

Metallinterferenzfilter



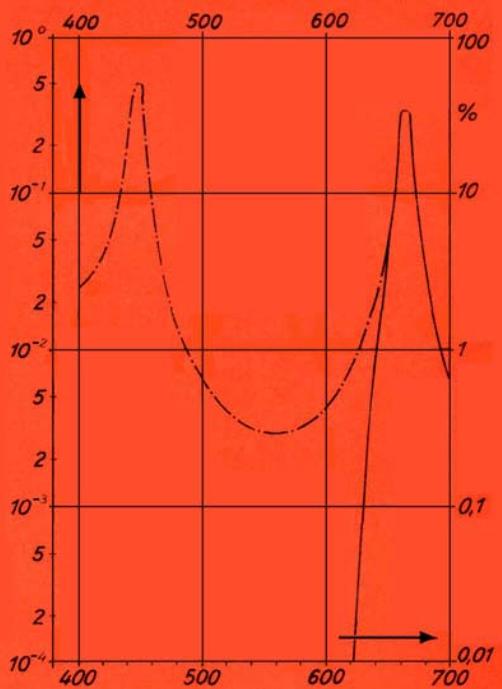


Bild 1

Metallinterferenzfilter dienen zur Ausfilterung sehr schmaler Wellenlängenbereiche aus einem Kontinuum oder zur Abtrennung von Spektrallinien aus einem Linienspektrum.

Sie bestehen aus dünnen, im Hochvakuum aufgedampften, möglichst absorptionsfreien dielektrischen Schichten, deren Dicke in der Größenordnung der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes liegt. Zur Erhöhung der Reflexion an den Grenzflächen sind sie mit teildurchlässigen Metallschichten belegt. Ihre Wirkung beruht auf der Interferenz des Lichtes, die wie bei allen Interferenzerscheinungen winkelabhängig ist.

Metallinterferenzfilter werden in Wissenschaft und Technik überall dort angewendet, wo sie wegen der großen Intensität der hindurchgelassenen Strahlung Vorteile gegenüber einem Monochromator besitzen.

Anwendung der Interferenzfilter

Für Aufgaben, bei denen die Forderungen an die Monochromasie des Lichtes nicht so hoch sind, daß ein Monochromator benötigt wird, oder wo sich ein solcher aus Platzgründen nicht einsetzen läßt, werden mit Erfolg Metallinterferenzfilter benutzt.

Sie haben gegenüber Monochromatoren und Spektrallampen den Vorteil großer Strahlungsintensität, obgleich die spektrale Reinheit dieser Strahlung nicht mit der eines guten Monochromators zu vergleichen ist.

Außer im durchfallenden Licht, werden Interferenzfilter auch als selektive Spiegel benutzt. Im reflektierten Licht fehlen die Wellenlängen der einfallenden Strahlung, für die die Filter Durchlaßstellen besitzen. Durch Mehrfachspiegelung läßt sich aus der einfallenden Strahlung ein ganz bestimmter Wellenlängenbereich fast völlig entfernen.

Daten

Bild 1 zeigt die für alle Metallinterferenzfilter typische Durchlaßkurve für senkrechten Lichteinfall eines Parallelstrahlenbündels. Als Abszisse ist die Wellenlänge λ aufgetragen, als Ordinate die Transmission τ , logarithmisch geteilt. Das Filter des Bildes 1 besitzt im Spektralgebiet von 400 bis 700 nm die Durchlaßstellen 2. und 3. Ordnung bei 666 und 450 nm. Um das Filter zum Monochromatfilter zu machen, werden bei der Herstellung Farbgläser aufge kittet, die die unerwünschten Durchlaßordnungen absorbieren. Dadurch ändert sich der Trans-

missionsverlauf so, daß nur der im Bild ausgezogene schmale Wellenlängenbereich übrigbleibt, während der Rest (gestrichelt) völlig absorbiert wird. Die Güte eines Metallinterferenzfilters wird bestimmt durch die **Transmission im Maximum** τ_{max} , die **Halbwertsbreite HwBr** und das **Verhältnis von maximaler zu minimaler Intensität**. Diese Faktoren sind allerdings nicht unabhängig voneinander wählbar, sondern stehen durch den Reflexionsfaktor r zueinander in Beziehung.

Unsere Metallinterferenzfilter haben eine durchschnittliche Maximaltransmission von etwa 35%, bei einer Halbwertsbreite von 8 bis 15 nm. Diese Werte sind so gewählt, damit zwischen den drei eingangs genannten Gütefaktoren eines Homogenfilters etwa optimale Verhältnisse bestehen. Das Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Transmission ist in der Regel größer als 300.

Als Halbwertsbreite HwBr wird die Differenz der beiden Wellenlängen - vor und hinter dem Maximum — bezeichnet, bei denen die Transmission auf den halben Wert des maximalen abgesunken ist.

Die Halbwertsbreite ist theoretisch gegeben durch

$$\text{HwBr} = \frac{1}{m} \cdot \frac{1-r}{\pi \sqrt{r}} \cdot \lambda_{\text{max}}$$

wobei m die Ordnungszahl, λ_{max} die Wellenlänge maximaler Transmission und r der Reflexionsfaktor sind.

Für nicht mit Farbglass verklebte Filter ist der spektrale Verlauf des Durchlaßgrades in der Nähe des Transmissionsmaximums annähernd symmetrisch. Kennzeichnend sind folgende drei Daten:

Wellenlänge maximaler Transmission λ_{max}

maximale Transmission τ_{max}

Halbwertsbreite HwBr

Diese drei Größen reichen aus, den Transmissionsverlauf in der Umgebung des Maximums zu bestimmen.

