

Willkommen bei „Begriffe und Definitionen“. Hier finden Sie - in alphabetischer Reihenfolge - Begriffe, die näher erklärt werden. Sollten Sie sich dieses Dokument mit dem Acrobat Reader ansehen, so können Sie zur schnelleren Navigation die Lesezeichen verwenden.

## ADI - Filter

Bei All Dielektrik Interferenzfiltern besteht das Schichtensystem aus einer alternierenden Folge von dünnen Schichten mit unterschiedlichen Brechzahlen, wobei die verwendeten Materialien im genutzten Spektralbereich praktisch absorptionsfrei sind.

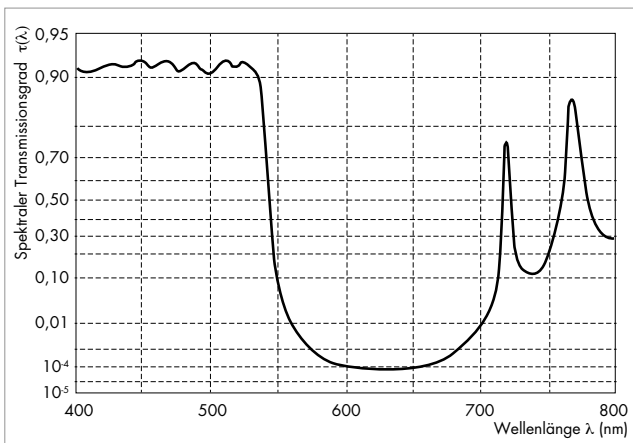


Abb. 1: Verlauf des spektralen Transmissionsgrades (Prinzipkurve) eines nicht abgeblockten ADI - Kurzpassfilters.

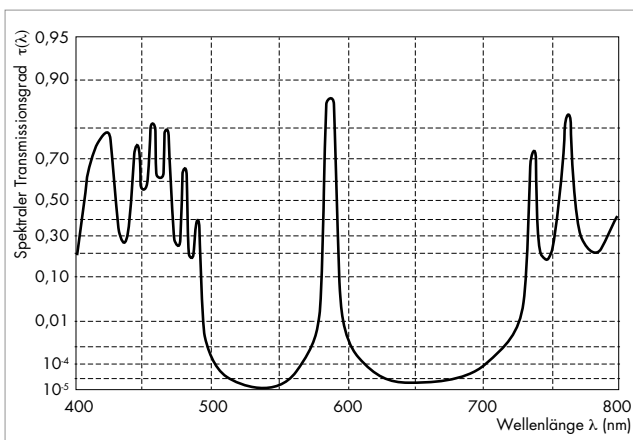
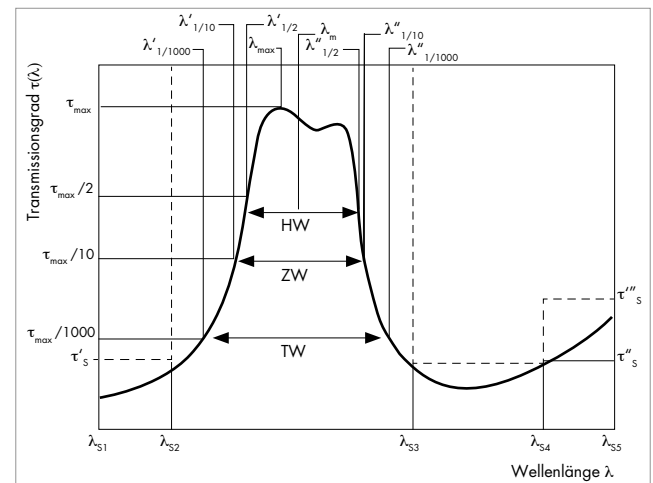


Abb. 2: Verlauf des spektralen Transmissionsgrades (Prinzipkurve) eines nicht abgeblockten ADI - Bandpassfilters.

