

A man with a beard and blue eyes, wearing a light blue button-down shirt and white gloves, is working in a glass factory. He is holding a large, circular glass disc with a purple coating. The background is dark and industrial, with some equipment visible.

SCHOTT
glass made of ideas

**BOROFLOAT® &
Funktionelle
Beschichtungen:
Die Verbindung von
Inspiration & Qualität**

White Paper

BOROFLOAT® 33 & Funktionelle Beschichtungen: Die Verbindung von Inspiration & Qualität

Die Leistungsanforderungen an optische Filter und Spiegel hängen stark vom Material ab und dessen Fähigkeit, einfallendes Licht zu reflektieren, zu absorbieren, zu korrigieren oder zu modifizieren. Dies kann mit speziellen optischen Gläsern oder durch Beschichtung von Klarglassubstraten erreicht werden. Über Beschichtungen können Lichtmanagementlösungen viel freier gestaltet werden, vor allem, wenn ein Flachglaswerkstoff mit herausragenden optischen, thermischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften verwendet wird. BOROFLOAT®-Borosilicatglas ist ein solch einzigartiges Substrat und wurde deshalb zum Material der Wahl für robuste, hochtemperaturbeständige dichromatische Filter sowie Warmlicht- und auch Kaltlichtspiegel.

1. Einleitung

SCHOTT hat sich als internationaler Technologiekonzern mit 130 Jahren Erfahrung auf den Gebieten Spezialglas, Spezialwerkstoffe und Spitzentechnologien vor allem durch seine fortschrittlichen Qualitätswerkstoffe und -komponenten einen Namen gemacht. Borosilicatglas war eine der großen Erfindungen von Otto Schott, denn es ist bei hohen Temperaturen sowie chemischen Angriffen sehr beständig und hat dabei herausragende optische Eigenschaften. Das Glas, das ursprünglich für Thermometer, Laborgeräte und Lampenzylinder verwendet wurde, hat sich zu einem Werkstoff mit unbeschränktem Potential entwickelt. Ob als Scheibe in der Backofentür oder als Biochip in der modernen Medizintechnik, ob als Bestandteil von Bühnenscheinwerfern, Kinoprojektoren oder Tauchrobotern, nur wenige Gläser sind so vielseitig einsetzbar wie BOROFLOAT® - das weltweit erste gefloatete Borosilicatglas mit herausragender Qualität. Und das seit mehr als 20 Jahren.

Auf Beschichtungen spezialisierte Firmen haben BOROFLOAT®-Glas als Substrat für hochentwickelte Beschichtungen entdeckt, das selbst unter den schwierigsten Bedingungen eingesetzt werden kann. **BOROFLOAT® 33 – Die Summe seiner Eigenschaften macht es einzigartig für funktionelle Beschichtungen**

- Außergewöhnlich hohe Transparenz
- Hervorragende thermische Widerstandsfähigkeit
- Ausgezeichnete mechanische Belastbarkeit
- Umfangreiches Spektrum an Dicken und Formaten

BOROFLOAT® ist bei konventionellen aber auch bei Spezialanwendungen überaus leistungsfähig und oft sogar dann das Material der Wahl, wenn es auf einen niedrigen Preis ankommt.



