

Methode:

Lichtfilter für die Mikroskopie und MikrofotografieLiteratur: GÖKE, G.: Moderne Methoden der Lichtmikroskopie
Stuttgart 1988.

Anwendungsbereich:

Alle lichtmikroskopischen und mikrofotografischen Systeme

Durch eine spektrale Korrektur des Energieflusses im Mikroskop mit Hilfe von Lichtfiltern kann die optimale Anpassung des von der Mikroskopierleuchte emittierten Lichtes an die Erfordernisse des Untersuchungsverfahrens erreicht werden. Für den Praktiker ist die Kenntnis der Filtereigenschaften (Transmissions- bzw. Absorptionskurve) und im Hinblick auf die Mikrofotografie die Kenntnis des Gesamtintensitätsverlustes (Filterfaktor) wichtig. Die Filterkurven sind mit einem Spektralphotometer leicht zu ermitteln oder können den Katalogen der Hersteller entnommen werden. Für die wichtigsten Filter werden sie in diesem Beitrag abgebildet. Hingegen sind die Filterfaktoren weitgehend von der spektralen Empfindlichkeit (Sensibilisierung) der fotografischen Schicht und deren Verarbeitung abhängig. Sie werden hier für die in der Mikrofotografie gebräuchlichsten Schwarzweiß-Dünnschichtfilme veröffentlicht (s. Tabelle).

Lichtfilter sollen möglichst im Beleuchtungsstrahlengang angeordnet werden (Ausnahme: Sperrfilter für die Fluoreszenzmikroskopie). Sie sind als polierte Rundscheiben mit einem Durchmesser von 32 mm vom Fachhandel lieferbar und passen in den Filterträger der meisten Mikroskope.

Eigenschaften der Lichtfilter

In der Masse gefärbte optische Gläser haben gegenüber anderen Lichtfiltern (farbige Gelatine- oder Kunststoff-Folien) viele Vorzüge, von denen die zeitliche Konstanz der optischen Eigenschaften, die Temperaturstabilität und die Variationsmöglichkeit der Schichtdicke die wichtigsten sind. Gegenüber den Interferenzfiltern, die in der Mikroskopie hauptsächlich als Selektions- und Kantenfilter eine Rolle spielen, besitzen sie den Vorteil einer praktischen Winkelunabhängigkeit und sind relativ preiswert.

Die Farbgläser lassen sich in zwei große Klassen einteilen. Bei der ersten sind im Glas einfache oder komplexe Ionen gelöst. Das Glas ist *direkt* gefärbt, zum Beispiel mit Nickeloxid (purpur), Kobaltoxid (blau) oder Chromoxid (grün). Bei der zweiten Klasse, den sogenannten Anlaufgläsern, sind ausgeschiedene submikroskopische Teilchen als Farbträger anzusehen. Die Filterwirkung dieser Gläser wird nicht nur von der Zusammensetzung, sondern auch von der Größe der ausgeschiedenen Teilchen beeinflusst. Die Anlaufgläser erhalten ihre endgültigen Eigenschaften durch eine nachträgliche Temperaturbehandlung, wobei die Färbungen durch Zusätze von Schwefel (hellgelb), Cadmiumsulfid (gelb), Cadmiumselenid (rot) oder elementarem

Filter	Filterfaktoren für Dünnschichtfilme	
	ortho-chromatisch	orthopan-chromatisch
BG 14/2 mm	5	9
VG 5/2 mm	5	5
GG 475/2 mm	3	3
OG 570/2 mm	—	5
RG 610/2 mm	—	140
BG 36/2 mm	3	3
KG 2/3 mm	1	1
BG 34/2 mm	2,5	3
GG 10/2 mm	3	3
BG 12/2 mm	10	20
VG 9/2 mm	8	9

Tabelle: Filterfaktoren (= Verlängerungsfaktoren) der gebräuchlichsten Lichtfilter. Diese Faktoren sind Näherungswerte, die empirisch ermittelt wurden.

Gold (rosa bis rubin) hervorgerufen werden. Die Anlaufgläser spielen als Kantenfilter eine große Rolle, zum Beispiel in der Fluoreszenzmikroskopie. Ihre sehr steile Absorptionskante kann durch Führen des Anlaufprozesses im Bereich von 400 bis 700 nm beliebig variiert werden.

Lichtfilter schwächen das von einer Lichtquelle emittierte weiße Licht entweder gleichmäßig (Neutralfilter) oder unter Bevorzugung gewisser Wellenlängengebiete (Farbfilter) gemäß der Beziehung eingestrahle Energie = reflektierte + absorbierte + durchgelassene Energie. Streuung und Fluoreszenz können praktisch vernachlässigt werden. Der sogenannte Transmissionsgrad ist gleich dem Verhältnis von durchgelassener zu auftreffender Lichtenergie. Er kennzeichnet in der Praxis das Durchlaßverhalten eines Farbfilters für Licht einer bestimmten Wellenlänge. In den hier abgebildeten Filterkurven wird der Reintransmissionsgrad (= Verhältnis des Lichtstromes am Ende zu dem am Anfang des Lichtweges innerhalb des Filters) verwendet. Der Ordinaten-Maßstab ist doppellogarithmisch gedehnt, so daß die Kurven die Form der typischen Farbkurve besitzen. Bei mittlerer Durchlässigkeit von 0,05 bis 0,80 ähneln sie dem einfachen Proportionalmaßstab. Die Gebiete hoher und geringer Durchlässigkeit erscheinen dagegen stark gedehnt. Das Ausgangsmaterial für viele Lichtfilter wird von dem Jenaer Glaswerk Schott & Gen. in Mainz hergestellt. Deshalb wurde die Bezeichnung der Schott-Farbglas-typen auch für die hier beschriebenen Filter verwendet. Die Zahl vor dem Schrägstrich bezeichnet die Glassorte. Auf diese Weise sind die Ergebnisse stets reproduzierbar. Schwankungen bleiben auf ein Mindestmaß beschränkt.