Je nach Aufbau des Schichtensystems ergeben sich im wesentlichen folgende Filtertypen: Spiegel, Kantenfilter, Bandsperrfilter sowie Bandpassfilter. Die Prinzipkurven der Abbildungen 1 und 2 zeigen, dass ADI-Filter von sich aus nur einen begrenzten filtereigenen Sperrbereich aufweisen. Um die Sperrbereiche zu erweitern, ist eine zusätzliche Blockung mit weiteren Filtern notwendig.

## Bandpassfilter

Bandpassfilter sind dadurch charakterisiert, dass sich an einem Bereich hoher Transmission (Durchlassbereich) zu kürzeren und längeren Wellenlängen hin Bereiche mit niedriger Transmission (Sperrbereiche) anschließen.



### Kennzeichnung Bandpassfilter

$\tau_{max}$ :

Maximum des spektralen Transmissionsgrades im Durchlassbereich.

$\lambda_m$ :

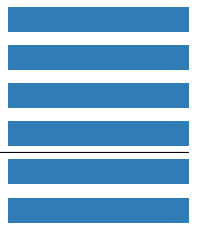
Mittelwellenlänge: Bezeichnet man mit  $\lambda'_{1/2}$  und  $\lambda''_{1/2}$  diejenigen Wellenlängen, bei denen der spektrale Transmissionsgrad

$\tau_{max}/2$  beträgt, so gilt:

$$\tau_m = (\lambda'_{1/2} + \lambda''_{1/2}) / 2$$

$\lambda_{max}$ :

Wellenlänge, bei der das Filter den spektralen Transmissionsgrad  $\tau_{max}$  annimmt.



$$HW = \Delta\lambda_{1/2} :$$

**Halbwertsbreite = Kurvenbreite bei  $\tau_{\max}/2$**

$$\text{Mit } \tau(\lambda'_{1/2}) = \tau(\lambda''_{1/2}) = \tau_{\max}/2$$

$$\text{erh\u00e4lt man HW} = \Delta\lambda_{1/2} = \lambda''_{1/2} - \lambda'_{1/2}$$

$$ZW = \Delta\lambda_{1/10} :$$

**Zehntelwertsbreite = Kurvenbreite bei  $\tau_{\max}/10$**

$$\text{Mit } \tau(\lambda'_{1/10}) = \tau(\lambda''_{1/10}) = \tau_{\max}/10$$

$$\text{erh\u00e4lt man HW} = \Delta\lambda_{1/10} = \lambda''_{1/10} - \lambda'_{1/10}$$

$$TW = \Delta\lambda_{1/1000} :$$

**Tausendstelwertsbreite = Kurvenbreite bei  $\tau_{\max}/1000$**

$$\text{Mit } \tau(\lambda'_{1/1000}) = \tau(\lambda''_{1/1000}) = \tau_{\max}/1000$$

$$\text{erh\u00e4lt man HW} = \Delta\lambda_{1/1000} = \lambda''_{1/1000} - \lambda'_{1/1000}$$

**Q-Wert:**

$$Q = ZW/HW$$

**q-Wert:**

$$q = TW/HW$$

$\tau_{SM}$ :

**Durchschnittlicher (gemittelter) Wert des spektralen Transmissionsgrades im Sperrbereich.**

Bei Bandpass-Interferenzen, deren Sperrbereich mit „unbegrenzt“ angegeben ist, wird bei der Bestimmung von  $\tau_{SM}$  als langwellige Grenze das Ende des Empfindlichkeitsbereiches der \u00fcblicherweise verwendeten Detektoren zugrunde gelegt.