Er ist gegeben durch:

$$\tau = \frac{1}{1 + 4 \left(\frac{\Delta\lambda}{\text{HwBr}} \right)^2} \cdot \tau_{\text{max}}$$

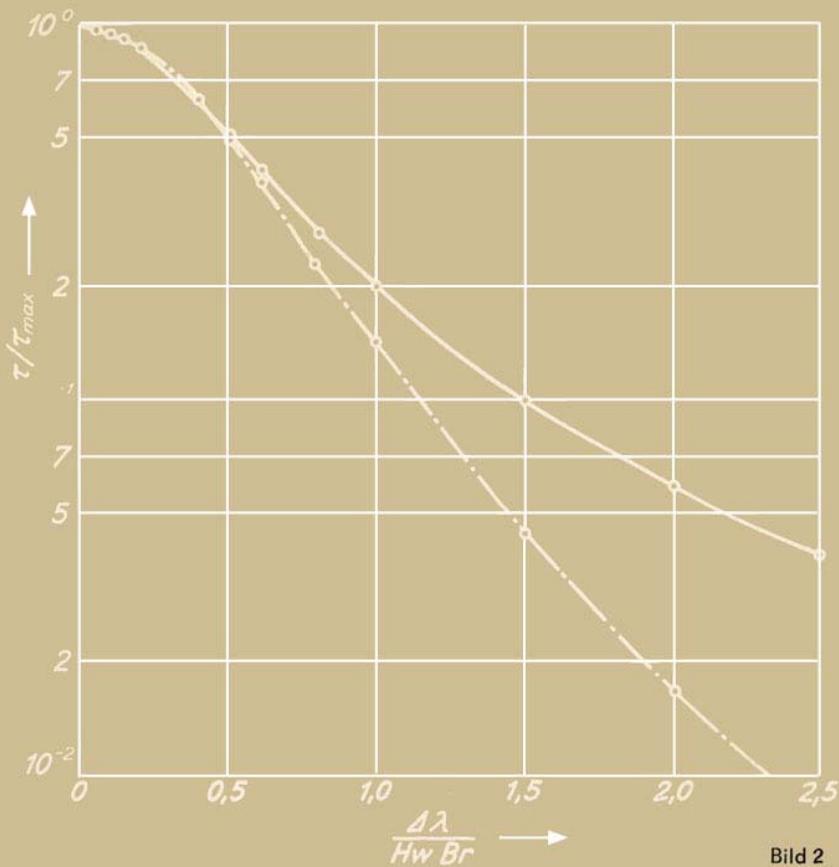


Bild 2

wobei τ die Transmission im Abstand $\Delta\lambda$ von der Wellenlänge maximaler Transmission ist.

Trägt man das Verhältnis τ/τ_{max} über $\Delta\lambda/HwBr$ auf, so bekommt man eine Kurve, die für alle Metallinterferenzfilter charakteristisch ist. Bild 2 zeigt diese Kurve (ausgezogen).

In Tabelle 1 sind die Werte für τ/τ_{max} in Abhängigkeit von $\Delta\lambda/HwBr$ angegeben.

Tabelle 1

| $\Delta\lambda$ | Einfachfilter | Doppelfilter |
|-----------------|---------------|--------------|
| HwBr | T/T_{\max} | T/T_{\max} |
| 0,05 | 0,99 | 0,99 |
| 0,1 | 0,96 | 0,97 |
| 0,15 | 0,92 | 0,93 |
| 0,2 | 0,86 | 0,88 |
| 0,4 | 0,61 | 0,63 |
| 0,5 | 0,50 | 0,50 |
| 0,6 | 0,41 | 0,39 |
| 0,8 | 0,28 | 0,24 |
| 1,0 | 0,20 | 0,14 |
| 1,5 | 0,10 | 0,045 |
| 2,0 | 0,059 | 0,017 |
| 2,5 | 0,038 | 0,008 |

Der Nutzen dieser charakteristischen Kurve sei an folgendem Beispiel erläutert:
 Ein Filter zum Aussondern der grünen Quecksilberlinie 546 nm hat die maximale Durchlässigkeit von 30% bei einer Halbwertsbreite von 8 nm.

Wie groß ist die Durchlässigkeit 20 nm vom Maximum entfernt an der Stelle 566 nm?

$$\frac{\Delta\lambda}{\text{HwBr}} = 2,5$$

Aus Tabelle 1 entnimmt man für 2,5 den Wert 0,038.

$$r \text{ ist also } 0,038 \cdot 30\% \approx 1\%.$$

Das nicht mit Farbglass verkitete Filter läßt demnach an der Stelle 566 nm nur noch 1% der einfallenden Strahlung hindurch. Die zusätzliche Farbglassverkit-

tung ergibt in jedem Fall eine Verkleinerung der Durchlässigkeit, so daß immer gesagt werden kann: Die wirkliche Transmission liegt stets unter derjenigen, die aus der charakteristischen Kurve resultiert. Dies ist eine Faustformel, mit deren Hilfe man sich schnell über den etwaigen Verlauf eines gegebenen Filters zu orientieren vermag.

Es interessieren jedoch nicht nur die Transmissionswerte in der Umgebung des Maximums; vielmehr werden für verschiedene Problemstellungen - wie in der Flammenphotometrie - Angaben über Durchlaßwerte in fernerem Spektralgebieten interessieren, speziell in den Gebieten, in denen die Spektrallinien der störenden Elemente liegen. Unter anderen können heute die Filter Mg 38, Sr 46, Na 59, Ca 63, Li 67 und K 77 zur Bestimmung von Magnesium, Strontium, Natrium, Kalzium, Lithium und Kalium zur Flammenphotometerausrüstung geliefert werden. Tabelle 2 gibt Auskunft darüber, wie groß die Transmission der genannten Filter an den Stellen der Spektrallinien der angeführten Elemente, bezogen auf das Maximum der Transmission, ist. Diese Zahlen ermöglichen eine sehr gute Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Metallinterferenzfilter.