Einteilung der Lichtfilter

Es hat sich bewährt, die Lichtfilter in Abhängigkeit von ihrer Filterfunktion in vier Gruppen einzuteilen. Durch Kombination mehrerer Filter unterschiedlicher Transmission kann ein Filter mit neuen Eigenschaften gewonnen werden (s. Trichromfilter).

1. Kontrastfilter

Die in der Mikroskopie und Mikrofotografie üblichen Kontrastfilter bestehen meistens aus durchgefärbtem optischem Glas. Sie vergrößern den relativen Intensitätsunterschied zwischen zwei verschieden gefärbten Komponenten des mikroskopischen Präparates. Jedes farbige Lichtfilter kann als Kontrastfilter verwendet werden. Es gilt die einfache Regel, daß Objekte in der Farbe des Filters hell, komplementär gefärbte dagegen dunkel wiedergegeben werden. Nachfolgend werden die gebräuchlichsten Kontrastfilter beschrieben.

Blaues Kontrastfilter BG 14/2 mm

Zur Dämpfung gelblicher und bräunlicher Farbtöne ist dieses Filter besonders gut geeignet. Bei der Schwarzweiß-Mikrofotografie zarter Chitintile liefert es brillante Bilder. In der Histologie wird es bei der Untersuchung silberimprägnierter Schnitte eingesetzt, um beispielsweise die versilberten Nervenzellen kontrastreich darzustellen.

Grünes Kontrastfilter VG 5/2 mm (Bild 1)

Dieses kräftige Kontrastfilter für rötliche Objekte ist bei Färbungen mit Karmin, Hämatoxylin-Eosin, Safranin, Azo-Farbstoffen usw. dann einzusetzen, wenn keine richtige Tontrennung notwendig ist und es nur auf eine sehr kontrastreiche Abbildung ankommt.

Gelbes Kontrastfilter GG 475/2 mm oder GG 7/2 mm

Besonders kontrastreiche Bilder erhält man bei Verwendung dieses Filters von Objekten, die mit Direkttiefschwarz, Hämalan, Methylenblau, Gentianaviolett oder Azan gefärbt sind. Bei vielen gebräuchlichen Färbungen, zum Beispiel Hämatoxylin-Eosin, können mit Hilfe des gelben Kontrastfilters annähernd tonwertrichtige Aufnahmen hergestellt werden.

Oranges Kontrastfilter OG 570/2 mm oder OG 2/2 mm (Bild 3)

Die für das Gelbfilter geeigneten Färbungen werden von einem Orangefilter noch stärker kontrastiert. Es ist jedoch zu beachten, daß die spektralen Eigenschaften des Filters Korrektur und Auflösungsvermögen der Achromate negativ beeinflussen. Aus diesem Grunde liefern Apochromate bei Verwendung eines Orangefilters die besseren Resultate.

Rotes Kontrastfilter RG 610/2 mm oder RG 1/2 mm (Bild 4)

Bei grünen und blauen Objekten (Färbungen mit Alizarinviridin, Fast Green u. a.) sowie chlorophyllhaltigen Mikroorganismen wirkt das Rotfilter stark kontrastierend. Auch hierbei ist zu beachten, daß das Auflösungsvermögen starker Objektive beträchtlich gemindert wird.

Bandenabsorptionsfilter BG 36/2 mm (Bild 5)

Die Filterkurve des BG 36 hat mehrere Maxima und Minima. Bei der Untersuchung der spektralen Eigenschaften des Filters mit einem Spektroskop beobachtet man Absorptionsbanden, deren Stellung im Spektrum die Eigenschaften des Filters bestimmen. Aus dem Licht der Mikroskopierleuchte werden bestimmte Wellenlängenbereiche herausfiltriert. Das filtrierte Licht hat keine definierbare Eigenfarbe, beeinflusst jedoch den Farbkontrast des mikroskopischen Bildes in hohem Maße. Besonders die rötlichen Details werden effektiv abgebildet. Wenn keine farbtreue Wiedergabe erforderlich ist, kann das BG 36 auch bei Farbaufnahmen als Kontrastfilter verwendet werden.

2. Kompensationsfilter

Die Kompensationsfilter sollen die spektrale oder absolute Energie der Lichtquelle an das Untersuchungsverfahren anpassen. Definitionsgemäß gehört auch das Gelbfilter GG 475/2 mm zu den Kompensationsfiltern, wenn es nur für die tonwertrichtige Mikrofotografie benutzt wird.

Wärmestrahlen-Sperrfilter KG 2/3 mm (Bild 2)

Wenn bei Verwendung starker Lichtquellen, zum Beispiel Halogen-Hochleistungsmikroskopierleuchten oder Fluoreszenzleuchten mit Quecksilberhochdruckbrennern eine Erwärmung des Objektes oder der optischen Teile des Mikroskops verhindert werden soll, verwendet man ein Wärmestrahlen-Sperrfilter. Es enthält viel Phosphorsäure und schneidet die infrarote Wärmestrahlung ab, ohne dabei die Zusammensetzung des ultravioletten und sichtbaren Lichtes merkbar zu verändern.

Neutralfilter NG 3/1 mm, NG 4/1 mm, NG 5/1 mm u. a. (Bild 2)

Neutralfilter werden zur Dämpfung der absoluten Lichtenergie in den Strahlengang des Mikroskops gebracht. Die Anwendung neutral absorbierender Filter ist immer der Regelung durch Spannungsänderung an der Glühbirne vorzuziehen, weil hierbei keine Änderung der Farbtemperatur auftritt. Besonders häufig ist bei Farbaufnahmen eine neutrale Lichtdämpfung erforderlich; zum Beispiel dann, wenn die optimale Belichtungszeit in einem Bereich liegt, der bei Schlitzeckkammer zu Verwackelungsschärfen führt. Auch bei vielen Mikroblitzgeräten wird die Anpassung der Blitzintensität an die Aufnahmeparameter mit Hilfe von Neutralfiltern erreicht.

Konversionsfilter BG 34 u. a.

Kompensationsfilter, mit denen die Farbtemperatur des Lichtes nach höheren oder tieferen Werten verschoben wird, bezeichnet man als Konversionsfilter. Ihr Umwandlungsfaktor wird in decamired angegeben. So hat beispielsweise das Filter BG 34/2 mm einen Umwandlungsfaktor von -15 decamired. Es gleicht die Farbtemperatur der Glühlampe (33 decamired) an die Farbtemperatur des Tageslichtes (18 decamired) an. In der Polarisationsmikroskopie werden die Interferenzfarben der gesteinsbildenden Mineralien auf Tageslicht bezogen. Das BG 34/2 mm kann auch als Konversionsfilter für Aufnahmen auf Tageslichtfarbfilm verwendet werden.

Gelbgrünes Kompensationsfilter GG 10/2 mm (Bild 1)

Bei der Mikrofotografie mit panchromatischen und orthopanchromatischen Filmen entspricht die Umsetzung der Farbtonwerte in Graustufen nicht vollkommen dem Farbhelligkeitsempfinden unseres Auges. Für eine annähernd tonwertrichtige Wiedergabe ist die Verwendung des Gelbgrünfilters GG 10/2 mm zweckmäßig. Blau-rot-gefärbte Objekte (Ziehl-Neelsen-Präparate, Objekte mit Pappenheim-, May-Grünwald-, Papanicolau-, Hämatoxylin-Eosin-, Azanfärbung usw.) werden auf panchromatischem und orthopanchromatischem Filmmaterial tonwertrichtig in die entsprechenden Graustufen umgesetzt.

UV-Sperrfilter WG 280 bis WG 360 und GG 375 bis GG 395 (Bild 2)

Bei dieser Gruppe von Kantenfiltern handelt es sich um Weißgläser bzw. Gelbgläser mit steiler Absorptionskante in Richtung kurzer Wellenlängen. Sie werden in der Fluoreszenzmikroskopie als Schutzfilter (UV-Sperrfilter) eingesetzt. Durch Kombination mit den Erregerfiltern UG 1, UG 5, UG 11, BG 3 und BG 12 läßt sich deren Durchlässigkeit für kurzwelliges Licht beliebig begrenzen. Die Mikroblitzgeräte enthalten üblicherweise eine Xenon-Blitzröhre mit beträchtlicher UV-Emission, die bei Farbaufnahmen einen Blaustich bewirkt. Mit Hilfe eines UV-Sperrfilters, zum Beispiel WG 360/3 mm, wird das störende UV-Licht gesperrt.

Infrarot-Filter RG 695/3 mm, RG 715/3 mm bis RG 1000/3 mm (Bild 3)

Die Mikroskopie ist im nahen Infrarot mit Hilfe elektronenoptischer Bildwandler oder auf fotografischem Wege möglich. Für diesen Zweck werden infrarotdurchlässige Kantenfilter hergestellt, die eine steile Absorptionskante in Richtung des sichtbaren Spektrums haben. Für die Infrarot-Farbfotografie (Falschfarbenfilm) sind sie ungeeignet. Hingegen können sie in Abhängigkeit von der Sensibilisierung bei Aufnahmen auf infrarotempfindlichen Schwarzweiß-Filmen eingesetzt werden. Dabei muß die Fokussdifferenz zwischen der Einstellung mit sichtbarem Licht und der Aufnahme im IR-Licht beachtet werden. Wird die Scharfeinstellung im Licht des Rotfilters RG 630 bzw. RG 645/2 mm vorgenommen, so tritt die Fokussdifferenz kaum in Erscheinung. Für solche Aufnahmen sollte man apochromatische Objektive verwenden.

3. Korrektionsfilter

Vorhandene chromatische Abbildungsfehler, vor allem die am Bildfeldrand auftretenden störenden Farbsäume an den Objektstrukturen, können mit Korrektionsfiltern beseitigt werden. Es handelt sich hierbei um Filtergläser mit genügend kleiner Bandbreite. Bei Verwendung apochromatischer Optik kann der vorhandene chromatische Restfehler von Filtern mit *beliebigen* Durchlaßbanden innerhalb des sichtbaren Spektrums beseitigt werden. Für achromatische Optik werden jedoch wegen der sphärischen Korrektionsausschließung grüne bis gelbgrüne Korrektionsfilter benutzt.

Blaues Korrektionsfilter BG 12/2 mm

Das Auflösungsvermögen eines Mikroskopobjektives ist von seiner numerischen Apertur und der Wellenlänge des verwendeten Lichtes abhängig. Mit kürzer werdenden Wellenlängen nimmt das Auflösungsvermögen zu. Bei sehr feinstrukturierten Objekten (z. B. Diatomeen) kann man die Auflösung der Bildstruktur durch Einschalten eines strengen Blaufilters erhöhen.