$\tau_s$ :

**Oberer Grenzwert des spektralen Transmissionsgrades im Sperrbereich.**

$\tau'_s, \tau''_s$  usw.:

**Oberer Grenzwert des spektralen Transmissionsgrades in den Sperrbereichen  $\lambda_{s1}$  bis  $\lambda_{s2}$ ,  $\lambda_{s3}$  bis  $\lambda_{s4}$  usw.**

## Blockung

Die zus\u00e4tzliche D\u00e4mpfung der Strahlung au\u00dferhalb des filtereigenen Sperrbereichs durch weitere Filter bezeichnet man als Blockung. Sie wird \u00fcblicherweise erreicht durch Absorption und/oder Reflexion der unerw\u00fcnschten Strahlung.

## Einfallsebene

Die Einfallsebene ist als diejenige Ebene definiert, die von der Fl\u00e4chennormale des Filters und der optischen Achse der einfallenden Strahlung aufgespannt wird. Bei einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  kann demnach keine Einfallsebene definiert werden, da optische Achse und Fl\u00e4chennormale zusammenfallen.

## Einfallswinkel

Unter dem Einfallswinkel versteht man denjenigen Winkel, den die Fl\u00e4chennormale eines Filters mit der optischen Achse der einfallenden Strahlung bildet. Wenn Strahlung senkrecht auf die Filteroberfl\u00e4che auftrifft, betr\u00e4gt also der Einfallswinkel  $0^\circ$ .

## Halbwertsbreite (HWB)

Breite des Durchlassbereichs bei halbem maximalen Transmissionsgrad.

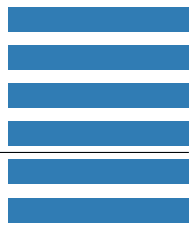
## Interferenz

Das Auftreten von Interferenz ist charakteristisch f\u00fcr die Welleneigenschaft elektromagnetischer Strahlung: Zwei oder mehrere koh\u00e4rente Wellenz\u00fcge gleicher Wellenl\u00e4nge und gleichen Polarisationszustandes, die sich \u00fcberlagern, addieren oder kompensieren sich gegenseitig je nach Phasenlage und Amplitude der elektrischen Feldst\u00e4rke.

## Interferenzfilter

Derartige Filter nutzen das Ph\u00e4nomen der Interferenz aus, um bestimmte Spektralbereiche der elektromagnetischen Strahlung bevorzugt durchzulassen oder zu reflektieren. Hierzu wird auf ein Substrat ein Vielzahl von d\u00fcnnen Schichten unterschiedlicher Brechzahlen aufgebracht. Die optische Dicke dieser Schichten betr\u00e4gt meist ein Viertel einer vorgegebenen Zentralwellenl\u00e4nge oder ein Vielfaches davon.

Trifft elektromagnetische Strahlung auf ein solches Schichtensystem, so wird an jeder Grenzfl\u00e4che zwischen zwei Materialien unterschiedlicher Brechzahl die auftreffende Strahlung in einen durchgelassenen



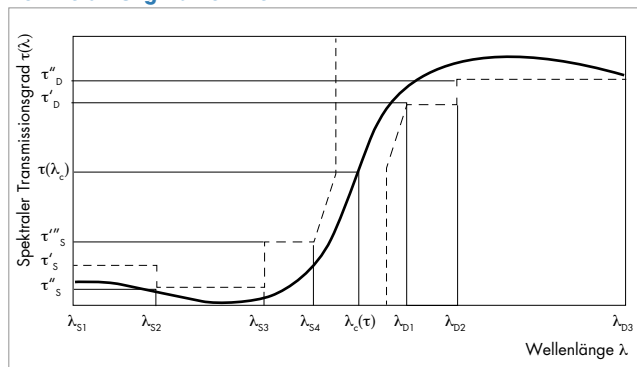
und einem reflektierten Anteil aufgespalten. An jeder weiteren Grenzfläche finden erneut entsprechende Aufspaltungen statt, sodass insgesamt sehr viele Teilstrahlen entstehen, die sich überlagern und konstruktiv oder destruktiv miteinander interferieren. Je nach Art, Zahl, Dicke und Anordnung der Schichten lässt sich somit eine große Vielfalt an spektralen Charakteristiken bezüglich hoher Transmission oder hoher Reflexion erzeugen.