Im allgemeinen wird die Selektivität der Filter für die zu lösenden Aufgaben ausreichen. In manchen Fällen jedoch, wenn es sich z. B. darum handelt, eine schwache Spektrallinie von einer benachbarten stärkeren zu trennen, wird man **Doppelinterferenzfilter** bevorzugen.

Es handelt sich hierbei um zwei Filter gleicher Wellenlänge maximaler Transmission und gleicher Halbwertsbreite.

Bild 3 zeigt den Transmissionsverlauf eines Doppelinterferenzfilters.

Die Doppelfilter zeichnen sich gegenüber den Einfachfiltern durch größere Steilheit der Flanken und damit auch durch geringere Halbwertsbreite und Restdurchlässigkeit aus.

Die Transmission eines Doppelfilters in der Umgebung des Maximums ist gegeben durch

$$T = \frac{1}{\left[1 + 1,656 \left(\frac{\Delta\lambda}{\text{HwBr}} \right)^2 \right]^2} \cdot T_{\max}$$

Tabelle 2

| Filter max | τ/τ_{\max} bei 383 nm | τ/τ_{\max} bei 461 nm | τ/τ_{\max} bei 589 nm | τ/τ_{\max} bei 625 nm | τ/τ_{\max} bei 671 nm | τ/τ_{\max} bei 770 nm |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Mg 38 383 nm | 1 | $< 2,5 \cdot 10^{-3}$ | $< 3,5 \cdot 10^{-6}$ | $< 8 \cdot 10^{-6}$ | $< 1,7 \cdot 10^{-5}$ | $< 9 \cdot 10^{-4}$ |
| Sr 46 461 nm | | 1 | $< 2,5 \cdot 10^{-5}$ | $< 4 \cdot 10^{-5}$ | $< 1,5 \cdot 10^{-4}$ | $< 13 \cdot 10^{-3}$ |
| Na 59 589 nm | $< 2 \cdot 10^{-6}$ | $< 2 \cdot 10^{-6}$ | 1 | $< 1,7 \cdot 10^{-2}$ | $< 7 \cdot 10^{-3}$ | $< 6,5 \cdot 10^{-3}$ |
| Ca 63 625 nm | $< 2 \cdot 10^{-6}$ | $< 2 \cdot 10^{-6}$ | $< 9 \cdot 10^{-5}$ | 1 | $< 9 \cdot 10^{-3}$ | $< 2,3 \cdot 10^{-3}$ |
| Li 67 671 nm | $< 2 \cdot 10^{-6}$ | $< 2 \cdot 10^{-6}$ | $< 7 \cdot 10^{-6}$ | $< 4 \cdot 10^{-4}$ | 1 | $< 6 \cdot 10^{-3}$ |
| K 77 770 nm | $< 2 \cdot 10^{-6}$ | $< 4 \cdot 10^{-5}$ | 1 |

Bild 2 zeigt gestrichelt die charakteristische Kurve eines Doppelfilters und Spalte 3 der Tabelle 1 die entsprechenden Werte dazu. Die Steilheit der Flanken wird zwar erkauft auf Kosten der maximalen Transmission, bringt aber dafür — was in diesem Falle wichtiger ist — viel stärkere Selektivität. Dieser Gewinn an Selektivität hebt den Verlust *an* Maximaldurchlässigkeit wohl reichlich auf.

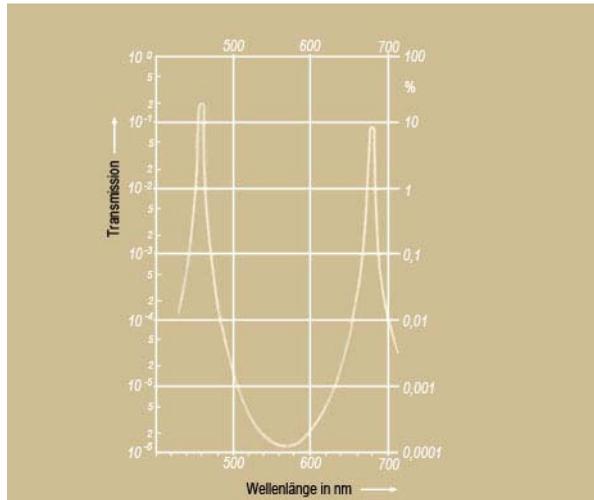
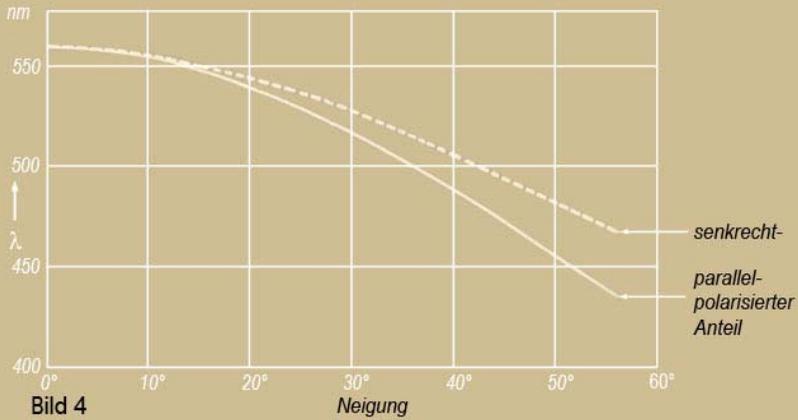


Bild 3

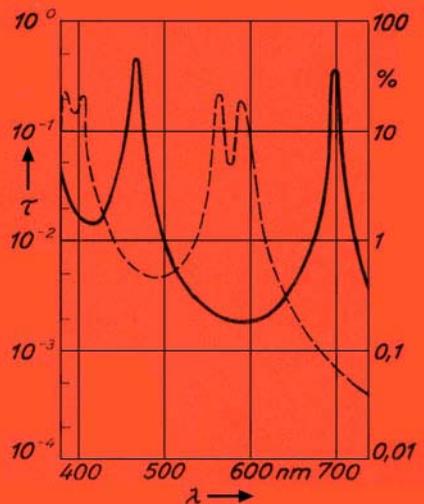
Die drei technischen Daten — λ_{\max} , τ_{\max} und HwBr —, die für jedes Filter von uns angegeben werden, gelten für senkrechten Durchgang eines Parallelstrahlenbündels.