2. BOROFLOAT® – Die perfekte Wahl für dichromatische Filter

Das Wort dichromatisch kommt von den griechischen Wörtern di für zwei und chroma für Farbe und weist damit auf die erstaunlichen farbreflektierenden Eigenschaften hin, für die dichromatische Materialien bekannt sind. Dichromatische Gläser scheinen mehr als eine Farbe gleichzeitig zu haben, vor allem, wenn man sie aus verschiedenen Winkeln betrachtet, und erinnern ein wenig an die Regenbogenmuster, die man sieht, wenn Öl auf Wasser schwimmt. Das Prinzip ist auch ganz ähnlich, denn dichromatische Filter werden hergestellt, indem (15 bis 50) ultradünne Schichten aus Metall oder Metalloxiden, die verschiedene Brechungsindizes haben, auf Glas aufgebracht werden. Diese Schichten werden normalerweise durch Vakuumabscheidung erzeugt und sind weniger als 1 Mikrometer dünn. Die Beschichtung selbst hat keine Farbe, sondern bricht das Licht ähnlich wie ein Prisma oder reflektiert das Licht, genauso wie der Ölfilm auf dem Wasser, der den Regenbogeneffekt erzeugt. Die unzähligen Kombinationsmöglichkeiten für derartige Beschichtungen inspirieren Ingenieure genauso wie Künstler.

Ursprünglich entwickelte die NASA in den 1950ern dichromatische Gläser, um empfindliche Instrumente in Raumfahrzeugen vor schädlicher kosmischer Strahlung zu schützen. Doch ihre Fähigkeit nur bestimmte Wellenlängenbereiche zu reflektieren und zu absorbieren eröffnete sehr schnell neue Möglichkeiten. Heute werden dichromatische Filter in der Beleuchtung von Gebäuden oder der Unterhaltungsindustrie, in optischen Farbrädern, zur Lichtkorrektur, in elektronischen Bauteilen, zur Steuerung von Wärme und UV-Strahlung, Unterwasserbeleuchtung, medizinischen

Bestrahlung und vielen anderen Anwendungen genutzt. Dichromatische Filter – auch Interferenzfilter genannt – reflektieren unerwünschte Strahlung, statt ihre Energie zu absorbieren und werden deshalb oft für hochintensive Lichtquellen oder in sogenannten Light-engines genutzt. Die optischen Eigenschaften (vollkommene Transparenz für sichtbares Licht) in Verbindung mit der Temperaturbeständigkeit bestimmen die Effizienz und die maximale Arbeitstemperatur des Filterprodukts. Gefärbtes Plastik oder kommerzielle Glassorten haben eine beschränkte thermische Widerstandsfähigkeit und Plastik-Farbgele neigen zum Altern und zerfallen, wenn sie hochenergetischen Lichtquellen ausgesetzt sind. BOROFLOAT® dagegen zeigt eine hervorragende thermische Beständigkeit, wird durch UV-Strahlung kaum geschädigt (geringe Empfindlichkeit gegen Solarisation), hält Temperaturgradienten stand und verbindet eine überragende optische Klarheit mit einer spiegelgleichen Oberflächenqualität. Aufgrund seiner vollständig verknüpften Glas-Mikrostruktur mit einem relativ geringen Gehalt von nicht brückenbildenden Sauerstoffionen, zeigt BOROFLOAT® geringe Alterungserscheinungen, selbst wenn es intensiver Strahlung ausgesetzt wird.

Es ist daher kein Wunder, dass es sehr schnell zum Substrat der Wahl für dichromatische Filter und Farbkorrekturfilter auf der ganzen Welt wurde. Dichromatische Filter aus BOROFLOAT® weisen unter anspruchsvollen Anwendungsbedingungen deutlich bessere Farbfiltereigenschaften (z.B. steilerer Kantenverlauf, höhere Transparenz bei sichtbarem Licht), eine höhere Zerstörungsschwelle bei der Einwirkung von Laser- bzw. Röntgenstrahlung und eine längere Lebenszeit auf als andere Flachglassubstrate.

Die thermischen Eigenschaften von BOROFLOAT® (unbeschichtetes Substrat) sind auf der nächsten Seite aufgeführt. Die maximale thermische Widerstandsfähigkeit von beschichteten dichromatischen Filtern hängt vom Filterhersteller ab und kann bis 287 °C (550 °F) betragen.

2.1 Thermische Eigenschaften

Maximale Einsatztemperaturen

bei Kurzzeitbelastung (< 10 h)	500 °C
bei Langzeitbelastung (≥ 10 h)	450 °C

Die angegebenen maximalen Einsatztemperaturen von BOROFLOAT® 33 sind nur unter gleichzeitiger Beachtung der Temperaturgradientenfestigkeits- (TGF) und Abschreckfestigkeits- (ASF) Werte gültig.