## Kantenfilter

Kantenfilter sind dadurch gekennzeichnet, dass sich an einem Bereich hoher Transmission (Durchlassbereich) ein Bereich niedriger Transmission (Sperrbereich) anschließt oder umgekehrt.

Man unterscheidet zwei Arten von Kantenfiltern: Bei Kurzpassfiltern liegt der Durchlassbereich bei kürzeren, bei Langpassfiltern bei längeren Wellenlängen als der Sperrbereich.

### Kennzeichnung Kantenfilter



$\lambda_c$ :  
Kantenwellenlänge, bei der der spektrale Transmissionsgrad einen bestimmten festgelegten Wert annimmt, z.B.  $\tau(\lambda_c) = 0,46$ .

$\tau_{DM}$ :  
Durchschnittlicher (gemittelter) Wert des spektralen Transmissionsgrades im Durchlassbereich.

$\tau_D$ :  
Mindestwert des spektralen Transmissionsgrades im Durchlassbereich.

$\tau'_D, \tau''_D$  usw.:

Mindestwerte des spektralen Transmissionsgrades in den Durchlassbereichen  $\lambda_{D1}$  bis  $\lambda_{D2}$ ,  $\lambda_{D2}$  bis  $\lambda_{D3}$  usw.

$\tau_S$ :

Oberer Grenzwert des spektralen Transmissionsgrades im Sperrbereich.

$\tau'_S, \tau''_S$  usw.:

Obere Grenzwerte des spektralen Transmissionsgrades in den Durchlassbereichen  $\lambda_{S1}$  bis  $\lambda_{S2}$ ,  $\lambda_{S2}$  bis  $\lambda_{S3}$  usw.

## $n^*$ (Effektiver Brechungsindex)

Der scheinbare Brechungsindex eines Interferenzfilters, welcher sich aus der Kombination der Indices von Substrat, Beschichtung und Epoxy ergibt.

$$\lambda_{\Theta} = \lambda_0 \left[ 1 - \left( \frac{N_e}{N^*} \right)^2 \sin^2 \Theta \right]^{\frac{1}{2}}$$

$\lambda_{\Theta}$  = ZWL beim Einfallswinkel  $\Theta$

$\lambda_0$  = ZWL beim normalen Einfallswinkel

$N_e$  = Brechungsindex des äußeren Mediums (i. d. R. Luft 1,0)

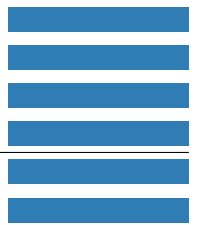
$N^*$  = Effektiver Brechungsindex d. Filters

$\Theta$  = Einfallswinkel

## Öffnungswinkel

Parallele Strahlung kann im strengen Sinne des Wortes nicht realisiert werden. Man hat es allenfalls mit annähernd paralleler (quasiparalleler) Strahlung zu tun. Die Strahlung bildet einen mehr oder weniger geöffneten Kegelinie.

Unter dem Öffnungswinkel versteht man den doppelten Wert desjenigen Winkels, den ein beliebiger Strahl auf die Mantelfläche des Strahlenkegels mit der optischen Achse (Symmetrieachse) dieses Kegels bildet. In Bezug auf die spektralen Eigenschaften von Interferenzfiltern und optischen Glasfiltern kann im Rahmen der üblicherweise geforderten Genauigkeit Strahlung als „quasiparallel“ angesehen werden, wenn der Öffnungswinkel sich im Bereich von ca.  $5^\circ$  bewegt. Werte in dieser Größenordnung sind typisch für Spektrometer, die beispielsweise für die Bestimmung des spektralen Transmissionsgrades von optischen Strahlungsfiltren verwendet werden.



## Periode

Zwei Spiegel, getrennt durch eine absorptionsfreie Distanzschicht. Beispiel: ein 2-Perioden Filter besteht aus 3 Spiegeln und 2 Distanzschichten.

