo-Winkelskala, Intervall 2°
- 4 Abschlussglas
- 5 Ablesekugel
- 6 Einschubstutzen

Der Abbildungsmaßstab in der Okularebene sollte 1 betragen. Bei anderen Vergrößerungen ist ein entsprechender Maßstabsfaktor anzuwenden. Das Okular hat eine Strichplatte mit einer linearen Durchmessererteilung über 15 mm bei einem Skalenintervall von 0,2 mm; die Winkelskala mit einer Kreisteilung von 360° zur Messung der Inklinationswinkel hat ein Skalenintervall von 2°. Der zur Winkelmessung erforderliche künstliche Horizont wird durch eine Schwerkraftkugel erzeugt, da die Messung nur gültig ist, wenn die 0°-Achse wirklich horizontal liegt.

Für die Messung des Inklinationswinkels ist der Abbildungsmaßstab in der Okularebene ohne Belang; für die Einstellung der Vergrößerung an der Spaltlampe ist lediglich ein ausreichend großes Objektfeld von Bedeutung.

Darüberhinaus stehen Messokulare 10x zur Verfügung. Die Strichplatte hat eine lineare Teilung von 10 mm bei einem Skalenintervall von 0,1 mm. Überblickmäßige Längenmessungen lassen sich z.B. für Verlaufskontrollen auch dadurch realisieren, dass man einen Spalt entsprechender Größe auf das zu messende Objekt legt und die Spaltlänge an einer Skala abliest. (SL 115 Classic/120/130)

## 5.3 Sonstiges Zubehör

Neben dem bereits erwähnten umfangreichen Zubehör für die Spaltlampen muß noch auf den Mitbeobachtertubus hingewiesen werden, der speziell für Lehr- und Ausbildungszwecke interessant ist (Abb.27).

# 6. Geschichte der Spaltlampe

## und Entwicklung der Fotografie des optischen Schnittes

So wichtig, wie die Spaltlampe heute für die ophthalmologische Praxis ist, so interessant ist auch ihre Entwicklungsgeschichte. In ihren gerätetechnischen Feinheiten wird sie allen verständlich sein, die die Funktionen moderner Spaltlampen kennen und handhaben können.

Bei einer historischen Bewertung der Spaltlampenentwicklung ist zu bedenken, dass mit den Geräten selbst stets auch neue Untersuchungsmethoden einzuführen waren, die naturgemäß weniger von der Arbeit des Konstrukteurs, als vom Bemühen und Weitblick der beteiligten Ophthalmologen beeinflusst wurden. Mit anderen Worten: Weniger die technische und konstruktive Güte einer Spaltlampe wurde für deren Ausbreitung maßgebend, als vielmehr die Praktikabilität des zugrunde gelegten Untersuchungsverfahrens.

Es hat zwei konträre Tendenzen bei der Entwicklung gegeben. Die eine hat ihren Ursprung in der klinischen Forschung. Sie drängt auf eine Vermehrung der Funktionen und die Einführung und Anwendung immer modernerer und komplizierterer Technik. Die andere Tendenz hat ihren Ursprung in der Untersuchungspraxis und zielt auf technische Optimierung und Beschränkung im Sinne einer nutzbringenden Anwendung.

Erkrankungen am Auge sind weniger durch manuelles Abtasten als durch visuelle Inspektion zu diagnostizieren. Am äußeren Auge dienten dazu schon in früher Zeit vergrößernde Hilfsmittel. Nicht ohne weiteres möglich war dagegen die Beobachtung des inneren Auges, speziell des Augenhintergrundes mit Netz- und Aderhaut.

Dies gelang erst mit der Erfindung des Augenspiegels durch Hermann von HELMHOLTZ (1850). Das ist zugleich die Geburtsstunde der modernen Augenheilkunde. Bis zu dieser grundlegenden Erfindung war es für die Medizin und speziell für die Ophthalmologie ein weiter Weg.