Bei **Neigung im Parallelstrahlengang** verschiebt sich das Maximum nach kürzeren Wellen. Hinzu kommt eine Aufspaltung in zwei senkrecht zueinander polarisierte Einzelmaxima. Die Aufspaltung wird mit wachsendem Winkel größer. Bild 4 gibt die Aufspaltung und Verschiebung der Wellenlänge maximaler Transmission bei Neigung im Parallelstrahlengang wieder.



In Bild 5 ist der Transmissionsverlauf eines Metallinterferenzfilters bei senkrechter Durchstrahlung (ausgezogen) und bei einem Winkel von 50° zwischen einfallendem Licht und Filternormale (gestrichelt) dargestellt. Es ist also möglich, lediglich durch Neigen des Filters die Wellenlänge maximaler Transmission um einige Nanometer zu verschieben.

Bild 5



Die Neigung kann somit gewissermaßen als „Feineinstellung“ für die gewünschte Wellenlänge dienen.

Bei Anwendung im konvergenten Licht gelten für die einzelnen Strahlrichtungen unterschiedliche λ_{\max} -Werte. Somit ergibt sich eine Transmissionskurve, die durch Überlagerung der gegeneinander verschobenen Kurven für die einzelnen Strahlrichtungen zustande kommt. Es ist zweckmäßig, bei Anwendung im telezentrischen Strahlengang die Neigung der Filternormale gegen die optische Achse 20° nicht übersteigen zu lassen. Desgleichen sollte der halbe Öffnungswinkel eines nicht-telezentrischen Strahlengangs diesen Winkel nicht überschreiten.

Homogenität eines Filters hinsichtlich der Wellenlänge maximaler Transmission wird erreicht durch strenge Planparallelität der Schichten. Da das Aufdampfen dünner Schichten in vollkommen gleicher Schichtdicke praktisch unmöglich ist, zeigen die Filter geringe Inhomogenitäten, die aber auf ein Mindestmaß herabgedrückt sind. Sie sind kleiner als die von uns genannten Toleranzen für die gewünschte Schwerpunktlage der Spezialinterferenzfilter. Die Toleranz für λ_{\max} beträgt für diesen Typ 0,5% der Wellenlänge.

Verlaufende Metallinterferenzfilter

Wird die Planparallelität der Schichten verlassen und statt dessen etwa in einer Richtung ein Keil aufgedampft, dann verschiebt sich mit zunehmender Dicke die Wellenlänge maximaler Transmission nach längeren Wellen.

Bei den von uns hergestellten Verlauffiltern ist auf einen Glasstreifen von 20 mm X 76 mm eine Keilschicht in der Längsrichtung so aufgedampft, daß sich die Wellenlänge maximaler Transmission auf einer Strecke von 70 mm von etwa 400 bis etwa 750 nm linear verschiebt. Die Steigung beträgt ungefähr 5 nm/mm.

Die Wellenlänge maximaler Transmission λ_{\max} wird von uns für das kurzwellige Ende der Verlauffilter mit

$$\lambda_{\max} \leq 410\text{nm}$$

und für das langwellige Ende mit

$$\lambda_{\max} \geq 725\text{ nm}$$

garantiert.

Mit ebenfalls keiligen Metallschichten wird erreicht, daß die optischen Werte - Transmission und Halbwertsbreite - über das gesamte Spektrum hinweg annähernd konstant sind.

Den Verlauffiltern wird ein Eichprotokoll beigegeben, welches 15 Wellenlängen maximaler Transmission λ_{\max} im Abstand von 5 zu 5 mm, beginnend 3 mm vom kurzwelligen Filterrand angibt. λ_{\max} wird dabei auf einen ausgeblendeten Streifen von 1 mm Breite bezogen.

Sorgt man dafür, daß solch eine schmale Blende längs des Filters verschiebbar ist, wird das Verlauffilter zu einem kleinen Monochromator. Das Auflösungsvermögen dieses Monochromators ist gegeben durch

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\lambda_{\max}}{\text{HwBr}}$$

Ein Optimum ist bei einer Blende von 1 mm Breite erreicht. Mit schmalere Blenden läßt sich das so definierte Auflösungsvermögen nicht überschreiten. Zu enge Spalte würden nur eine Schwächung der Intensität zur Folge haben. Die Selektivität kann auch hier durch Verdoppelung wesentlich gesteigert werden.

Übersicht über das Fertigungsprogramm

Homogenfilter

| | | |
|--------------------------------|---------|---|
| UV-Interferenzfilter | (UVIF) | } in Fassung, in Plastebehälter |
| UV-Spezialinterferenzfilter | (UVSIF) | |
| Interferenzfilter | (IF) | |
| Spezialinterferenzfilter | (SIF) | |
| Doppelinterferenzfilter | (DIF) | |
| Doppelspezialinterferenzfilter | (DSIF) | } in Sonderfassungen für spezielle Geräte, wie Flam- menphotometer, Spektral- kolorimeter (Spekol) und Photometer (Elpho) |
| Interferenzfilter | (IF) | |
| Lichtfilter | (LF) | in Fassung, in Behälter |

Verlauffilter

| | | |
|--------------------------------|--------|-----------------------|
| Verlaufinterferenzfilter | (VIF) | ungefaßt, in Behälter |
| Doppelverlaufinterferenzfilter | (DVIF) | ungefaßt, in Behälter |

Von den Homogenfiltern werden UV-Interferenzfilter und Interferenzfilter für die in Tabelle 3 angegebenen Wellenlängen regelmäßig hergestellt. Durch den Herstellungsprozeß bedingt fallen auch Filter mit Wellenlängen an, deren Schwerpunkte von den in der Tabelle angegebenen Werten abweichen. Es ist daher möglich — soweit Lagerbestände vorhanden sind — Filter mit solchen abweichenden Filterschwerpunkten zu liefern. In einem solchen Fall empfiehlt sich jedoch eine vorherige Anfrage.