## Polarisation

Bei elektromagnetischer Strahlung schwingt der elektrische Feldvektor senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Diese Eigenschaft ist für sogenannte Transversalwellen charakteristisch.

Der elektrische Feldvektor und der Vektor der Ausbreitungsrichtung spannen die sog. Schwingungsebene auf. Bei unpolarisierter Strahlung wird keine bestimmte Schwingungsebene bevorzugt. Wenn alle elektrischen Feldvektoren in derselben Ebene schwingen, handelt es sich um linear polarisierte Strahlung. Trifft parallele, linear polarisierte Strahlung unter einem Einfallswinkel größer als  $0^\circ$  auf eine Fläche, z.B. Oberfläche eines Interferenzfilters, so können zwei Grenzfälle unterschieden werden:

1. Der elektrische Feldvektor schwingt parallel zur Einfallsebene. In diesem Fall spricht man von P-polarisierter Strahlung.
2. Der elektrische Feldvektor schwingt senkrecht zur Einfallsebene. Dann spricht man von S-polarisierter Strahlung.

Bei linear polarisierter Strahlung, die unter  $0$  auf eine Fläche trifft, kann diese Unterscheidung nicht mehr gemacht werden, da keine Einfallsebene definiert werden kann.

Interferenzfilter hängen in ihren spektralen Eigenschaften mehr oder weniger stark vom Polarisationszustand der auftreffenden Strahlung ab, insbesondere bei größeren Einfallswinkeln.

## Sperrbereich bis...

Bei dieser Angabe erstreckt sich der kürzerwellige Sperrbereich von Wellenlängen unterhalb 100 bis zum Beginn des Durchlassbereiches. Der längerwellige Sperrbereich erstreckt sich vom Ende des Durchlassbereiches bis mindestens zur angegebenen Wellenlänge.

## Sperrbereich unbegrenzt

Diese Angabe bedeutet, dass sich der kürzerwellige Sperrbereich von Wellenlängen unterhalb 100 nm bis zum Beginn des Durchlassbereiches erstreckt. Der längerwellige Sperrbereich erstreckt sich vom Ende des Durchlassbereiches bis ins Ferne Infrarot (Wellenlängen oberhalb  $50 \mu\text{m}$ ). Somit kann für die üblichen praktischen Anwendungen der Sperrbereich derartig gekennzeichnete Filter als „unbegrenzt“ angesehen werden.

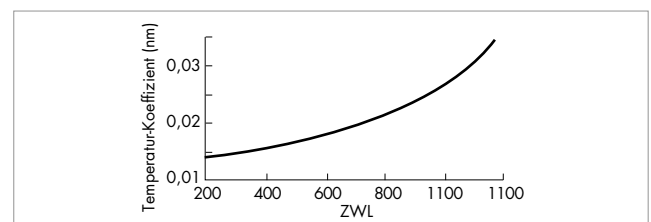
## Strahlungsbeständigkeit

Starke Strahlung, wie z.B. intensive UV-Strahlung oder Laserstrahlung hoher Leistung, kann bei Interferenzfiltern und optischen Strahlungsfiltren allgemein zu einer bleibenden Veränderung der optischen Filterwerte bis hin zur Zerstörung des Filters führen. Das Ausmaß einer möglichen Veränderung hängt unter anderem vom speziellen Aufbau des betreffenden Filters ab sowie von der Art und Intensitätsverteilung (spektral, räumlich und zeitlich gesehen) der auf das Filter treffenden Strahlung.

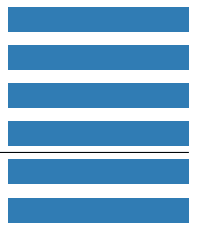
## Temperaturabhängigkeit

Die ZWL von Interferenzfiltern verschiebt sich linear mit der Änderung der Umgebungstemperatur. Aus diesem Grund ist es wichtig, bei Bestellung eines Filters die Betriebstemperatur zu spezifizieren.

Die ZWL verschiebt sich zu längeren Wellenlängen bei positiver und zu kürzeren Wellenlängen bei negativer Temperaturänderung. Der Verschiebungsfaktor hängt von der ZWL des jeweiligen Filters ab. Vergleichen Sie hierzu die folgende Kurve.



Um eine Zerstörung durch thermischen Schock zu verhindern, empfehlen wir eine maximale Betriebstemperatur von  $70^\circ\text{C}$  und eine maximale Temperaturänderung von  $5^\circ\text{C}$  pro Minute.



## T<sub>x</sub>

Mindest-Transmission bei  $\lambda_m$ .

## Winkelabhängigkeit

Die Änderung der optischen Werte eines Interferenzfilters mit größer werdendem Einfallswinkel hängt u.a. von der spektralen Lage des Filters, vom Polarisationszustand der Strahlung, von den verwendeten Schichtmaterialien und von der Bauart des gesamten Schichtsystems ab. Selbst Filter desselben Typs können unterschiedliches Winkelverhalten zeigen, da der Systemaufbau je nach spektraler Lage des Filters verschieden ausfallen muss, um die typenspezifischen spektralen Daten einzuhalten.

Die Verschiebung der Durchlass-Stelle bzw. Kantenlage bei Interferenzfiltern erfolgt grundsätzlich zu kürzeren Wellenlängen. Bei paralleler Strahlung und nicht zu grossen Einfallswinkeln  $\alpha$  (der zulässige Winkelbereich für  $\alpha$  hängt von dem jeweiligen Filter ab) kann die Verschiebung  $\Delta\lambda$  in guter Näherung durch den Ausdruck

$$\Delta\lambda = \lambda_{\alpha=0^\circ} - \lambda_\alpha \approx K \cdot \sin^2\alpha$$

beschrieben werden. Für ein bestimmtes Filter und einen bestimmten Polarisationszustand der auftretenden Strahlung ist K näherungsweise eine Konstante. Interferenzfilter mit Plus- oder Minustoleranzen für die Durchlasswellenlänge bzw. Kantenlage können im Strahlengang durch entsprechende Neigung gegenüber der optischen Achse genau auf die gewünschte spektrale Lage eingestellt werden.

Der Einfluss des Öffnungswinkels führt ebenfalls zu einer Verschiebung zu kürzeren Wellenlängen. Bei unpolarisierter Strahlung mit Einfallswinkel  $0^\circ$  und nicht zu grossem Öffnungswinkel  $\Theta$  entspricht die Verschiebung in etwa dem Wert, der bei paralleler unpolarisierter Strahlung mit Einfallswinkel  $\alpha = \Theta/4$  erhalten wird. Mit größer werdendem Öffnungswinkel machen sich bei Bandpassfiltern außerdem eine Verbreiterung und eine Transmissionsverminderung der effektiven Filterkurve zunehmend bemerkbar. Dabei treten diese Effekte i.a. bei Filtern mit kleinen Bandbreiten stärker auf als bei Filtern mit größeren Halbwertsbreiten.

In den meisten Anwendungsfällen sind die Veränderungen der spektralen Filterwerte bis zu Einfallswinkeln von etwa  $5^\circ$  im parallelen Strahlengang bzw. bis zu Öffnungswinkeln von etwa  $20^\circ$  bei  $0^\circ$  Einfallswinkel praktisch ohne Bedeutung, ausgenommen sind Bandpassfilter mit Halbwertsbreiten unter 5 nm.

## ZWL-Bereich

Dies ist der Bereich, in dem Sie die ZWL des von Ihnen gewünschten Filters mit der jeweils ausgewählten HWB frei wählen können.



Ihr Kontakt:  
Jürgen Fischbach  
Tel: 06151 / 8806-71  
Fax: 06151 / 8806-89  
fischbach@lot-oriel.de