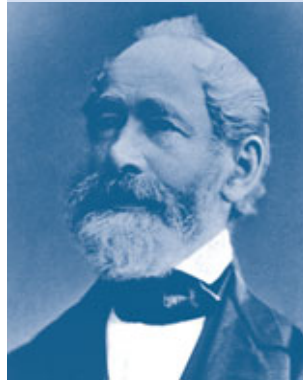


Abb. 28  
Carl Zeiss



Abb. 29  
Ernst Abbé



Abb. 30  
Alvar Gullstrand

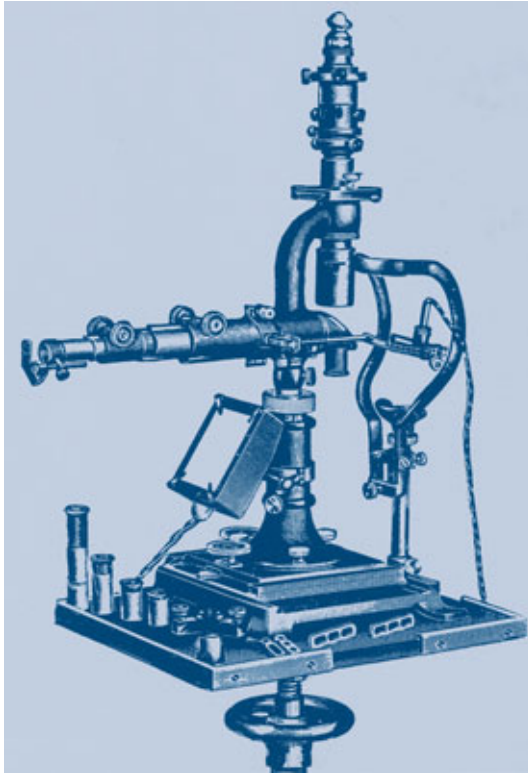


Abb. 31  
Großes Ophthalmoskop  
nach Gullstrand (1911)

In der Augenheilkunde wird heute fast nur der Begriff "Spaltlampe" verwendet. Die korrekte Bezeichnung müsste jedoch "Spaltleuchtengerät" sein. Die heutigen Geräte sind eine Kombination zweier getrennter Entwicklungswege: des Hornhautmikroskops und der eigentlichen Spaltleuchte. Das Hornhautmikroskop ist das ältere Gerät.

Vergrößernde Sehhilfen - auch binokulare - waren natürlich schon vor den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts bekannt. So z.B. die Kugellupe (ca. 50 dpt) nach HARTNACK.

Die periskopischen "Stöpsellinsen" (Steinheil-Coni; etwa 1866) waren die Vorgänger der Fernrohrbrille, konnten aber auch wie die Lupe nach HARTNACK verwendet werden. Um die Jahrhundertwende folgten dann verschiedene Typen von Lupenbrillen. Schon vor 1872 verwendete LIEBREICH ein monokulares Mikroskop als Hornhautmikroskop. Die erste eigenständige Entwicklung auf diesem Gebiet jedoch war

die "Corneal-Loupe", die der Rostocker Mechaniker WESTIEN im Auftrag von W.v.ZEHENDER im Jahre 1886 herstellte. Sie erfreute sich großer Beliebtheit und erfuhr manche technische Veränderung. Optisch handelte es sich bei diesem Gerät um eine Fernrohrlupe mit zehnfacher Vergrößerung. Bei ZEISS wurde zu dieser Zeit ein Auflichtmikroskop nach GREENOUGH hergestellt. Der Jenaer Physiker CZAPSKI entwickelte 1899 dafür zum horizontalen Gebrauch ein neues Stativ mit einer Beleuchtungseinrichtung. Diese wurde bald darauf durch eine Bogenführung schwenkbar gemacht, dazu kam noch ein holzgefertigter Kreuztisch mit Gesichtsrahmen. Durch Okular- und Objektivtausch waren Vergrößerungsstufen von 13 - 35fach möglich.

Der wesentliche Unterschied zu dem Gerät von v. ZEHENDER war das bildumkehrende Prismensystem nach dem französischen Ingenieur PORRO. Dadurch konnte man das astronomische Fernrohrsystem nach KEPLER verwenden, mit dem höhere Vergrößerungsstufen zu erzielen sind. Bei Hornhautmikroskopen begrenzt man diese auf maximal 40fach, da sonst die Bewegungsunruhe des Patienten stört. Heute wird für Hornhautmikroskope meist eine Kombination des KEPLER'schen Fernrohrs mit einem Vergrößerungswechsler der GALILEI'schen Bauart verwendet.