Wir unterscheiden zwei Toleranzstufen für die Wellenlängen maximaler Transmission :

Der geforderte Sollwert der Wellenlänge maximaler Transmission ist eingehalten für

1. Interferenz- und Doppelinterferenzfilter ... mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \%$
2. Spezialinterferenz- und Doppelspezialinterferenzfilter
mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5\%$

d.h., unter der Bezeichnung IF 400 laufen z. B. alle Filter, deren Wellenlänge maximaler Transmission λ_{\max} zwischen 396 nm und 404 nm liegt (entsprechend der Angabe in Tabelle 3 Abwg. v. $\lambda_{\max} \pm 4 \text{ nm} = 1\%$). Das einzelne Filter hat natürlich ein genau definiertes Maximum, das, wie auch die anderen interessierenden Daten, in dem zum jeweiligen Filter gehörenden Prüfschein angegeben ist.

Nebenmaxima im Spektralgebiet von 330 bis 1100 nm werden durch aufge kittete Farbgläser unterdrückt. Die Wahl der geeigneten Farbgläser bleibt uns überlassen und kann sich je nach den zur Verfügung stehenden Gläsern ändern.

Tabelle 3 Standardwellenlängen und Toleranzen

UV-Interferenzfilter, in Fassung, in Behälter

| λ_{\max} [nm] | Abweichung von λ_{\max} [nm] | | T_{\max} [%] etwa | HwBr [nm] |
|-----------------------|--------------------------------------|---------|------------------------|-----------|
| | UVIF | UVSIF | | |
| 333 | ± 5 | ± 2 | 25 | 10 ... 20 |
| 350 | ± 5 | ± 2 | 25 | 10 ... 20 |
| 365 | ± 5 | ± 2 | 30 | 10 ... 16 |
| 375 | ± 5 | ± 2 | 30 | 10 ... 16 |
| 383 | ± 5 | ± 2 | 30 | 10 ... 16 |

Interferenzfilter, in Fassung, in Behälter

| | IF | | SIF | | DIF | | DSIF | |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|
| | $T_{max} \approx 35\%$ mind. 25 % | | $T_{max} \approx 35\%$ mind. 25 % | | $T_{max} \approx 15\%$ mind. 8 % | | $T_{max} \approx 15\%$ mind. 8 % | |
| λ_{max} [nm] | Abwg. v. λ_{max} [nm] | HwBr [nm] | Abwg. v. λ_{max} [nm] | HwBr [nm] | Abwg. v. λ_{max} [nm] | HwBr [nm] | Abwg. v. λ_{max} [nm] | HwBr [nm] |
| 400 | ± 4 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 4 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 405 Hg | ± 4 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 4 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 425 | ± 4 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 4 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 436 Hg | ± 4 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 4 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 450 | ± 5 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 5 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 461 Sr | ± 5 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 5 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 466 Cd | ± 5 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 5 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 475 | ± 5 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 5 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 480 Cd | ± 5 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 5 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 491 Hg | ± 5 | 8 ... 12 | + 2 | 8 ... 12 | ± 5 | 5 ... 10 | + 2 | 5 ... 10 |
| 500 | ± 5 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 5 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 510 Cu | ± 5 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 5 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 525 | ± 5 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 5 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 535 Tl | ± 5 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 5 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 546 Hg | ± 5 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 5 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 550 | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 554 Ba | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 575 | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 578 Hg | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 589 Na | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 600 | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 616 Ca | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 625 Ca | ± 6 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 6 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 650 | ± 7 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 7 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 656 H | ± 7 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 7 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 671 Li | ± 7 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 7 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 675 | ± 7 | 7 ... 11 | + 3 | 7 ... 11 | ± 7 | 5 ... 9 | + 3 | 5 ... 9 |
| 700 | ± 7 | 8 ... 12 | + 4 | 8 ... 12 | ± 7 | 5 ... 10 | + 4 | 5 ... 10 |
| 707 Sr | ± 7 | 8 ... 12 | + 4 | 8 ... 12 | ± 7 | 5 ... 10 | + 4 | 5 ... 10 |
| 725 | ± 7 | 8 ... 12 | + 4 | 8 ... 12 | ± 7 | 5 ... 10 | + 4 | 5 ... 10 |
| 750 | ± 8 | 8 ... 12 | + 4 | 8 ... 12 | ± 8 | 5 ... 10 | + 4 | 5 ... 10 |
| 768 K | ± 8 | 8 ... 12 | + 4 | 8 ... 12 | ± 8 | 5 ... 10 | + 4 | 5 ... 10 |
| 775 | ± 8 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 8 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 787 Rb | ± 8 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 8 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 791 Ba | ± 8 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 8 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 800 | ± 8 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 8 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 825 | ± 8 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 8 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 850 | ± 9 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 9 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 852 Cs | ± 9 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 9 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 875 | ± 9 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 9 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 894 Cs | ± 9 | 10 ... 16 | + 4 | 10 ... 16 | ± 9 | 6 ... 12 | + 4 | 6 ... 12 |
| 900 | ± 9 | ≤ 22 | + 5 | ≤ 22 | ± 9 | ≤ 16 | + 5 | ≤ 16 |
| 925 | ± 9 | ≤ 22 | + 5 | ≤ 22 | ± 9 | ≤ 16 | + 5 | ≤ 16 |
| 950 | ± 10 | ≤ 22 | + 5 | ≤ 22 | ± 10 | ≤ 16 | + 5 | ≤ 16 |
| 975 | ± 10 | ≤ 22 | + 5 | ≤ 22 | ± 10 | ≤ 16 | + 5 | ≤ 16 |
| 1000 | ± 10 | ≤ 22 | + 5 | ≤ 22 | ± 10 | ≤ 16 | + 5 | ≤ 16 |
| 1014 Hg | ± 10 | ≤ 22 | + 5 | ≤ 22 | ± 10 | ≤ 16 | + 5 | ≤ 16 |
| 1025 | ± 10 | ≤ 22 | + 5 | ≤ 22 | ± 10 | ≤ 16 | + 5 | ≤ 16 |
| 1050 | ± 11 | ≤ 22 | + 6 | ≤ 22 | ± 11 | ≤ 16 | + 6 | ≤ 16 |
| 1075 | ± 11 | ≤ 22 | + 6 | ≤ 22 | ± 11 | ≤ 16 | + 6 | ≤ 16 |
| 1100 | ± 11 | ≤ 22 | + 6 | ≤ 22 | ± 11 | ≤ 16 | + 6 | ≤ 16 |