Temperaturabschreckfestigkeit (ASF)

Nennstärke	ASF (5 %-Fraktil)
≤ 3,8 mm	175 K
5,0 – 5,5 mm	160 K
6,5 mm	155 K
11 mm	142 K
18 mm	144 K
25 mm	128 K

Testscheiben von ca. 20 x 20 cm² werden in einem Ofen auf Prüftemperatur erhitzt und dann mit 50 ml 20 °C kaltem Wasser (Raumtemperatur) in der Scheibenmitte abgekühlt. Die Temperaturmessung erfolgt kontaktfrei mittels Pyrometer. Der ASF-Wert ist dabei die Temperaturdifferenz zwischen der heißen Scheibe und dem kalten Wasser. Dabei dürfen ≤ 5 % der Testscheiben durch Bruch ausfallen. Um den Oberflächenzustand bei praktischem Gebrauch zu simulieren, werden die Testscheiben vor dem Test mit Schmirgelpapier der Körnung SIC 220 behandelt.

Temperaturgradientenfestigkeit (TGF)

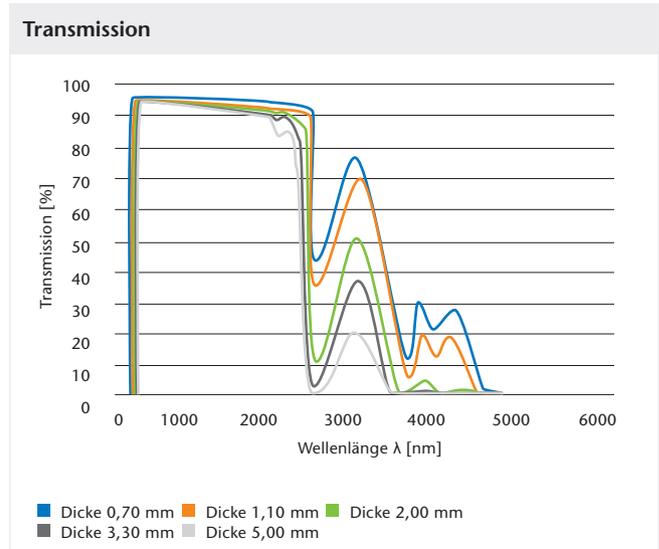
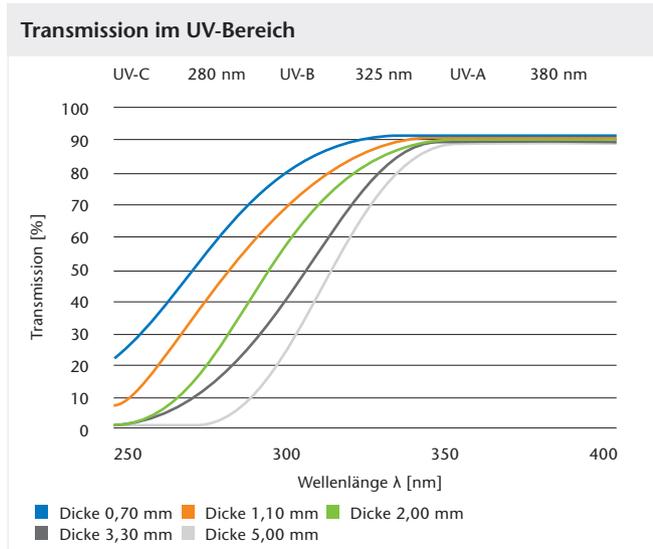
Nennstärke	Vorspannung	TGF (5 %-Fraktil)	
		T _{zug} *	T _{heiz} *
3,8 mm	Nein	123 K	136 K
6,5 mm	Nein	119 K	132 K
11 mm	Nein	52 K	173 K
18 mm	Nein	31 K	188 K
6 mm	Thermisch	> 300 K	