Das erste Konzept einer Spaltlampe (1911) geht auf den großen Ophthalmologen Allvar GULLSTRAND und das "Große Reflexfreie Ophthalmoskop" (Abb. 31) zurück. GULLSTRAND wurde im gleichen Jahr mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Das Gerät wurde von CARL ZEISS gebaut. Es bestand aus einer speziellen Leuchte, die über eine höhenverstellbare vertikale Säule mit einem kleinen Tischfuß verbunden war. Dieser Fuß konnte auf einer Glasplatte frei verschoben werden. Die Leuchte verwendete als Lichtquelle einen Nernststift, der über eine einfache Optik in einen Spalt abgebildet wurde. Dieser Spalt wurde durch eine asphärische Ophthalmoskoplinsse weiter in das Auge abgebildet. Zur stereoskopischen Beobachtung diente eine binokulare Fernrohrlupe. Ophthalmoskoplinsse und

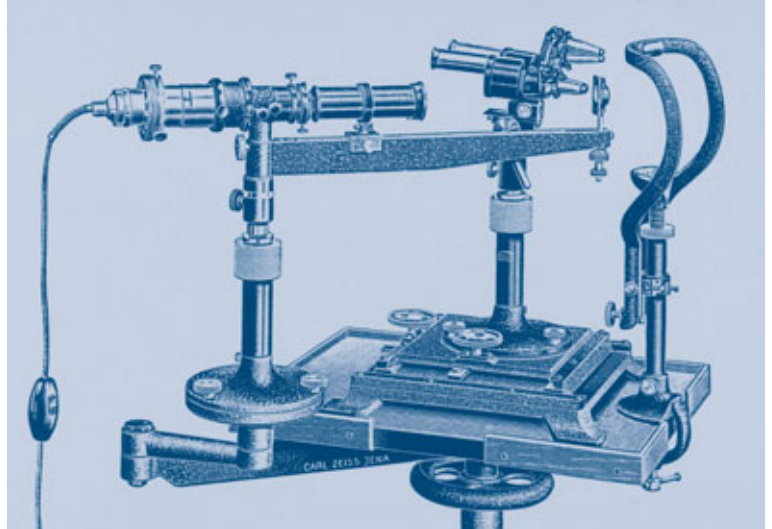
Fernrohrlupe wurden mit je einer Hand gehalten. Kontraste entstanden durch unterschiedliche Lichtstreuung an den verschiedenen Medien. Das Gerät fand jedoch keine weitere Beachtung. Der Begriff "Spaltlampe" taucht in der Literatur bis 1914 nicht mehr auf.

Es gibt keine Beschreibung eines Spaltlampenbefundes von GULLSTRAND selbst. Die erste diesbezügliche Beobachtung gibt es erst 1914 von ERGGELET in den Klinischen Monatsblättern.

In die Zeit nach 1912 fällt auch die Entwicklung der ersten Netzhautkamera in Jena nach NORDENSON. Erste Aufnahmen von NORDENSON sind aus dem Jahr 1915 bekannt. 1925 entstand bei CARL ZEISS die Netzhautkamera mit Bogenlampe als intensiver Lichtquelle in enger Anlehnung an das GULLSTRAND'sche "Große Reflexfreie Ophthalmoskop".

In den Jahren bis 1919 wurde die GULLSTRAND'sche Spaltlampe von HENKER, VOGT u.a. in verschiedener Hinsicht verbessert. Zunächst wurde eine mechanische Verbindung von Leuchte und Ophthalmoskoplinsse geschaffen. Diese Beleuchtungseinrichtung wurde mittels eines Doppelgelenkarms an der Tischsäule befestigt. Auf der Tischplatte konnte das binokulare Mikroskop, gehalten auf einem kleinen Stativ, frei verschoben werden. Später wurde dafür ein Kreuztisch eingeführt. Hinsichtlich der Optik wurde durch VOGT das KOEHLER'sche Beleuchtungsprinzip eingeführt und der rötlich strahlende Nernststift durch die hellere und weißere Glühlampe (Nitalampe) ersetzt.

1914 wurde auch durch HENKER versuchsweise ein Gerät ausgeführt, dessen Prinzip zunächst verworfen, jedoch viele Jahre später in abgewandelter Form Bedeutung erlangen sollte. Hierbei war der Doppelgelenkarm der Mikroskopbeleuchtung nicht an der Tischspindel, sondern an der Mikroskopsäule befestigt. Es handelt sich dabei um die erste Zwangskopplung von Mikroskop und Beleuchtung bezüglich einer Koordinatenbewegung.



Erwähnenswert sind auch die Untersuchungen von VOGT aus den Jahren 1918 - 1920, die er mit einer GULLSTRAND'schen Spaltlampe von CARL ZEISS machte. Dieses Gerät hatte als Lichtquelle statt der Nitalampe einen Kohlebogen mit Flüssigkeitsfilter. Dabei wurde die große Bedeutung der Farbtemperatur und der Leuchtdichte der Lichtquelle für die Spaltlampenuntersuchung erkannt und die Voraussetzung für die Untersuchungen im rotfreien Licht geschaffen.

Abb. 32  
Spaltlampe nach Gullstrand  
mit Hornhautmikroskop  
nach Köppe (1911)

Den Wert der Erfindung von GULLSTRAND scheint erst KOEPPE richtig erkannt zu haben. Von ihm stammen die bedeutendsten Veröffentlichungen in GRAEFE's Archiv zwischen 1916 und 1919. Die Krönung seiner Forschung war sein Buch „Mikroskopie des lebenden Auges“ (1920; 2. Band 1922).

KOEPPE versuchte 1920 auch, durch die Einführung der Kontaktglasuntersuchung des Fundus, die Spaltlampe, im Vergleich zu den fortgeschritteneren Methoden der Ophthalmoskopie, für die Untersuchung der hinteren Augenabschnitte einzusetzen. Und er ergänzte, in Zusammenarbeit mit HENKER, die Spaltlampe nach GULLSTRAND mit einem binokularen Hornhautmikroskop zu einem Spaltlampengerät.

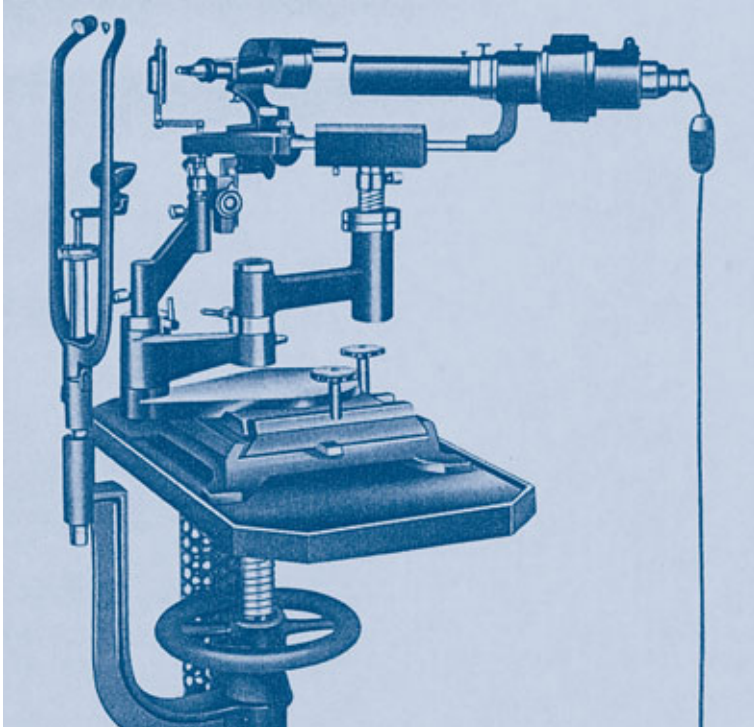


Abb. 33  
Spaltlampe von  
Bausch & Lomb nach  
Köppe (1926)

Etwa 1926 wurde das Spaltlampengerät wieder überarbeitet. Durch die vertikale Anordnung des Spaltprojektors (Spaltlampe) war das Gerät leicht zu handhaben. Damit war bei CARL ZEISS eine relativ kleine, kompakte Geräteeinheit entstanden - die Spaltlampe nach COMBERG (1933). Erstmals wurde dabei auch die Achse durch das Patientenauge als gemeinsame Drehachse für Spaltlampe und Mikroskop festgelegt, ein Grundprinzip für jedes später entwickelte Spaltlampengerät. Das Gerät hatte jedoch noch keinen Koordinaten-Kreuztisch für die Geräteeinstellung, sondern nur eine seitenbewegliche Kinnauflage für den Patienten. Die Bedeutung der fokalen Beleuchtung war noch nicht in vollem Umfang erkannt worden.

Durch die Zwangskopplung zwischen Mikroskop und Beleuchtung wurden in diesem Sinne sogar die Möglichkeiten der GULLSTRAND'schen Spaltlampe wieder eingeschränkt.

Auf den Untersuchungen von KOEPPE aufbauend wurde 1926 von der Firma BAUSCH & LOMB eine Spaltlampe mit zukunftsweisenden Merkmalen vorgestellt, die sich auf dem Markt aber nicht besonders durchsetzen konnte. Sie hatte unterhalb des Patientenauges eine gemeinsame Schwenkachse für Mikroskop und Beleuchtung sowie eine gemeinsame Horizontalbewegung beider Elemente mittels eines Kreuzschlittens. Die Höhenverstellung von Beleuchtung und Mikroskop musste mit der Tischdrehspindel vorgenommen werden, wobei die Kopfstütze feststand. Das war zwar umständlich, aber zum ersten Mal wurde eine Zwangskopplung zwischen Mikroskop und Beleuchtung in Bezug auf die Geräteanpassung in allen drei Koordinaten erreicht.

1927 wurde von ZEISS die von HARTINGER entwickelte Iris-Stereokamera vorgestellt, die einen wesentlichen Fortschritt gegenüber den vielfach gebräuchlichen Eigenbaugeräten darstellte.

Die Dokumentation der Befunde war in dieser Zeit noch auf die zeichnerische Darstellung beschränkt, meisterhafte Zeichnungen von Ophthalmologen oder wissenschaftlichen Zeichnern beherrschten die Atlanten und Lehrbücher (z.B. Spaltlampenatlas von MEESMANN, 1927). Ohne die noch heute instruktiven Abbildungen des Kunstmalers BREGENZER wäre das Standardwerk von VOGT "Lehrbuch und Atlas der Spaltlampenmikroskopie" (1931) nur eine trockene Darstellung exakt beobachteter Veränderungen, deren bildliche Vorstellung der Fantasie des Lesers überlassen bliebe.

Ungefähr 20 Jahre nach der Vorstellung der ersten Spaltlampe durch GULLSTRAND demonstrierte Rudolf THIEL die ersten Fotografien des optischen Schnittes ("fotografierte Spaltbilder") 1930 auf der 48. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft. Dies war der Anfang der Spaltlampenfotografie. THIEL benutzte zur Beleuchtung eine damals gebräuchliche Bogenspaltlampe. Die Aufnahmeapparatur bestand aus einem mikrofotografischen Okular, als Objektiv

wurde ein ZEISS-Biotar ( $f = 4 \text{ cm}$ , Öffnung 1:1,4) benutzt. Mit Hilfe eines Rohrstutzens brachte er den Kameraauszug auf 20 cm, so dass auf der Mattscheibe ein Bild in 3,5 - 4facher Vergrößerung beobachtet werden konnte. Die Belichtungszeit, bei einer Spaltbreite von 0,5 mm, betrug  $1/25 \text{ s}$ . Bei einem breiteren Spalt von 1 - 1,5 mm konnte sie auf  $1/50 \text{ s}$  verringert werden.

Die Schärfentiefe war jedoch noch sehr gering, die Linsenfotos lassen aber immerhin schon feine Strukturen wie Trübungen bei *Cataracta coerulea* erkennen. An die Fotografie des optischen Schnittes knüpfte THIEL die Hoffnung, eine objektive Methode zu entwickeln, mit der man vor allem Linsentrübungen und ihre Progredienz festhalten könne. Damit ergäbe sich eine Möglichkeit, einen Beitrag zu der umstrittenen Frage der medikamentösen Behandlung des grauen Stars zu leisten.

Nur wenig später zeigte der Argentinier PAVIA, der sich seit 1929 besonders mit der Fundusfotografie befasste, ebenfalls Aufnahmen des optischen Schnittes. Auch er verwendete eine Spaltlampe mit Bogenlicht. Mit "ultrasensiblen" Platten und sehr kurzen Belichtungszeiten gelang ihm die Darstellung des Tyndall-Phänomens in der Vorderkammer und eine Fotografie der einzelnen Schichten der Linse.

Um 1930 brachte die Firma LEITZ eine Fernrohrlupe auf den Markt, die nach dem Prinzip des GALILEI'schen Fernrohrs aufgebaut war. Die Vergrößerung des Arbeitsabstandes und des Gesichtsfeldes waren die erzielten Verbesserungen, der längere Weg wurde durch ein Prismensystem verkürzt. Das Prinzip wurde bis in die jüngste Zeit verwendet.

Für die Fokussierlupe, die anfänglich noch in der Hand gehalten wurde, schuf HENKER in Jena einen Haltearm. Für die Lupe selbst ließ ARRUGA 1925 einen Mechanismus zur Feineinstellung anfertigen. Das dazwischen stehende Blendenrohr war von KOEPPE wegen der Streustrahlung empfohlen worden. Später ließ er vor dieses Rohr eine Rekoss-Scheibe mit

Farbfiltern montieren. Als Zusatzgerät wurde 1936 noch das Kolloidometer nach RÖNNE zur vergleichsweisen Beurteilung von Kammerwassertrübungen geschaffen.

Entscheidende Impulse für die weitere Spaltlampenentwicklung kamen ab 1933 von GOLDMANN, die durch die Firma HAAG-STREIT umgesetzt wurden. Bei ihren Geräten wurde die Koordinatenverstellung horizontal und vertikal mit drei Bedienelemente am Kreuztisch ausgeführt. Mit dem Kreuztisch verbunden war auch hier die gemeinsame Schwenkachse von Mikroskop und Beleuchtung. Ihre virtuelle Verlängerung läßt sich an jeden Punkt des zu untersuchenden Auges bringen.

Ein weites verbessertes Spaltlampenmodell kam 1938 von der gleichen Firma auf den Markt. Hier wurde zum ersten Mal ein Steuerknüppel eingesetzt, der beliebige Horizontalbewegungen ermöglichte. Auf den Doppelgelenkarm der Beleuchtung sowie andere, aus heutiger Sicht unnötige Separatverstellungen wurde verzichtet. Es ist das Verdienst GOLDMANN's, die Bedeutung der fokalen Beleuchtung für die Untersuchung der Augenmedien klar erkannt und im Hinblick darauf eine Geräteverbesserung, aber gleichzeitig auch eine Gerätevereinfachung betrieben zu haben.

Für die Untersuchung des Fundus mittels Zusatzgläsern kamen 1933 konstruktive Vorschläge durch VALOIS und LEMOINE, 1941 durch HRUBY, weiterhin mit dem Pyramiden-Gonioskop nach VAN BEUNINGEN und schließlich 1948 durch GOLDMANN mit seinem Dreispiegelkontaktglas.

In sehr weitreichender Erkenntnis der mit der fotografischen Darstellung aufs engste verbundenen Problematik der Schärfentiefe stellte GOLDMANN 1939 ein Gerät vor, das eine gleichzeitig scharfe Spaltaufnahme von Hornhaut und Linse ermöglichte. Es beruhte auf einem Sukzessivverfahren, bei dem Spalt- und Filmbewegung mechanisch gekoppelt waren. Diese Methode wurde in erster Linie für



Abb. 34  
Zeiss-Spaltlampe nach  
H. Littmann (1950)

Messzwecke entwickelt. Damit wurde durch GOLDMANN und seine Schüler das Gebiet fotografischer Messungen am Auge erschlossen und in der Folgezeit weiter ausgebaut.

1940 berichtete HEINZ als erster über Schmalfilmaufnahmen des optischen Schnittes, später (1951) wandte sich auch JONKERS der Kinematographie mittels Spaltlampe zu, die Methode insgesamt fand jedoch keine weitere Verbreitung.

Eine Weiterentwicklung der Spaltlampe nach COMBERG erfolgte bei CARL ZEISS in Jena nach dem 2. Weltkrieg. Der Spaltprojektor wurde vor dem Mikroskop frei drehbar angeordnet. Als Mikroskop fand zunächst das Präpariermikroskop PM XVI (1946 - 1949) Verwendung, später das Stereomikroskop SM XX (ab 1949/1950) mit Galilei-Wechsler. Dieses Schaltwalzenprinzip mit Fernrohrsystemen wird neben moderner ZOOM-Optik auch

weiterhin für Spaltlampen und Operationsmikroskope eingesetzt.

1950 wurde auch bei CARL ZEISS in Oberkochen die Spaltlampe durch LITTMANN überarbeitet. Er übernahm ebenfalls die Steuerung nach GOLDMANN als auch den vertikalen, über ein Prisma abgewinkelten Beleuchtungsstrahlengang von COMBERG. Die Spaltbeleuchtung war während der Beobachtung vor dem Mikroskop drehbar und es fand das Stereo-Fernrohrsystem mit gemeinsamem Objektiv und Galilei-Vergrößerungswechsler Verwendung.

Dem Stand der fotografischen Technik folgend wurden nunmehr weitere Verfahren in die Fotografie des optischen Schnittes einbezogen: Die Schwarz-Weiß-Stereofotografie, die Farbfotografie und die Stereo-Farbfotografie.

1952 berichtete als erster Autor BELMONTE-GONZALEZ über Versuche einer biomikroskopischen Stereofotografie. Er brachte dabei eine Stereo-Kamera (ICA 45/107 mit Tessar 1: 4,5;  $f = 6,5$  cm) unmittelbar an die Okulare des Mikroskops einer LITTMANN-Spaltlampe an. Eine zusätzliche Lichtquelle diente der Beleuchtung der Umgebung des Spaltes. Die Aufnahmen wurden mit 16facher Vergrößerung gemacht, die Belichtungszeiten waren mit  $1/5 - 1$  s relativ lang.

NORTON (1964) koppelte ebenfalls eine zweiäugige Stereo-Kamera mit den Okularen einer Spaltlampe. Später entwickelte LEE-ALLEN ein ähnliches System, indem er zwei Kameras mit dem optischen System einer Spaltlampe koppelte. Die so erhaltenen Einzelbilder mussten jedoch im Diapositiv sehr exakt aneinandergesetzt werden, da sonst der stereoskopische Effekt nicht gegeben war.

MATTHÄUS bevorzugte dagegen 1961 einen strahlenteilenden Vorsatz in Verbindung mit dem von IHAGEE/Dresden hergestellten Vielzweckgerät, einem Ringblitz und einer Spaltleuchte SM XX, bei der statt des Mikroskops die Kamera montiert war.



Parallel dazu wurde von verschiedenen Autoren (PRINCE 1956, LOISILLIER, SCHIFF-WERTHEIMER 1957, DUGAGNI 1957, STEPANIK 1959, OSSWALD 1959) daran gearbeitet, die Glühlampenbeleuchtung zur Fotografie durch einen Elektronenblitz zu ersetzen.

1965 entstand aus der Spaltlampe nach LITTMANN die Spaltlampe 100/16, der dann 1972 die Spaltlampe 125/16 folgte. Beide Geräte unterschieden sich lediglich durch den Arbeitsabstand von 100 mm bzw. 125 mm.

Mit der Entwicklung der Fotospaltleuchte (1966) kam das erste Gerät dieser Art auf den Markt, das als vollwertige und normale Spaltlampe mit integriertem Elektronenblitz die Fotografie von Spaltbefunden als Flachbild bzw. durch eine einfache Umschaltung als Stereobild ermöglichte. Fotografie und Beobachtung erfolgten dabei durch das gleiche Objektiv. Aus diesem Gerät wurde dann 1970 die Spaltleuchte 69 für Routineuntersuchungen entwickelt.

Zur gleichen Zeit kam auch die Fotospaltlampe auf den Markt, bei der die Fotografie (Flachbild) nur über einen Fotoansatz möglich war. Erst über einen optischen Teiler, an den seitlich 2 Kameras angesetzt wurden, war auch Stereofotografie möglich.

1976 wurde mit der Entwicklung der Spaltleuchte 110 und den Fotospaltleuchten 210/211 ein neuer technologischer Weg beschritten. Beide Geräte, aus vereinheitlichten Baugruppen montiert, waren so die Grundlage für eine hohe Multivalenz im Gerätesortiment. Zugleich erfolgte auch die Umstellung auf Halogenlampenbeleuchtung, die ein wesentlich helleres Licht gibt und im Spektrum dem Tageslicht ähnlicher ist.

1976 kam die Spaltlampe 10 SL heraus. Es handelte sich dabei um eine Einfachspaltlampe, aus der zusammen mit einem Ophthalmometervorsatz das Kombinationsgerät 10 SL/O entstand. 1977 folgte die Spaltlampe 30 SL, die dann als 30 SL/M auch für die Messungen am Auge universell einsetzbar war.



Abb. 35  
Spaltleuchte 69 (1970)

1977/1978 kam die Spaltlampe 75 SL auf den Markt. Sie war speziell für die klinische Forschung und Lehre konzipiert und wurde 1987 zur Fotospaltlampe 40 SL/P weiterentwickelt. 1988 wurde die Spaltlampe 20 SL der Fachwelt vorgestellt. Dieses komfortable Routinegerät erleichterte wesentlich die Arbeit des Augenarztes in der täglichen Praxis.

Ab 1994 erschien bei CARL ZEISS die neue Baureihe von Spaltlampen, von der Einfachspaltlampe SL 105 über die Routinespaltlampe SL 120 bis hin zur Universalspaltlampe SL 160.

Das Sortiment wurde 1996 durch die Spaltlampe SL 130 ergänzt, die insbesondere die Vorteile der neuen Spaltlampenoptik auch Anwendern in der Lasertherapie zugänglich macht.

1999 stellte CARL ZEISS die Spaltlampe SL 115 Classic als ideales Gerät für Routineuntersuchungen und Kontaktlinsenanpassung vor.



Abb. 36  
Spaltlampe SL 115 Classic  
(1999)

Zur Messung am vorderen Augenabschnitt und zur Bewertung von Gewebe- und Zellstrukturen werden Strichplatten verwendet. Ein Spezialokular dient zur Längen- und Winkelmessung. Anschlussmöglichkeiten für Mitbeobachtung und TV runden nunmehr das Zubehörprogramm für Lehre und Forschung ab.

Das primäre Anwendungsgebiet einer Spaltlampe ist die Inspektion der vorderen Augenabschnitte einschließlich der Linse und des nahen Glaskörpers. Mit dem Kontaktglas werden auch tieferliegende Augenabschnitte beobachtbar, vor allem der Kammerwinkel, der im direkten optischen Strahlengang nicht erreichbar ist.

Die Entwicklung des Applanations-Tonometers zur Messung des Augeninnendruckes am sitzenden Patienten erweiterte den Einsatzbereich des bisherigen reinen Beobachtungsgerätes "Spaltlampe" bereits zu einem Messgerät. Das wurde durch weitere Zusatzeinheiten zur Messung der Dicke der Hornhaut und des Abstandes der Hornhaut zur Linse (Vorderkammertiefe) noch unterstrichen. Ein Vorsatz zur Inspektion des Hornhautendothels machte die Spaltlampe noch unentbehrlicher. VOGT konnte bereits 1918 durch die Untersuchung der Oberflächenstruktur der reflektierenden Schicht, des sogenannten Spiegelbezirks, mit 40facher Vergrößerung das Hornhautendothel in vivo sehen.

# 7. Literaturquellen.

## **A. Gullstrand:**

Demonstration der Nernstspaltlampe  
Heidelberger Bericht 1911

## **A. Vogt:**

Lehrbuch und Atlas der Spaltlampenmikroskopie  
des lebenden Auges  
Berlin 1930 (erste Auflage 1921)

## **F. Fertsch:**

Zur Entwicklung der Spaltlampe  
Z. f. ophthalm. Optik 30, 1941

## **K. Hruby:**

Spaltlampenmikroskopie des hinteren Augen-  
abschnittes ohne Kontaktglas  
Mitt. d. Sitzg. der Wiener Ophthalm. Ges. 1941

## **H. Littmann:**

A New Slitlamp Apparatus  
Am. J. Ophthalm. 33, 1950

## **H. Littmann:**

Grundlegende Betrachtungen zur Ophthalmometrie  
v. Graefes Arch. f. Ophthalmologie, Bd. 151, 1951

## **W. Jaeger:**

Tiefenmessung der menschlichen Vorderkammer  
mit planparallelen Platten  
v. Graefes Arch. f. Ophthalmologie, Bd. 153, 1952

## **H. Goldmann u. Th. Schmidt:**

über Applanationstonometrie  
Ophthalmologica Vol. 134, No. 4, 1957

## **G. Littmann:**

Spaltbildphotographie  
ZEISS-Information Nr. 56, 1965

## **H. Littmann:**

Die neue ZEISS-Spaltlampe;  
ZEISS-Information Nr. 58, 1965

## **K. H. Wilms:**

Über eine neue Pupillenteilung des  
Krahn-Ophthalmometers  
v. Graefes Arch. f. Ophthalmologie, Bd. 175, 1968

## **H. Goldmann:**

Fokale Beleuchtung in:  
"Die ophthalmologischen Untersuchungsmethoden",  
Bd 1, W. Straub, Stuttgart 1970

## **E.-M. Meyer:**

Atlas der Spaltlampenphotographie und  
Einführung in die Aufnahmetechnik, Stuttgart 1976

## **Müller/Brandt:**

Spaltlampenfotografie der vorderen Augenabschnitte,  
Thieme Leipzig 1976

## **O. Müller:**

10, 30, 75 SL: Fortschritt aus Tradition, Ein neues  
Spaltlampenprogramm, ZEISS-Information Nr. 85, 1976

## **H. Riedel:**

Die Operationsspaltleuchte,  
ZEISS-Information Nr. 85, 1976

## **Prospekte und Bedienungsanleitungen**

Ausführliche Hinweise auf Schriften finden sich  
insbesondere in Goldmann, H.: Fokale Beleuchtung, in:  
"Die ophthalmologischen Untersuchungsmethoden",  
Bd 1, W. Straub, Stuttgart 1970

Eine Abhandlung der Gerätetechnik mit Hinweisen  
für die praktische Anwendung nach Ortwin Müller;  
in der 1. Überarbeitung und Neufassung von:

Siegfried Passern  
Dr. Wilfried Bißmann  
Detlef K. Biernat 1996

in der 2. Überarbeitung und Neufassung von:  
Burkhard Wagner 2001.



**Carl Zeiss Meditec AG**  
Göschwitzer Str. 51-52  
07745 Jena

Tel.: (0 36 41) 22 0-3 33  
Fax: (0 36 41) 22 0-2 82  
info@meditec.zeiss.com  
www.meditec.zeiss.de