Abmessungen der Homogenfilter

Die Homogenfilter werden grundsätzlich in Metallfassung mit Plastebehälter geliefert.

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Außendurchmesser..... | 55,0 mm |
| freier (nutzbarer) Durchmesser | 47,0 mm |
| Dicke | 12,5 mm |
| Durchmesser ohne Fassung | 50,2 mm |
| Dicke IF und SIF | < 6,5 mm |
| Dicke DIF und DSIF | < 8,5 mm |

Bei Bestellung genügt die Angabe des Filtertyps und der Wellenlänge.

Wir liefern außerdem einen **Standardsatz** von Homogenfiltern, in Behälter, bestehend aus:

| | |
|-----------------------------|--|
| 31 Interferenzfiltern | für die Wellenlängen 350 bis 1100 nm in Abständen von 25 zu 25 nm |
| 2 Spezialinterferenzfiltern | Na 589 nm Hg 436 nm |

Interferenzfilter für Flammenphotometer

Für die Anwendung in unserem Flammenphotometer Modell III liefern wir folgende Sonderfilter, die den Besonderheiten der Flammenphotometrie angepaßt

sind

| Typ | λ_{\max} [nm] | T_{\max} [%] | HwBr [nm] |
|-------|-----------------------|----------------|-----------|
| Mg 38 | 381 ... 385 | > 28 | < 16 |
| Sr 46 | 459 ... 463 | > 25 | < 10 |
| Cu 51 | 508 ... 512 | > 25 | < 10 |
| Tl 53 | 533 ... 537 | > 25 | < 10 |
| Ba 55 | 552 ... 556 | > 20 | < 10 |
| Na 59 | 586 ... 592 | > 20 | < 9 |
| Ca 63 | 619 ... 631 | > 25 | < 10 |
| Li 67 | 668 ... 674 | > 25 | < 12 |
| K 77 | 762 ... 774 | > 40 | < 20 |
| Rb 79 | 780+6 ... 793+3 | > 25 | < 15 |
| Ba 79 | 787 ... 793 | > 25 | < 15 |

Die Filter werden in Schraubfassung mit Plastebehälter geliefert.

Abmessungen: Schraubfassung mit Gewinde..... M 55×1,5
 größter Außendurchmesser..... 56,5 mm
 Dicke (einschließlich Gewinde) 10,5 mm

Bei Bestellung genügt die Angabe der Typenbezeichnung.

Interferenzfilter für Elpho

Zum Einsetzen in den Filterrevolver des Pulfrich-Photometers bei Benutzung des photoelektrischen Zusatzes Elpho liefern wir folgende Sonderfilter in Spezialfassung:

| Typ | λ_{\max} [nm] | τ_{\max} [%] | HwBr [nm] |
|------|-----------------------|-------------------|-----------|
| I 57 | 571 ... 577 | ≥ 30 | ≤ 15 |
| I 59 | 585 ... 591 | ≥ 30 | ≤ 15 |
| I 61 | 616 ... 622 | ≥ 30 | ≤ 15 |
| I 64 | 635 ... 641 | ≥ 30 | ≤ 15 |
| I 66 | 662 ... 668 | ≥ 30 | ≤ 15 |
| I 69 | 690 ... 696 | ≥ 30 | ≤ 15 |
| I 75 | 746 ... 754 | ≥ 30 | ≤ 15 |

Diese Filter können einzeln ohne, im kompletten Satz mit Behälter geliefert werden. Bei Bestellung genügt die Angabe der Typenbezeichnung, Außendurchmesser: 11 mm.

Interferenzfilter für Spekol

| λ_{\max} [nm] | τ_{\max} [%] | HwBr [nm] |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| 400 ± 4 | 25 | 8 ... 12 |
| 465 ± 5 | 25 | 8 ... 12 |
| 545 ± 5 | 25 | 7 ... 11 |
| 580 ± 6 | 25 | 7 ... 11 |
| 620 ± 6 | 25 | 7 ... 11 |
| 700 ± 7 | 25 | 8 ... 12 |

Diese Filter werden ungefaßt und ohne Behälter geliefert, sie können jedoch in einem als Zubehör zum Spekol lieferbaren Behälter für Trübungs- und Fluoreszenzstandards u. ä. mit untergebracht werden. Durchmesser: 27,8 mm.

Lichtfilter

Sehr häufig ist monochromatisches Licht erforderlich, ohne daß dabei besonderer Wert auf eine ganz bestimmte, hinsichtlich der Lage eng tolerierte Wellenlänge gelegt wird. Es reicht dann meistens aus, wenn der Sollwert für die Wellenlänge maximaler Transmission innerhalb eines Bereichs von 40 nm liegt. Ein entsprechend zusammengestellter, preisbegünstigter Satz, der aus sechs Interferenzfiltern besteht und die sechs Wellenlängenbereiche

430 ... 470 nm

480 ... 520 nm

530 ... 570 nm

580 ... 620 nm

630 ... 670 nm

680 ... 720 nm

umfaßt, würde diesem Zweck genügen.