Kante geschliffen oder poliert. * T_{zug}: plötzliche Temperaturzuführung
T_{heiz}: kontinuierliche Aufheizung

Testscheiben von ca. 25 x 25 cm² werden im Bereich der Flächenmitte durch programmierte Regelung auf eine bestimmte Temperatur erhitzt, der Scheibenrand wird bei Zimmertemperatur gehalten. In einer Testzeit von unter einer Minute findet ein Temperaturanstieg bis zum Bruch statt. Die Temperaturmessung erfolgt kontaktfrei mittels Pyrometer und wird automatisch registriert. Der TGF-Wert bezeichnet den Temperaturunterschied zwischen der heißen Scheibenmitte und dem kalten Scheibenrand. Dabei dürfen ≤ 5 % der Proben durch Wärmespannungsbruch ausfallen. Um den Oberflächenzustand bei praktischem Gebrauch zu simulieren, werden die Testscheiben vor dem Test mit Schmirgelpapier der Körnung SIC 220 maschinell behandelt.

2.2 Optische Eigenschaften

Die Abbildung unten zeigt den spektralen Transmissionsbereich für ausgewählte BOROFLOAT®-Glasdicken und einige grundlegende optische Eigenschaften. Weitere Informationen stehen auf Anfrage zur Verfügung.



Optische Brechzahlen

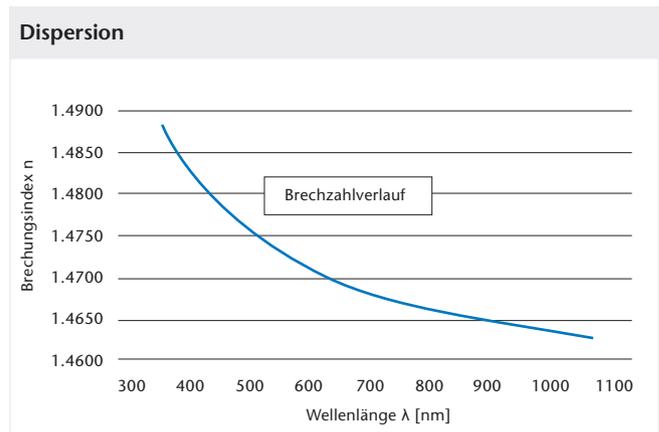
Wellenlänge λ (nm)	Brechungsindex n
435,8	1,48015
479,9	1,47676 (n_F)
546,1	1,47311 (n_D)
589,3	1,47133
643,8	1,46953 (n_C)
656,3	1,46916

Richtwerte, keine Garantiewerte.

Optische Kennwerte

Abbesche Zahl ($v_e = (n_e - 1) / (n_F - n_C)$)	65,41
Brechungsindex (n_d ($\lambda_{587,6 \text{ nm}}$))	1,47140
Dispersion ($n_F - n_C$)	$71,4 \times 10^{-4}$
Spannungsoptische Konstante (K)	$4,0 \times 10^{-6} \text{ mm}^2 \text{ N}^{-1}$

Richtwerte, keine Garantiewerte.



Dichromatische Filter werden oft auch als Strahlteiler bezeichnet, die in optischen Systemen dazu verwendet werden, Licht in zwei oder mehr getrennte Strahlen zu zerlegen. Strahlteiler sind wichtige Bauteile in vielen Anwendungen, wie Interferometern, Telepromptern, Visionssystemen, elektronischen Displays, in der Messtechnik und Flugsimulatoren.

3. Warmlichtspiegel und Kaltlichtspiegel

Warmlicht- und Kaltlichtspiegel haben die faszinierende Eigenschaft, infrarotes Licht (Wärme) entweder zu reflektieren und sichtbares Licht durchzulassen (Warmlichtspiegel) oder – andersherum – infrarotes Licht durchzulassen und sichtbares Licht zu reflektieren (Kaltlichtspiegel).

Beide Spiegeltypen benötigen Substrate mit hervorragender Reinheit, hoher Lichtdurchlässigkeit und – weil die Arbeitstemperaturen leicht über 300 °C liegen können – hoher Temperaturbeständigkeit. BOROFLOAT®-Glas erfüllt diese Forderungen und wird in vielen Anwendungen als Substratglas verwendet.

Ähnlich wie bei dichromatischen Filtern werden bei der Herstellung von Warmlichtspiegeln, die die reflektierten Wellenlängen entweder nutzen oder entfernen, durch Vakuumdeposition oder Sputtering zahlreiche Schichten auf das Substrat aufgebracht. Dies ist besonders in optischen Systemen wichtig, in denen überschüssige Wärme Bauteile zerstören oder die Eigenschaften einer Lichtquelle verändern kann. Warmlichtspiegel werden z.B. in Halogen/HID-Lampen verwendet, um die Filamenttemperaturen zu erhöhen, was zu einem geringeren Energieverbrauch, einer höheren Effizienz, höherer Lebensdauer und geringeren Kosten führt. Typische Warmlichtspiegel reflektieren über 90 % infraroter Wellenlängen (750–1250 nm), während sie über 90 % des sichtbaren Lichts (425–675 nm) durchlassen. Dies macht sie ideal für Spiegel in LCD-Displays, (faseroptischen) Beleuchtungen, medizinischen und zahnmedizinischen Anwendungen, der Reduzierung des Wärmeanteils der Lichtstrahlung, der Luftfahrt, für IR-Filter in CCD-Kameras und Kinos, und für Desktop-Projektoren, weil sie die Beschädigung dieser Systeme verhindern. Verschiedene Einfallswinkel sind verfügbar.

Ein Kaltlichtspiegel ist ein hocheffizientes Bauteil für die Trennung von Wärme und Licht, das sicherstellt, dass ausreichend helles Licht auf eine Oberfläche fällt, ohne dass diese dabei erwärmt wird. Er lässt infrarotes Licht durch, reflektiert aber die nicht-infraroten Bereiche des Spektrums, sodass Wärme, die unerwünscht ist oder Geräteteile zerstören könnte, ausgesondert wird. Kaltlichtspiegel können auch für kalte Lichtquellen in der medizinischen Beleuchtung (Operations- oder Zahnbehandlungsleuchten), als dielektrische Spiegel in der Sensortechnologie, in Laserdioden, Scannern, Barcode-Lesegeräten, Projektoren und Fotokopierern eingesetzt werden.

4. Ausblick

Dichromatische Filter sowie Warmlicht- und Kaltlichtspiegel sind nur einige der vielen optischen Anwendungen, für die BOROFLOAT® verwendet wird. Die hohe UV-Transparenz schon ab 300 nm, die Transmission von über 92 % im sichtbaren und nahen Infrarot, das absolut farblose Erscheinungsbild, die geringe Autofluoreszenz und die niedrige Solarisation sind spezifische Anforderungen in vielen Bereichen der Optik. Eine Vielzahl von optischen Glaswerkstoffen erfüllen diese Anforderungen. Doch weil sie zusätzlich noch eine hohe thermische und chemische Widerstandsfähigkeit und eine gute Beständigkeit gegen hochenergetische Strahlung aufweisen, sind BOROFLOAT®-Glassubstrate unerreicht vielseitig und für viele unterschiedliche Anwendungen, die mehr als nur hervorragende optische Eigenschaften erfordern, flexibel verwendbar.

Die Summe seiner Eigenschaften macht es einzigartig!

**SCHOTT Technical Glass
Solutions GmbH**

Otto-Schott-Strasse 13

07745 Jena

Germany

Phone +49 (0)3641/681-4686

Fax +49 (0)3641/2888-9241

info.borofloat@schott.com

www.schott.com/borofloat/coatings