Grünes Korrektionsfilter VG 9/2 mm (Bild 1)

Dieses strenge Grünfilter beseitigt die Abbildungsfehler achromatischer und apochromatischer Objektive. Es kann jedoch nur dann eingesetzt werden, wenn keine tonwertrichtige fotografische Wiedergabe notwendig ist. Am besten bewährt es sich bei farblosen Objekten (Diatomeen, Radiolarien usw.). Auch die Filter VG 5/2 mm (Kontrastfilter) und GG 10/2 mm (Kompensationsfilter) können zur Verminderung von Abbildungsfehlern in den Beleuchtungsstrahlengang gebracht werden. Die Phaseringplatten der achromatischen Phasenkontrastobjektive sind für den mittleren Teil des Spektrums korrigiert. Mit den genannten Filtern wird bei Phasenkontrastaufnahmen eine deutliche Bildverbesserung erzielt. Einige Hersteller (z. B. MEOPTA) liefern zu ihren Phasenkontrasteinrichtungen ein Metallinterferenzfilter mit schmaler Bandbreite (530 bis 540 nm), mit dem die chromatischen Fehler der Objektive vollkommen unterdrückt werden können.

Trichromfilter

Durch Kombination des Blaufilters BG 12/2 mm mit dem Gelbfilter GG 475/2 mm erhält man ein strenges Grünfilter (Trichromfilter), das zur Beseitigung chromatischer Restfehler verwendet werden kann. Will man den Reflexionsverlust vermindern, so verbindet man die beiden Filter mit einem Tropfen Immersionsöl.

4. Selektionsfilter

Die Selektionsfilter sind durch Aussonderung eines genügend strengen Spektralbereiches aus dem kontinuierlichen Spektrum einer Glühlampe bzw. dem Linienspektrum einer Entladungslampe definiert. Ein Maß für die Güte der Selektion ist die Halbwertsbreite. Man versteht darunter die Differenz der Wellenlängen, bei denen der Transmissionsgrad des Filters auf die Hälfte des Maximalwertes abgesunken ist. Lichtfilter aus optischem Filterglas erreichen kaum Halbwerts-

breiten unter 50 nm. Deshalb werden für höhere Anforderungen Selektionsfilter auf der Basis von Interferenzfiltern hergestellt, mit denen Halbwertsbreiten bis zu etwa 5 nm erreicht werden können.

Rotabsorbierendes Blauviolettfilter BG 12/4 mm (Bild 4)

Viele Fluorochrome, zum Beispiel die Acridin-farbstoffe und das wichtige Fluoresceinisothiocyanat (FITC), werden von blauem bzw. blauvioletttem Licht zur Fluoreszenz angeregt. Als Lichtquelle dienen Quecksilber-Höchstdruckbrenner oder Halogen-Hochleistungsmikroskopierleuchten. Bei der Vitalfluorochromierung spielt das Filter BG 12/4 mm eine wichtige Rolle als Erregerfilter. Sein Licht wird von dem Kantenfilter OG 530/1-2 mm vollkommen gesperrt (Sperrfilter).

Ultraviolett durchlässige Schwarzfilter UG 1/2 mm und UG 5/2 mm (Bild 4)

In Verbindung mit Quecksilber-Höchstdruckbrennern liefern diese Filter ein ultraviolettes Licht, das je nach Glassorte den kurzwelligen und langwelligen (UG 5) oder nur den langwelligen Teil des UV-Spektrums umfaßt (UG 1).

Sehr gebräuchlich ist das Filter UG 1/2 mm, dessen Filterschwerpunkt auf der wichtigen Quecksilberlinie bei 366 nm liegt. Die Schwarzgläser haben eine beträchtliche Durchlässigkeit für rotes Licht. Der Untergrund des fluoreszenzmikroskopischen Bildes ist dadurch tiefrot gefärbt und liefert oft einen schönen Kontrast zu grün fluoreszierenden Objekten. Eine rote Fluoreszenz ist hingegen kaum sichtbar. Deshalb werden die Schwarzgläser meistens mit dem rotabsorbierenden Blaufilter BG 38/2 mm kombiniert. Der Bilduntergrund ist dann tiefschwarz. Das Erregerfilter UG 1/2 mm wird üblicherweise mit den Sperrfiltern (Kantenfiltern) GG 420/2 mm, GG 435/2 mm oder GG 455/2 mm kombiniert. Für das Filter UG 5/2 mm werden die Kantenfilter GG 475/2 mm oder GG 495/2 mm als Sperrfilter empfohlen.

Für Spezialaufgaben werden in zunehmendem Maße Selektionsfilter entwickelt. Es handelt sich dabei um Interferenzfilter- oder verkittete Glasfilterkombinationen. Sie haben eine besondere Bedeutung für die Fluoreszenzmikroskopie, Mikrophotometrie und -spektroskopie, deren Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist.

Literaturhinweise:

- GÖKE, G.: Histologische Mikrofotografie. MIKROKOSMOS 51, 41-44 (1962).
 GÖKE, G.: Methoden der Fluoreszenzmikroskopie. MIKROKOSMOS 65, 382-386 (1976); 66, 24-29 (1977); 66, 148-152 (1977).
 GÖKE, G.: Konversionsfilter für die Farbmikrofotografie. MIKROKOSMOS 66, 82-83 (1977).

Bild 1: Transmissionskurven grüner und gelbgrüner Kontrast-, Kompensations- und Korrektionsfilter.

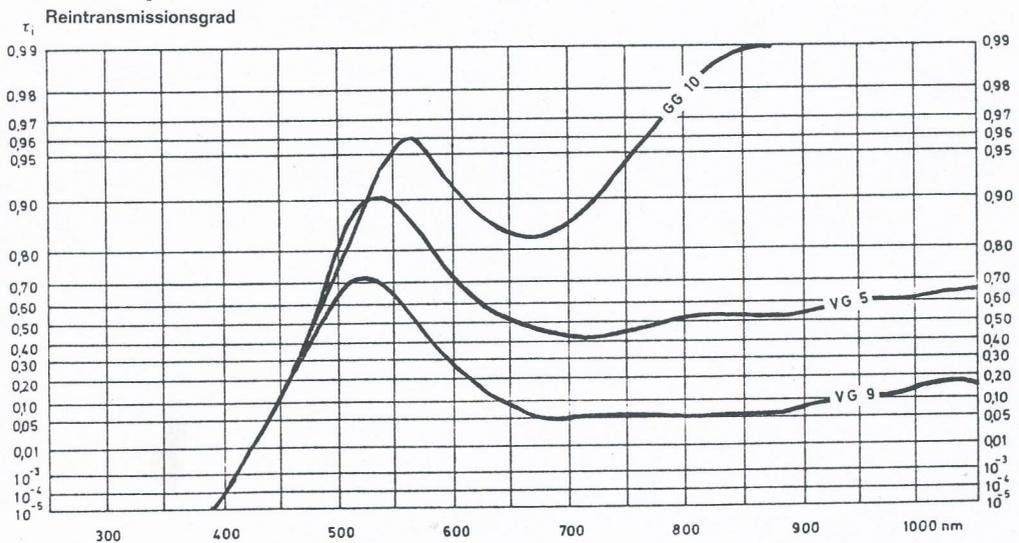


Bild 2: Transmissionskurven von Kompensationsfiltern.

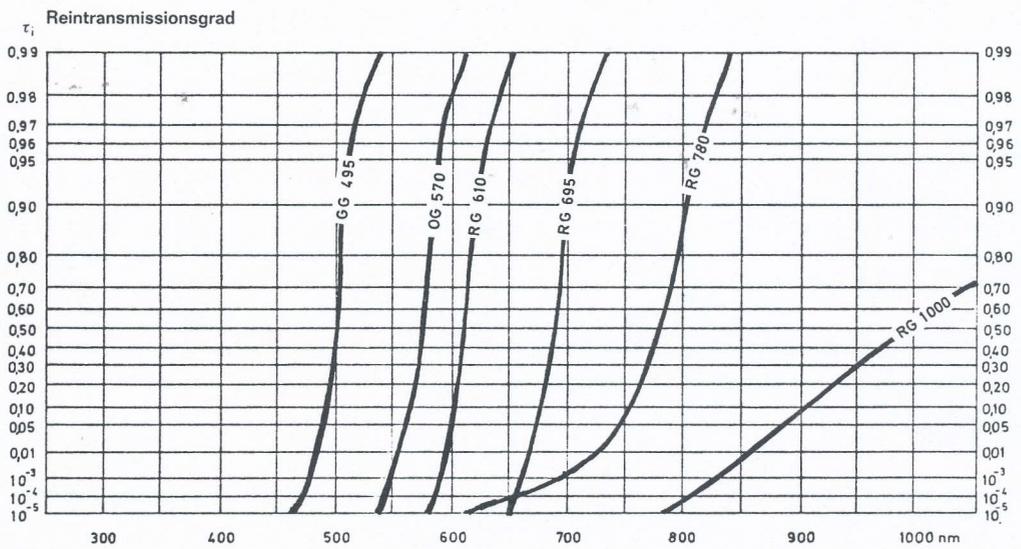
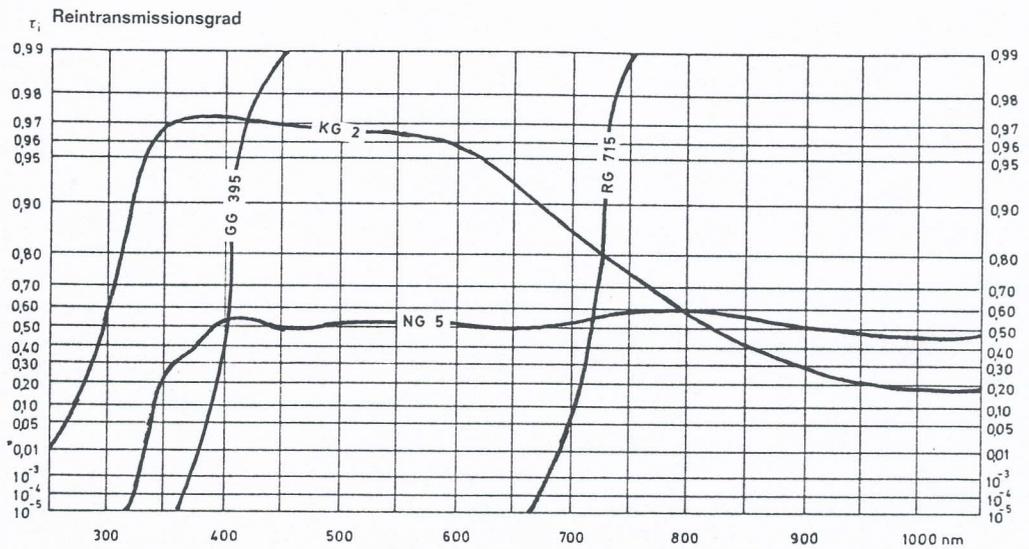


Bild 3: Transmissionskurven typischer Anlaufgläser mit steiler Absorptionskante in Richtung kürzerer Wellenlänge.

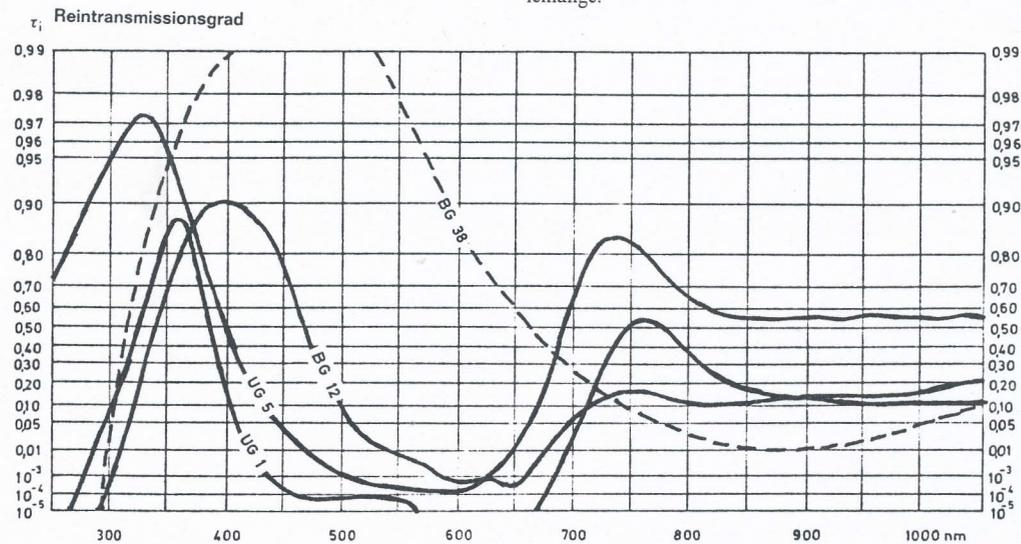


Bild 4: Transmissionskurven gebräuchlicher Selektionsfilter für die Fluoreszenzmikroskopie.

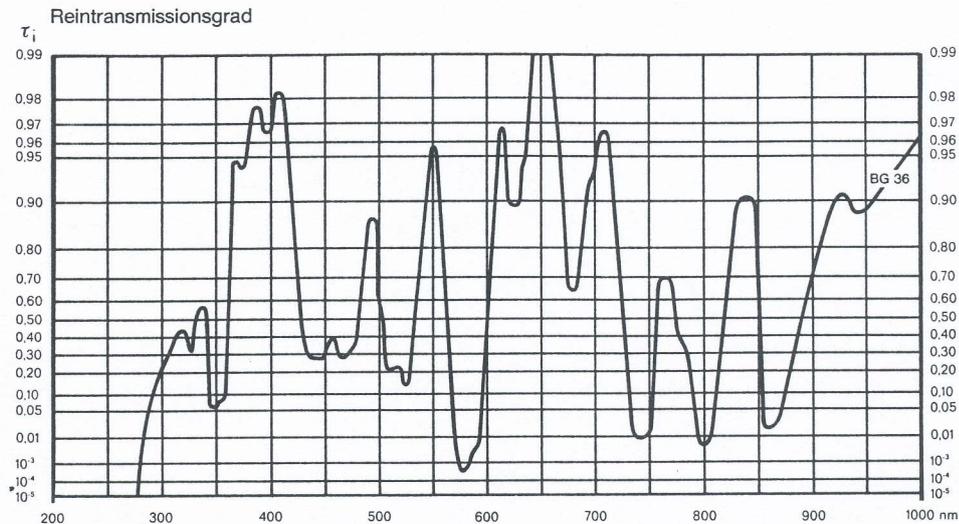


Bild 5: Transmissionskurve des Bandenabsorptionsfilters BG 36.

2. Zusammenstellung von Filtersätzen

Im ersten Teil dieses Beitrages wurde ein Gesamtüberblick über die in der Mikroskopie gebräuchlichen Lichtfilter gegeben und eine Unterteilung in Kontrastfilter, Kompensationsfilter, Korrektionsfilter und Selektionsfilter vorgenommen. Im Hinblick auf die Flexibilität bei der Mikrofotografie sollte der Mikroskopiker zwar möglichst viele Lichtfilter besitzen, doch ist die Anschaffung *aller* beschriebenen Typen nur in wenigen Fällen notwendig. Einige Mikroskophersteller bieten Filtersätze in Kunststoffdosen oder Holzkästen an, die als Minimalausrüstung gedacht sind. Ich halte folgende Zusammenstellung für sinnvoll:

1. Ein Blaufilter BG 14/2 mm oder BG 12/2 mm als Kontrastfilter bzw. Korrektionsfilter zur Steigerung des Auflösungsvermögens der Objektive.
2. Das Konversionsfilter BG 34/2 mm mit einem Umwandlungswert von -15 decamired zur Anpassung des Glühlampenlichtes an die Farbtemperatur des Tageslichtes (wichtig für die Beurteilung von Interferenzfarben mit dem Polarisationsmikroskop und für die Farb-Mikrofotografie mit Tageslicht-Farbumkehrfilm).
3. Das Gelbgrünfilter GG 10/2 mm für alle Aufnahmen auf Schwarzweißfilm. Die chromatischen Fehler der optischen Systeme werden damit unterdrückt (Korrektionsfilter). Gleichzeitig dient es als Kompensationsfilter für die tonwertrichtige Wiedergabe von blau-rot gefärbten Objekten.
4. Die tonwertrichtige Umsetzung vieler Färbungen kann auch mit dem Gelbfilter GG 7/2 mm erreicht werden. Seine Anschaffung ist jedoch nicht unbedingt nötig, wenn bereits ein Gelbgrünfilter vorhanden ist.
5. Wer häufig farblose Objekte fotografieren muß und eine hohe Bildauflösung fordert, sollte das strenge Grünfilter VG 9/2 mm als Korrektionsfilter benutzen.

Die Anschaffung der nachfolgend aufgeführten Lichtfilter ist nur in Sonderfällen erforderlich:

6. Das Wärmestrahlen-Sperrfilter KG 2/3 mm ist nur beim Einsatz von Hochleistungsmikroskopierleuchten (12 V/100 W oder noch stärker) bzw. Fluoreszenzleuchten sinnvoll, wenn deren Optik nicht bereits vom Hersteller mit einem Wärmeschutzglas versehen worden ist.
7. Die Neutralfilter NG 3 (10% T), NG 4 (25% T), NG 5 (50% T) u. a. sind notwendig, wenn Farbaufnahmen mit Niedervoltmikroskopierleuchten oder nicht regelbaren Elektronenblitzen gemacht werden. Die Niedervoltmikroskopierleuchte wird mit voller Spannung betrieben und darf nur mit Neutralfiltern auf die erforderliche Helligkeit eingestellt werden. Die Benutzung des üblichen Regeltransformators hätte hier einen Rotstich der Aufnahmen zur Folge.
8. Alle beschriebenen Kontrastfilter und das Bandenabsorptionsfilter werden je nach Aufgabenstellung gezielt eingesetzt. Besonders die orangen und roten Filter sind nur selten erforderlich.
9. Die Selektionsfilter sind für Spezialaufgaben vorgesehen (Fluoreszenz-, Ultraviolett- und Infrarotmikroskopie). Ihr Einsatz richtet sich ebenfalls nach der jeweiligen Aufgabenstellung. Interferenzfilter sollten aufgrund ihres hohen Preises nur dort verwendet werden, wo das Licht unbedingt monochromatisch sein muß, zum Beispiel bei interferometrischen Messungen, oder wenn extrem steile Absorptionskanten notwendig sind (Fluoreszenzmikroskopie).

Bei richtigem Einsatz der Lichtfilter können mit geringem finanziellem und apparativem Aufwand deutliche Bildverbesserungen erzielt werden. Aus der Vielzahl der im Handel erhältlichen Filtergläser sind im Rahmen dieses Beitrages nur die wichtigsten und leicht beschaffbaren Typen

näher beschrieben worden. Wer tiefer in dieses Gebiet eindringen will, benötigt spezielle Informationen, Datenblätter und Filterkurven, die u. a. von den Firmen Schott & Gen. in Mainz, Balzers AG in Lichtenstein und Jenoptik GmbH in Jena, zum Teil nach Zahlung einer Schutzgebühr, zur Verfügung gestellt werden. In den nachfolgend aufgeführten älteren Arbeiten wird die Verwendung der Lichtfilter ebenfalls behandelt.

Literaturauswahl:

1. HOLZ, H. M.: Der Gebrauch von Farbfiltern in der Mikrophotographie. ZEISS-Werkzeitschrift 4, Heft 22 (1956).
2. KRAUSE, H.: Farb- und Filtergläser. Dt. opt. Wschr. 67, Heft 23 und 24 (1950).
3. MUTSCHKE, E.: Die Verwendung von Lichtfiltern in der Mikrophotographie. MIKROKOSMOS 40, S. 242 (1950/51).
4. REINERT, G. G.: Die Verwendung von Farbfiltern in der Mikrophotographie und ein neuer praktischer Filterhalter. Z. Wiss. Mikroskopie 51, S. 253 (1934).

Konversionsfilter für die Farbmikrofotografie

In der Farbmikrofotografie werden geeignete Farbgläser mit annähernd ideal verlaufenden Transmissionskurven zur Umwandlung der Farbtemperatur von Lichtquellen verwendet. Ihr Umwandlungswert, die Differenz der reziproken Temperaturen, wird in der Einheit $10^{-6} [K^{-1}] = \text{mired}$ (micro reciprocal degree) oder dem zehnten Teil dieser Einheit (decamired = daM) angegeben. Blaue Konversionsfilter haben einen negativen Umwandlungswert und erhöhen die Farbtemperatur des Lichtes. Bei rosa oder rotbraunen Konversionsfiltern ist der Umwandlungswert positiv. Sie verringern die Farbtemperatur.

Der Mikroskopiker ist im allgemeinen an eine bestimmte Lichtquelle und ein bestimmtes Filmfabrikat gebunden. Mit Hilfe von geeigneten Konversionsfiltern muß er die spektralen Werte so verändern, daß er mit dem Farbfilm seiner Wahl farbrichtige Aufnahmen erzielt.

Die üblichen Angaben in K (Kelvin) sind für die Ermittlung des richtigen Konversionsfilters ungeeignet. Es ist praktischer, mit decamired-Werten zu rechnen, weil diese beliebig addiert und subtrahiert werden können. In der Literatur werden dafür mehrere Abkürzungen verwendet, zum Beispiel D.M., dM und daM. In diesem Beitrag wird in Anlehnung an Bayer (1973) die Abkürzung daM benutzt.

Zur Bestimmung des richtigen Filters wird zunächst die Farbtemperatur der Lichtquelle ermittelt. Falls kein Meßgerät zur Verfügung steht, läßt man die Glühbirnen bei Vollast brennen und rechnet bei Niedervolt-Glühbirnen mit $2850 K = 35 \text{ daM}$. Für Halogen-Niedervolt-Glühbirnen setzt man $3200 K = 31 \text{ daM}$ ein. Die Farbtemperatur des Mikroblitzes wird mit $6000 K = 17 \text{ daM}$ angenommen. Den Datenblättern des Filmherstellers kann die Sensibilisierung der Farbemulsion entnommen werden, die bei einigen Fabrikaten auch auf der Packung in K angegeben ist. Die Tageslicht-Umkehrfilme sind im Mittel für $5500 K = 18 \text{ daM}$, die Kunstlicht-Umkehrfilme für $3200 K = 31 \text{ daM}$ sensibilisiert. Mit Hilfe die-

ser Werte berechnet man den erforderlichen Umwandlungswert des Konversionsfilters nach der einfachen Formel

$$\text{Film-daM} - \text{Licht-daM} = \text{Filter-daM}$$

Abweichungen von 100 K haben keinen nennenswerten Einfluß auf das Ergebnis. Die Verwendung der angegebenen Näherungswerte reicht für die Mikrofotografie aus.

Als Konversionsfilter sind mehrere Filtergläser von Schott & Gen. geeignet. Nachfolgend werden die Umwandlungswerte der wichtigsten Filter mitgeteilt:

FG 3/2 mm	- 16 daM	}	Blaufilter
BG 34/2 mm	- 15 daM		
FG 6/2 mm	- 3 daM		
FG 18/2 mm	+ 1,5 daM	}	Rosafilter
FG 17/2 mm	+ 3 daM		
FG 16/2 mm	+ 6 daM		
FG 15/2 mm	+ 12 daM		
FG 13/2 mm	+ 20 daM		

Durch Kombination mehrerer Filter können alle in der Praxis vorkommenden Umwandlungswerte erzielt werden.

Die Tabelle soll dem Mikroskopiker die Auswahl des richtigen Konversionsfilters erleichtern. Sie wurde mit mehreren Filmfabrikaten überprüft. In Zweifelsfällen, zum Beispiel bei Filmen mit anderer Sensibilisierung als 5500 oder 3200 K, wird ein Konversionsfilter mit dem nächst höheren daM-Wert empfohlen.

Der Umwandlungswert des Filters ist annähernd richtig, wenn das objektfreie Umfeld der Aufnahme, zum Beispiel von einer Diatomeenschale im Durchlicht-Hellfeld, weder bläulich noch rosastichig ist. Der Bläustich mancher Elektronenblitz-Aufnahmen kann von der hohen UV- und Violett-Emission der Xenon-Blitzröhren verursacht werden. Mit einem Kantenfilter GG 400/2 mm (WG 1/2 mm) läßt sich dieser Farbstich beseitigen.

Die Filter FG 3/2 mm und BG 34/2 mm liefern in Verbindung mit einer Niedervolt-

leuchte (übliche 6 V/15 W-Glühlampe mit Flachkernwendel) sehr gute Resultate, wenn die Filme CT 18, Agfachrome oder ORWO UT 18 verwendet werden. Mit dem Filter BG 34/2 mm erzielt man die wärmeren Farbtöne. Die Mikroskop-Hersteller und der Fachhandel haben die hier empfohlenen Konversionsfilter in Form von ungefaßten, polierten Rundscheiben (32 mm ϕ)

vorrätig oder können sich um die Anfertigung bemühen.

Literaturhinweis:

Göke, G.: Grundlagen der Farb-Mikrofotografie. Mikrokosmos 65, 237-242 (1976).

Verfasser: Gerhard Göke, Bahnhofstraße 27, 5800 Hagen.

Farbfilm	Lichtquelle	Konversionsfilter
Tageslicht-Umkehrfilm 5500 K=18 daM	Niedervolt-Glühlampe 2850 K=35 daM	FG 3/2 mm oder BG 34/2 mm -16 daM bzw. -15 daM
Tageslicht-Umkehrfilm 5500 K=18 daM	Halogen-Glühlampe 3200 K=31 daM	FG 3/2 mm + FG 17/2 mm -13 daM
Tageslicht-Umkehrfilm 5500 K=18 daM	Elektronenblitz 6000 K=17 daM	FG 18/2 mm +1,5 daM
Kunstlicht-Umkehrfilm 3200 K=31 daM	Niedervolt-Glühlampe 2850 K=35 daM	FG 6/2 mm -3 daM
Kunstlicht-Farbfilm 3200 K=31 daM	Elektronenblitz 6000 K=17 daM	FG 15/2 mm + FG 18/2 mm +13,5 daM

Literatur:

GÖKE, G.: Histologische Mikrofotografie
MIKROKOSMOS 51, 41 - 44 (1962)

-.-.-.-.: Lichtfilter für die Mikroskopie
und Mikrofotografie.
MIKROKOSMOS 69, 120 - 126 (1980)
MIKROKOSMOS 69, 160 - 161 (1980)

-.-.-.-.: Konversionsfilter für die Farb-
mikrofotografie.
MIKROKOSMOS 66,82 (1977).