Für den kompletten Satz beträgt der Abstand zweier Filter aus benachbarten Bereichen mindestens 20 nm.

Die Lichtfilter sind satzweise und einzeln lieferbar.

Daten und Abmessungen:

| | |
|---|----------------------------|
| Maximale Transmission (T_{\max})..... | etwa 35 %, mindestens 25 % |
| Halbwertsbreite (HwBr) | 8 . . . 12 nm |
| Außendurchmesser | 55,0 mm |
| freier (nutzbarer) Durchmesser..... | 47,0 mm |
| Dicke..... | 12,5 mm |

Bei Einzelbestellung genügt die Angabe des Wellenlängenbereiches.

Verlauffilter

Optische Daten und Abmessungen

| | λ_{\max} | T_{\max} | HwBr |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------|
| Verlaufinterferenzfilter | etwa 400 nm ... etwa 750 nm | $\approx 35\%$ mind. 25% | 8 ... 12 nm |
| Doppelverlaufinterferenzfilter | etwa 400 nm ... etwa 750 nm | $\approx 15\%$ mind. 8% | 5 ... 10 nm |

Die angegebenen Werte (T_{\max} und HwBr) beziehen sich auf die Filtermitte; diese liegt bei $\lambda_{\max} = 575 \text{ nm} \pm 1\%$.

Die Verlauffilter sind ungefaßt, jedoch randverkittet, und werden in Behältern geliefert.

| | |
|----------------------------|-----------------------------|
| Äußere Maße (mm) | $76,2 \times 20,2 \times 6$ |
| Filternutzfläche (mm)..... | 74×18 |

Sonderanfertigungen

Im Rahmen unserer derzeitigen technischen Möglichkeiten sind wir bereit, auf Wunsch Sonderanfertigungen von Metallinterferenzfiltern abweichender Größen und Wellenlängen vorzunehmen. Aus Rentabilitätsgründen müssen wir allerdings bei kleinen Stückzahlen Mindermengenzuschläge berechnen bzw. auf der Abnahme von Mindeststückzahlen bestehen. In jedem Fall empfiehlt sich eine vorherige Anfrage.

Auch von der Kreisform abweichende Filter können in Sonderanfertigung hergestellt werden, soweit sie in einen Kreis von 75 mm Durchmesser hineinpassen.

Schrifttum

- Geffcken, W.: Neuartige Interferenzlichtfilter. Z. angew. Chem. A **60** (1948) H. 1.
- Günzler, H.: Messung kleinster Durchlässigkeiten an Farbgläsern und Metallinterferenzfiltern. Feingerätetechn. **4** (1955) H. 12, S. 550 - 557.
- Günzler, H.: Farbgläser und Metallinterferenzfilter. Feingerätetechn. **5** (1956) H. 10, S. 441 - 448.
- Günzler, H.: Zur visuellen Anwendung der Metallinterferenzfilter. Feingerätetechn. **7** (1958) H. 8, S. 354 - 360.
- Rötger, H.: Das Jenaer Interferenzfilterspektroskop. Exper. Techn. d. Phys. **3** (1955) S.-H., S. 88 -103.
- Schläfer, R.: Interferenzfilter für den Chemiker. Dechema-Monogr. **17** (1951) S. 138.

Bestellliste

| Benennung | Masse kg | Bestellnummer | |
|--|----------|---------------|-------------------|
| 1. Homogenfilter | | | |
| UV-Interferenzfilter in Fassung, in Behälter (333 ... 383 nm) | UVIF | 0,070 | 32 80 10AF-14 AF |
| UV-Spezialinterferenzfilter in Fassung, in Behälter (333 ... 383 nm) | UVSIF | 0,070 | 32 80 10 BF-14 BF |
| Interferenzfilter in Fassung, in Behälter (400 ... 1100 nm) | IF | 0,070 | 32 80 20 AF-70 AF |
| Spezialinterferenzfilter in Fassung, in Behälter (400 ... 1100 nm) | SIF | 0,070 | 32 80 20 BF-70 BF |
| Doppelinterferenzfilter in Fassung, in Behälter (400 ... 1100 nm) | DIF | 0,100 | 32 80 20 CF-70 CF |
| Doppelspezialinterferenzfilter in Fassung, in Behälter (400 ... 1100 nm) | DSIF | 0,100 | 32 80 20 DF-70 DF |
| Lichtfilter, Ø = 50,2 mm, in Fassung, in Behälter | LIF | 0,070 | 32 80 81 AF-8Ö AF |
| Behälter für Homogenfilter | | 0,040 | 32 98 11 A |

Bestellliste

| Benennung | Masse kg | Bestellnummer |
|---|----------|---------------|
| | | |
| <p>Standardsatz, in Behälter, bestehend aus:</p> <p>31 Interferenzfiltern für die Wellenlängen 350 bis 1100 nm in Abständen von 25 zu 25 nm und 2 Spezialinterferenzfiltern Na 589 nm und Hg 436 nm.....</p> | 2,000 | 32 80 97 A |
| Behälter | 0,050 | 32 98 11 D |
| <p>1 Satz = 6 Stück Lichtfilter, Ø = 50,2 mm, in Behälter</p> | 0,310 | 32 80 96 A |
| Behälter | 0,050 | 32 98 11 C |
| <p>2. Verlaufinterferenzfilter</p> <p>Verlaufinterferenzfilter, Länge 76 mm, etwa 400 bis etwa 750 nm, in Behälter VIF</p> | 0,070 | 32 80 80 A |
| Doppelverlaufinterferenzfilter, Länge 76 mm, etwa 400 bis etwa 750 nm, in Behälter..... DVIF | 0,070 | 32 80 80 B |
| Behälter | 0,040 | 32 98 11 E |
| <p>3. Metallinterferenzfilter mit Schraub- fassung für Flammenphotometer Modell III</p> <p>Metallinterferenzfilter K 77, in Fassung, in Behälter</p> | 0,070 | 32 43 13 AF |
| Metallinterferenzfilter Na 59, in Fassung, in Behälter | 0,050 | 32 43 21 AF |
| Metallinterferenzfilter Ca 63, in Fassung, in Behälter | 0,070 | 32 43 12 AF |
| Metallinterferenzfilter Li 67, in Fassung, in Behälter | 0,070 | 32 43 11 AF |
| Metallinterferenzfilter Rb 79, in Fassung, in Behälter | 0,070 | 32 43 14 AF |
| Metallinterferenzfilter Cu 51, in Fassung, in Behälter | 0,070 | 32 43 15 AF |
| Metallinterferenzfilter Ba 79, in Fassung, in Behälter | 0,070 | 32 43 16 AF |
| Metallinterferenzfilter Sr 46, in Fassung, in Behälter | 0,070 | 32 43 17 AF |

Bestellliste

| Benennung | Masse kg | Bestellnummer |
|---|----------|----------------|
| Metallinterferenzfilter Mg 38, in Fassung, in Behälter..... | 0,070 | 32 43 18 AF |
| Metallinterferenzfilter TI 53, in Fassung, in Behälter..... | 0,070 | 32 43 19 AF |
| Metallinterferenzfilter Ba 55, in Fassung, in Behälter..... | 0,070 | 32 43 20 AF |
| Fassung für Interferenzfilter, Ø = 50 mm | 0,030 | 32 43 65 |
| 4. Metallinterferenzfilter zum Einsetzen der Filterrevolver am Pulfrich-Photometer beim Betrieb mit photoelektrischem Zusatz ELPHO | | |
| Metallinterferenzfilter I 57 (Filterschwerpunkt 574 nm), Ø =11 mm, in Fassung | 0,030 | 32 81 41 AF |
| Metallinterferenzfilter I 59 (Filterschwerpunkt 588 nm), Ø =11 mm, in Fassung | 0,030 | 32 81 42 AF |
| Metallinterferenzfilter I 61 (Filterschwerpunkt 619 nm), Ø = 11 mm, in Fassung | 0,030 | 32 81 43 AF |
| Metallinterferenzfilter I 64 (Filterschwerpunkt 638 nm), Ø =11 mm, in Fassung | 0,030 | 32 81 44 AF |
| Metallinterferenzfilter I 66 (Filterschwerpunkt 665 nm), Ø = 11 mm, in Fassung | 0,030 | 32 81 45 AF |
| Metallinterferenzfilter I 69 (Filterschwerpunkt 693 nm), Ø =11 mm, in Fassung | 0,030 | 32 81 46 AF |
| Metallinterferenzfilter I 75 (Filterschwerpunkt 750 nm), Ø =11 mm, in Fassung | 0,030 | 32 81 47 AF |
| Behälter für 1 Satz Metallinterferenzfilter | 0,400 | 32 95 06 A |
| 5. Interferenzfilter für Spekol | | |
| Metallinterferenzfilter | | |
| 400 nm | 0,050 | 32 81 50:00124 |
| 465 nm | 0,050 | 32 81 50:00224 |
| 545 nm | 0,050 | 32 81 50:00324 |
| 580 nm | 0,050 | 32 81 50:00424 |
| 620 nm | 0,050 | 32 81 50:00524 |
| 700 nm | 0,050 | 32 81 50:00624 |

Die Masse-Angaben sind nur annähernd und unverbindlich.

Refraktometer: Abbe-Refraktometer, Eintauchrefraktometer, Hand-Refraktometer, Lebensmittelrefraktometer

Interferometer: Laboratoriums-Interferometer, Gasinterferometer Modell 10

Schlieren-Aufnahmegerät 80

Spektroskope: Industriespektroskop, Handspektroskop

Spektrographen: UV-Spektrograph Q 24, Drei-Prismen-Spektrograph, Plangitter-Spektrograph PGS 2

Spektralphotometer: Spiegelmonochromatoren SPM 1 und SPM 2, Universal-Spektralphotometer VSU 1, Infrarot-Spektralphotometer UR 10 W

Funkenerzeuger HFO2, Abreißbogenerzeuger ABR 3, Dauerbogenerzeuger DB 6

Spektrprojektor SP 2

Kolorimeter: SPEKOL, lichtelektrisches Spektralkolorimeter für Extinktionsmessungen, Trübungsmessungen, Fluoreszenzmessungen, Remissionsmessungen, photometrische sowie Trübungs- und Fluoreszenztitration

Polarimeter: Taschenpolarimeter, Kreispolarimeter

Optischer Spannungsprüfer 300

Lichtelektrische Photometer: Lichtelektrisches Registrierphotometer Lirepho 2, Schnellphotometer G II und G III, Leukometer, Flammenphotometer III

Abbe-Komparator

Elektrische Meßgeräte: Schleifengalvanometer, Skalengalvanometer

Standard-Kompensationsschreiber

Vakuum-Thermoelemente

Konimeter

Hg-Monochromatfilter

Metallinterferenzfilter

JENA

Ursprung und Zentrum der modernen Optik

Für wissenschaftliche Veröffentlichungen stellen wir Reproduktionen der Bilder dieser Druckschrift — soweit vorhanden — gern zur Verfügung. Sie sind nicht in allen Einzelheiten für die Ausführung der Geräte maßgebend. Die Wiedergabe von Bildern oder Text ohne unsere Zustimmung ist nicht gestattet. Das Recht der Übersetzung behalten wir uns vor.

VEB Carl Zeiss JENA

Vertriebsabteilung Meßgeräte

Fernsprecher: Jena 7042

Femschreiber: Jena 058 622

Druckschriften-Nr. **32-846b-1**

VERTRETUNG:

