

SCHOTT
glass made of ideas

Optisches Glas
2020

Optisches Glas 2020

Beschreibung der Eigenschaften

Inhaltsverzeichnis

Teil I · Optisches Glas – Beschreibung der Eigenschaften

Vorwort	8	2 Innere Qualität	28
Was ist neu?	9	2.1 Schlieren	28
Webshop	14	2.2 Blasen und Einschlüsse	29
1 Optische Eigenschaften	16	2.3 Spannungsdoppelbrechung	31
1.1 Brechzahl, Abbezahl, Dispersion, Glasbezeichnung	16	3 Chemische Eigenschaften	33
1.2 Toleranzen für die Brechzahl und Abbezahl	17	3.1 Klima-Resistenz	33
1.3 Werkzeugeigenschaften für Brechzahlen und Dispersionen	20	3.2 Flecken-Resistenz	34
1.3.1 Standard-Werkzeugeigenschaften	20	3.3 Säure-Resistenz	36
1.3.2 Präzisionsprüfscheine UV-VIS-IR	20	3.4 Alkali- und Phosphat-Resistenz	37
1.4 Brechzahl-Homogenität	21	3.5 Kennzeichnung sichtbarer Oberflächenveränderungen	38
1.4.1 Gläser mit hoher Homogenität ab Lager verfügbar	23	3.6 Umweltaspekte, RoHS und REACH	39
1.5 Reintransmission, Farbcode	24	4 Mechanische Eigenschaften	42
1.5.1 i-Liniengläser	26	4.1 Knoopphärte	42
1.6 Messmöglichkeiten für optische Eigenschaften	27	4.2 Viskosität	42
		4.3 Koeffizient der thermischen Längenausdehnung	43

5	Thermische Eigenschaften	44	7.4	Optische Glasstäbe für miniaturisierte Kugellinsen, Scheiben und mehr.	63
5.1	Wärmeleitfähigkeit.	44	8	Optisches Glas zum Präzisionsblankpressen	65
5.2	Spezifische Wärmekapazität.	44	9	Produkt-Portfolio optischer Gläser	67
6	Lieferqualität	45	9.1	Vorzugsgläser	67
6.1	Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung	45	9.2	Anfragegläser	67
6.2	Standard-Lieferqualität	46	10	Formelsammlung und Wellenlängen-Tabelle	68
6.3	Erhöhte Lieferqualität	46	11	Technische Informationen – TIE	74
7	Lieferformen und Toleranzen	49	12	Ausgewählte Anwendungen	75
7.1	Rohglas	50	12.1	Optische Materialien für Digitale Projektion.	75
7.1.1	Blöcke	50	12.2	Optisches Glas in Automobilanwendungen	76
7.1.2	Barren	51	12.3	Optische Gläser für Life-Science-Anwendungen.	77
7.2	Zugerichtetes Glas.	52	12.4	Optisches Glas für SWIR-Anwendungen	78
7.2.1	Platten	52	12.5	Optische Gläser für Machine-Vision-Anwendungen	79
7.2.2	Rundscheiben	54	12.6	Optische Gläser für High-End-Überwachungssysteme	80
7.2.3	Bearbeitete Stäbe.	56	12.7	Optische Gläser für professionelle Filmkamera-Objektive	81
7.2.4	Schnittprismen	58			
7.3	Presslinge	60			
7.3.1	Gepresste Rohlinge	60			
7.3.2	Gepresste Prismen	62			

13 SCHOTT Advanced Optics auf einen Blick 82

OPTISCHE MATERIALIEN 83

Optisches Glas	83
HT- & HTultra-Glas	84
XLD Glas	84
Hochhomogenes Glas	84
Low T _g -Glas	85
i-Linienglas	85
Strahlenresistentes Glas	85
Strahlenschutzglas	86
Saphir	86
Infrarot-Chalkogenid-Glas	86
RealView®	87

OPTISCHE KOMPONENTEN 88

Optische Komponenten	88
Asphärische Linsen	89
Sphärische Linsen	89
Zylinderlinsen	89
Prismen	90
Fenster & Substrate	90
Beschichtung	90
CNC-Bearbeitung	91
Einfassungen	91
Keramische Phosphor-Konverter	91
Aktive Gläser für Laser Anwendungen	92

OPTISCHE FILTER 94

Optisches Filterglas	94
Interferenzfilter	96

Teil II · Optisches Glas – Eigenschaften

Änderungsverzeichnis – Teil II Optisches Glas – Eigenschaften	98
Eigenschaften	100
Glossar	142
Impressum	144

Tabellenverzeichnis

1 Optische Eigenschaften

1.1	Beispiele für Glascodes	16
1.2	Toleranzen für Brechzahl und Abbezahl (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)	17
1.3	Toleranzen für die Brechzahl-Streuung innerhalb eines Loses von feingekühltem Glas und innerhalb eines Pressling-Loses (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)	18
1.4	Angaben zu den Brechzahlen und Dispersionen in Standard-Werkzeugnissen	20
1.5	Homogenität von optischem Glas (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)	22
1.6	Lagerhaltige hochhomogene Gläser und deren maximale Abmessung bei entsprechender Homogenität	24
1.7	Brechzahl-Homogenität von i-Liniengläsern in Abhängigkeit von ihren Abmessungen	26
1.8	Überblick über die Messgenauigkeit bei Messverfahren	27

2 Innere Qualität

2.1	Toleranzgrenzen für Schlieren (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)	29
2.2	Grenzwerte für Blasen und Einschlüsse in optischen Gläsern (Stufen gemäß ISO 12123:2018 in Klammern)	30
2.3	Grenzwerte der Spannungsdoppelbrechung in Gläsern für verschiedene Abmessungen (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)	32

3 Chemische Eigenschaften

3.1	Einteilung der optischen Gläser in Klima-Resistenzklassen CR 1–4	34
3.2	Einteilung der optischen Gläser in Flecken-Resistenzklassen FR 0–5	35
3.3	Einteilung der optischen Gläser in Säure-Resistenzklassen SR 1–53	36
3.4	Einteilung der optischen Gläser in Alkali-Resistenzklassen AR 1–4 bzw. Phosphat-Resistenzklassen PR 1–4	38

6	Lieferqualität	
6.1	Erhöhte Qualitätsstufen bei verschiedenen Lieferformen	47
7	Lieferformen und Toleranzen	
7.1	Abmessungstoleranzen und Mindestmaße für Platten	53
7.2	Abmessungstoleranzen und Mindestmaße für Rundscheiben	55
7.3	Maße und Toleranzen für bearbeitete Stäbe	57
7.4	Maße und Toleranzen für Schnittprismen	59
7.5	Maße und Toleranzen für gepresste Rohlinge	61
7.6	Maße und Toleranzen für gepresste Prismen	62
7.7	Optische Glasstäbe – Spezifikationen	64
10	Formelsammlung und Wellenlängen-Tabelle	
10.1	Wellenlängen für eine Auswahl häufig benutzter Spektrallinien	73

Abbildungsverzeichnis

1	Optische Eigenschaften	
1.1	Lieferlos-Zusammensetzung von Glas für Heißverarbeitung und feingekühltem Glas	19
1.2	H3-Qualität bei 870 mm-Apertur nach Abzug des Fokus (Zusammengesetzt aus Einzelmessungen)	23

Titelbild

Das Titelbild zeigt die Anwendung optischer Materialien in der Digitalen Projektion. Neben Prismen zur Farbtrennung aus optischem Glas in hohen Qualitäten, finden sich in solchen Anwendungen auch Linsen, Homogenisierer, dichroitische Spiegel und innovative keramische Materialien zur Lichtumwandlung wieder.

Vorwort

SCHOTT Advanced Optics – Your Partner for Excellence in Optics.

SCHOTT ist ein international führender Technologiekonzern auf den Gebieten Spezialglas und Glaskeramik. Mit der Erfahrung von über 130 Jahren herausragender Entwicklungs-, Material- und Technologiekompetenz bietet SCHOTT ein breites Portfolio hochwertiger Produkte und intelligenter Lösungen und trägt damit zum Erfolg seiner Kunden bei.

Advanced Optics, als Teil der SCHOTT AG, bietet optische Materialien, Komponenten und Filter an und gilt als Wegbereiter innovativer Lösungen für die verschiedensten Anwendungen. Mit einem Portfolio aus über 120 optischen Gläsern, speziellen Materialien (z. B. aktive Lasergläser, IR-Materialien, Saphir), ultradünnem Glas, hochpräzisen optischen Komponenten, Wafern und optischen Filtergläsern entwickelt Advanced Optics weltweit maßgeschneiderte Lösungen für Anwendungen in Optik, Lithografie, Astronomie, Optoelektronik, Naturwissenschaften,

Forschung und viele mehr. Advanced Optics bedient die komplette Wertschöpfungskette: von der kundenspezifischen Materialentwicklung und dessen Fertigung über hochpräzise Endbearbeitung und Beschichtung bis hin zur äußerst genauen Metrologie.



Unternehmensgründer:
Otto Schott (1851–1935)

Weitere Informationen
finden Sie auf unserer

Website: http://www.schott.com/advanced_optics/german/index.html

NEU

Was ist neu?

SCHOTT Advanced Optics setzt weiterhin auf höchste Qualitätsstandards und modernste Methoden in der Glasherstellung. Nur so können wir unsere breite Produktpalette für optische und industrielle Anwendungen in engsten Qualitätsstufen anbieten und den sich verändernden Marktanforderungen und Kundenbedürfnissen gerecht werden.

Auch heute noch finden optische Gläser – die historische Wiege der Firma SCHOTT – Anwendungen in aktuellsten Entwicklungen und Innovationen. Optische Gläser spielen eine tragende Rolle in den heutigen Markttrends der Photonik, wie beispielsweise Industrie 4.0, Autonomes Fahren, Digitalisierung, Augmented Reality, Internet of Things und vielen weiteren. Durch kontinuierliche Weiterentwicklung, erfüllen wir selbst die höchsten Anforderungen unserer weltweiten Kunden.

Wie das Titelbild dieser Ausgabe zeigt, werfen wir einen genaueren Blick auf die Anwendungen optischer Materialien in der digitalen Projektion (siehe Kapitel 12.1).

In diesem Katalog wurden die Stufenbezeichnungen der aktuellsten Normen ISO 12123:2018 und ISO 1011018:2018 ergänzt.

Im Rahmen der Digitalisierung von SCHOTT Advanced Optics, wird auf den Seiten 14–15 der sich ständig erweiternde Webshop vorgestellt.

Kapitel 13 stellt das breite Portfolio von SCHOTT Advanced Optics vor, einschließlich neuer innovativer Materialien und Komponenten, wie keramische Konverter für lasergepumpte Lichtquellen und Glaswafer mit hoher Brechzahl für Augmented Reality Anwendungen.

Für uns bei SCHOTT spielt die regelmäßige Verbesserung der Qualität und die Fähigkeit zur Bearbeitung unserer Produkte eine wichtige Rolle. Auf diesem Weg haben sich Veränderungen bei den Eigenschaften einiger Gläser ergeben. Diese Produkte und ihre Veränderungen

finden Sie im Kapitel „Änderungsverzeichnis – Teil II Optisches Glas – Eigenschaften“.

Wir haben auch hart daran gearbeitet, dass alle Glasprodukte, die in diesem Katalog aufgeführt sind, die Anforderungen der RoHS-II-Richtlinie und der REACH-Verordnung erfüllen. Die Sicherheit von Personen und Umwelt war und ist für SCHOTT ein wichtiges Thema. Deshalb freut es uns besonders, dass wir mit unserem Bestreben, den Einsatz potentiell schädlicher Stoffe zu begrenzen sowie eine sichere Herstellung und Handhabung der Produkte zu etablieren, so erfolgreich waren.

Falls Sie über diesen Katalog hinausgehende Informationen benötigen, wenden Sie sich bitte an einen Ansprechpartner unserer weltweiten Vertriebsmannschaft vor Ort. Wir erarbeiten gerne gemeinsam mit Ihnen eine individuelle Lösung für Ihre spezielle Herausforderung.

SCHOTT wird auch in Zukunft sein Produkt-Portfolio kontinuierlich erweitern und behält sich daher das Recht vor, die Angaben im Katalog ohne vorherige Ankündigung zu ändern. Die neueste Auflage wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; jedoch übernimmt SCHOTT keine Haftung für den unwahrscheinlichen Fall, dass inhaltliche Ungenauigkeiten oder Druckfehler enthalten sind. Der aktuelle Katalog 0120 ersetzt alle Vorgängerversionen. Die rechtsverbindliche Version dieses Katalogs ist auf unserer Webseite verfügbar:

http://www.schott.com/advanced_optics/german/download/index.html

Advanced Optics
SCHOTT AG
Mainz
Januar 2020

Katalog Optisches Glas

Dieser Katalog umfasst einen Überblick über optische Gläser und Materialien, die die Anforderungen zahlreicher Anwendungen vom Konsumgüterbereich bis hin zu optischen Systemen in Forschung und Entwicklung abdecken.

Folgende Kategorien werden betrachtet:

- „N“-Gläser als umweltfreundliche Alternative zu konventionellen blei- und arsenhaltigen Gläsertypen
- Klassische Glasarten mit Bleioxid als wesentliche Komponente für hervorragende optische Eigenschaften
- HT- & HTultra-Gläser als optische Gläser mit verbesserten Transmissionswerten im sichtbaren Spektralbereich, insbesondere im blau-violetten Bereich
- Lagerhaltig verfügbare hochhomogene optische Gläser
- „P“-Gläser für das Präzisionsblankpressen (Low T_g -Gläser)

- i-Liniengläser für die Mikrolithografie
- Strahlungsresistente Glasarten
- XLD Gläser (eXtreme Low Dispersion)

Bei den genannten Kategorien unterscheidet SCHOTT zwischen **Vorzugsgläsern**, die in der Regel für sofortige Lieferung auf Lager gehalten werden, und **Anfragegläsern**, die bestellt werden können, wobei die generelle Verfügbarkeit ab Lager nicht garantiert werden kann. Einzelheiten sind im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften des Katalogs aufgeführt.

Wichtige Definitionen für die im Katalog aufgelisteten Gläser:



Die mit Cer stabilisierten **strahlenresistenten Glasarten** werden eingesetzt, um Transmission unter ionisierender Strahlung aufrechtzuerhalten. Sie zählen zu den Anfragegläsern.

Die optischen Daten der in diesem Katalog aufgeführten Gläser beziehen sich auf den Einsatz in optischen Anwendungen und auf Luft als Umgebungsmedium.

Lieferformen

SCHOTT bietet die verfügbaren Gläser in **verschiedenen Lieferformen** an. Nähere Informationen lassen sich in Kapitel 7 finden.

Qualitätsmanagement

SCHOTT arbeitet mit einem weltweit zentralisierten Managementsystem. Es integriert die Anforderungen von ISO 9001 das Qualitätsmanagement betreffend, ISO 14001 bezüglich des Umweltmanagements, ISO 50001 für das Energiemanagement sowie die Regeln und Standards von SCHOTT zum Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitssystem gemäß ISO 45001. All das sorgt für die Einhaltung von Umweltbestimmungen wie RoHS II und REACH (siehe Kapitel 3.6) und sichert unser hohes Qualitätsniveau (siehe Kapitel 6.1). Darüber hinaus hat SCHOTT weite Bereiche der ISO-Norm 12123:2018 „Optics and Photonics – Specification of raw optical glass“ umgesetzt, die in dieser aktualisierten Fassung des Katalogs berücksichtigt werden. Referenzen finden Sie in den Beschreibungen.

Willkommen in unserem Shop für optische Materialien

shop.schott.com/advanced_optics



Optisches Glas



Optisches Filterglas



Spezialmaterialien



Archi



Komfortable Online-Bestellungen

- Profitieren Sie von speziellen Online-Rabatten
- Echtzeitinformationen zu Preisen und Produktverfügbarkeit
- Umfangreiche Such- und Filteroptionen



Informationen und Downloads

- Überprüfen Sie alle Produktspezifikationen
- Herunterladen technischer Informationen, Datenblätter und Kataloge
- Zugang zum interaktiven Abbe- und Filterglasdiagramm sowie zum Filterglas Kalkulationsprogramm



Verwalten aller Bestellungen

- Verfolgen und verwalten Sie all Ihre Online- und Offline-Bestellungen
- Bestellbezogene Dokumente herunterladen (Rechnung, Auftragsbestätigung, Lieferschein, Prüfberichte)



Besuchen Sie uns unter shop.schott.com/advanced_optics

Überprüfen Sie unser Online-Portfolio und alle technischen Informationen, ohne sich anmelden zu müssen. Eine Online-Registrierung ist erforderlich, um Preise und Verfügbarkeiten zu sehen und zu bestellen.

Wenn Sie bereits SCHOTT-Kunde sind, wenden Sie sich bitte an info.optics@schott.com oder Ihren Vertriebsleiter, der für die Einrichtung eines Online-Kontos verantwortlich ist.

1 Optische Eigenschaften

1.1 Brechzahl, Abbezahl, Dispersion, Glasbezeichnung



Als gebräuchlichste Kenngröße zur Charakterisierung eines optischen Glases verwendet man die Brechzahl n_d im mittleren Bereich des sichtbaren Spektrums und die Abbezahl $v_d = (n_d - 1)/(n_F - n_C)$ als Maß für die Dispersion. Die Differenz $n_F - n_C$ bezeichnet man als Hauptdispersion.

Eine andere übliche Bezeichnungsweise für optische Gläser ist die Angabe eines Zahlencodes, der häufig als Glascode bezeichnet wird. SCHOTT verwendet einen neunstelligen Code. Die ersten sechs Ziffern entsprechen dem international üblichen Glascode. Sie weisen auf die optische Lage der jeweiligen Glasart hin. Die ersten drei Ziffern geben die Brechzahl n_d wieder, die folgenden drei Ziffern die Abbezahl v_d . Drei zusätzliche Ziffern nach dem Punkt geben die Dichte des Glases an.

Tabelle 1.1: Beispiele für Glascodes

Glasart	n_d	v_d	Dichte	Glascode
N-SF6	1,80518	25,36	3,37	805254.337
SF6	1,80518	25,43	5,18	805254.518

Bei der Spezifikation von optischen Bauelementen werden häufig die auf die e-Linie bezogenen Größen n_e und $v_e = (n_e - 1)/(n_F - n_C)$ verwendet.

Vorzugsglasarten des Lieferprogramms sind im n_d/v_d - oder n_e/v_e -Diagramm in Familien zusammengefasst. Im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften sind die Glasfamilien nach fallender Abbezahl geordnet.

1.2 Toleranzen für die Brechzahl und Abbezahl

Die Toleranzen für die Brechzahl und Abbezahl sind in Tabelle 1.2 angegeben. Die normale Lieferqualität für feingekühltes Glas ist Stufe 3 für n_d und v_d . Auf Anfrage kann Material mit engeren Toleranzen geliefert werden. Ausgewählte Glasarten kön-

Tabelle 1.2: Toleranzen für Brechzahl und Abbezahl
(Stufen gemäß ISO 12123:2018/
ISO 10110-18:2018 in Klammern)

	n_d	v_d
Stufe 0,5*	$\pm 0,0001$ (NP010)	$\pm 0,1\%$ (AN1)
Stufe 1	$\pm 0,0002$ (NP020)	$\pm 0,2\%$ (AN2)
Stufe 2	$\pm 0,0003$ (NP030)	$\pm 0,3\%$ (AN3)
Stufe 3	$\pm 0,0005$ (NP050)	$\pm 0,5\%$ (AN5)

* nur für ausgewählte Glasarten

nen in Stufe 0,5 für Brechzahl und Abbezahl angeboten werden. Die zur Verfügung stehenden Glasarten sind im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften gekennzeichnet. Die Stufe 0,5 ist sowohl für feingekühltes Glas als auch für Presslinge verfügbar.

Alle Lieferungen von feingekühltem optischem Glas erfolgen in Losen von Einzelchargen (s. Abb. 1.1).

Die Chargen können jeweils einzelne Blöcke oder mehrere Barrenabschnitte sein. Die Lieferlose sind durch eine Lieferlos-Nummer gekennzeichnet.

Die Lieferlose werden basierend auf der spezifizierten maximal erlaubten Brechzahl- und Abbezahl-Abweichung der Einzelchargen vom Nominalwert des Datenblatts (Abweichungen gemäß Tabelle 1.2) und der Brechzahl-Streuung von Charge zu Charge gemäß Tabelle 1.3 gebildet.

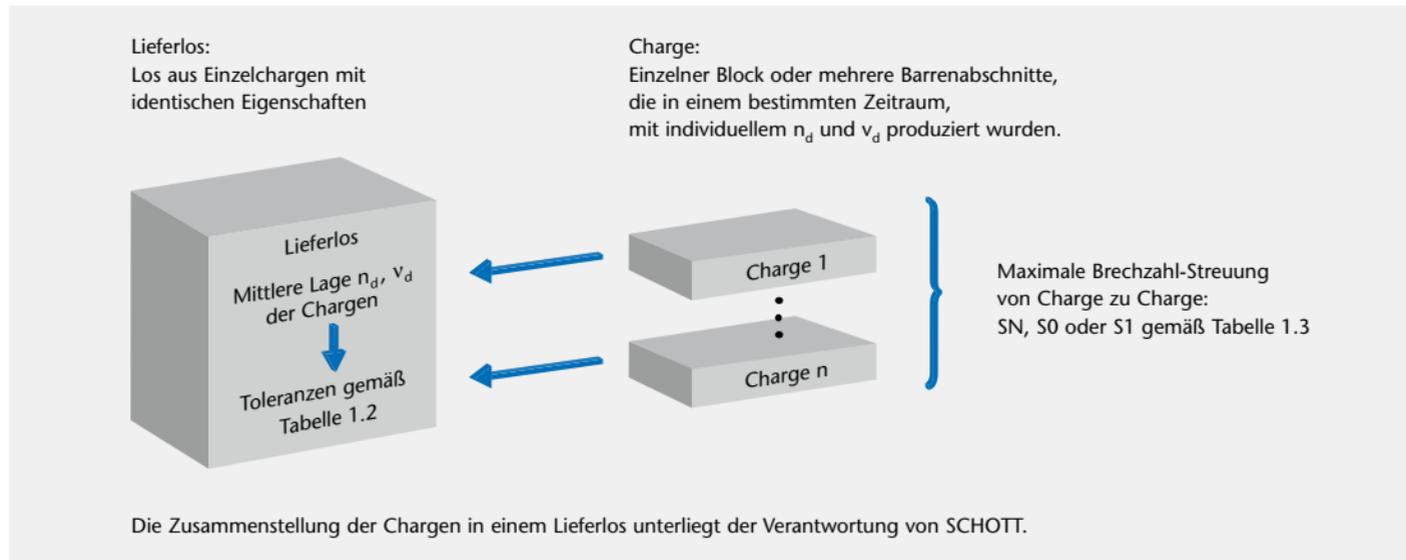
Da die Chargen unterschiedliche Feinkühl-Historien haben können, sind solche Lieferlose nicht zum Wiederverpressen geeignet.

Alle Teile eines Lieferloses von feingekühltem optischem Glas, zugerichtetem Glas oder Presslingen erfüllen die Normalqualität der Brechzahl-Streuung gemäß der folgenden Tabelle 1.3. Auf Anfrage können Teile auch in Lieferlosen mit engerer Brechzahl-Streuung geliefert werden.

Tabelle 1.3: Toleranzen für die Brechzahl-Streuung innerhalb eines Loses von feingekühltem Glas und innerhalb eines Pressling-Loses (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)

Feingekühltes Glas, zugerichtetes Glas		Presslinge	
Streuklasse	Brechzahl-Streuung	Streuklasse	Brechzahl-Streuung
SN	$\pm 10 \cdot 10^{-5}$ (NV10)	LN	$\pm 20 \cdot 10^{-5}$ (NV20)
S0	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$ (NV05)	LH1	$\pm 10 \cdot 10^{-5}$ (NV10)
S1	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$ (NV02)	LH2	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$ (NV05)

Abb. 1.1: Lieferlos-Zusammensetzung von Glas für Heißverarbeitung und feingekühltem Glas



1.3 Werkzeugeigenschaften für Brechzahlen und Dispersionen

1.3.1 Standard-Werkzeugeigenschaften

Für alle Lieferungen von feingekühltem optischem Glas werden Standard-Werkzeugeigenschaften gemäß ISO 10474 zur Verfügung gestellt. Die Angaben basieren auf Stichproben und beziehen sich auf die mittlere Lage der optischen Werte eines Lieferloses. Die Werte der Einzelteile können um die Toleranz der Brechzahl-Streuung von diesen Angaben abweichen.

Die Messungen erfolgen mit einer Genauigkeit für die Brechzahlen von $\pm 3 \cdot 10^{-5}$ und für die Dispersionen von $\pm 2 \cdot 10^{-5}$. Die numerischen Angaben umfassen fünf Dezimalstellen.

Tabelle 1.4: Angaben zu den Brechzahlen und Dispersionen in Standard-Werkzeugeigenschaften

Optische Lage	$n_{d'} \quad v_{d'} \quad n_{e'} \quad v_{e'}$
Brechzahlen	$n_g, n_{F'}, n_{F'}, n_{e'}, n_{d'}, n_{632,8'}, n_{C'}, n_{C'}, n_{r'}, n_{s'}, n_t$
Dispersionen	$n_F - n_{C'}, n_d - n_{C'}, n_F - n_{d'}, n_F - n_{e'}, n_g - n_{F'}, n_{F'} - n_{C'}, n_{F'} - n_e$

Auf Anforderung können für einzelne Glasteile Prüfscheine mit erhöhter Genauigkeit bereitgestellt werden ($\pm 2 \cdot 10^{-5}$ für die Brechzahl und $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ für die Dispersion). Diese Zertifikate enthalten zusätzlich die aus der Messung ermittelten Konstanten der Sellmeier-Dispersionsgleichung für den gewünschten Spektralbereich.

1.3.2 Präzisionsprüfscheine UV-VIS-IR

Präzisionsprüfscheine werden auf Anfrage ausgestellt. Sie beziehen sich immer auf einzelne Glasteile.

Die Prüfscheine für das sichtbare Spektralgebiet enthalten die gleichen Angaben wie die Werkzeugeigenschaften mit Standardgenauigkeit, wobei jedoch die Dispersionsangaben bis auf sechs Dezimalstellen angegeben werden. Auf Anfrage können

Brechzahlen auch über einen erweiterten Spektralbereich von 185 nm bis 2325 nm und die Konstanten der Sellmeier-Dispersionsgleichung für den anwendbaren Spektralbereich angegeben werden.

Die Messung erfolgt mit einem Prismen-Spektrometer. Die Genauigkeit beträgt für die Brechzahlen $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ und für die Dispersionen $\pm 3 \cdot 10^{-6}$. Auf Wunsch können Brechzahlen, unabhängig von der Glasart und der Wellenlänge, auch mit einer Genauigkeit von $\pm 4 \cdot 10^{-6}$ und Dispersionen mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ bestimmt werden.

Die Messungen erfolgen an Luft bei einer Temperatur von 22°C und einem Luftdruck von 1013,3 hPa. Temperaturkonstante Messungen können auf Wunsch innerhalb eines Temperaturbereiches von 18°C bis 28°C durchgeführt werden. Die jeweilige Messtemperatur und der Druck werden auf dem

Prüfschein aufgeführt. Auf Nachfrage sind auch Messungen unter Stickstoffatmosphäre möglich.

1.4 Brechzahl-Homogenität

TIE-26 Homogenität von
optischem Glas
→

Die Brechzahl-Homogenität oder optische Homogenität ist ein Maß für die Schwankungen der Brechzahl innerhalb eines einzelnen Glasstücks. Mit besonderem Aufwand bei der Schmelze und der Feinkühlung können Glasstücke mit einer hohen Brechzahl-Homogenität hergestellt werden. Welche Brechzahl-Homogenität bei einer gegebenen Glasart erreichbar ist, hängt vom Volumen und von der Form der einzelnen Glasstücke ab.

Die erforderliche optische Homogenität leitet sich aus den Anforderungen der späteren Anwendung und der Größe des optischen Bauteils im Einsatz ab. Dabei entspricht diese im Allgemeinen der maximalen Brechzahlsschwankung innerhalb der gewünschten Prüfapertur (z. B. 95% der physikalischen Abmessung). Die Brechzahlsschwankung wird aus interferometrisch gemessenen Wellenfrontdeformationen ermittelt.

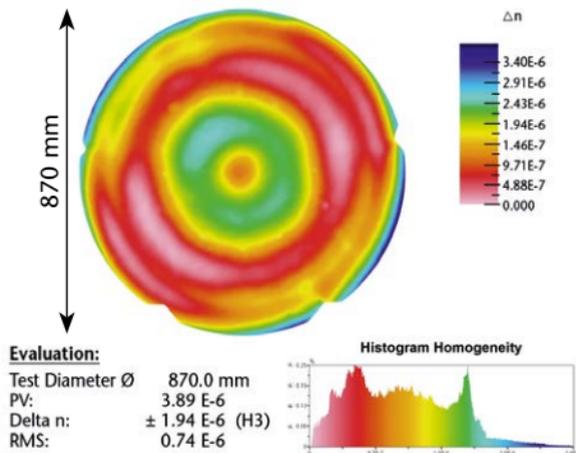
Die Wellenfrontdeformationen setzen sich wiederum aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Fehleranteilen zusammen. In vielen Fällen können bestimmte Fehleranteile ohne weiteren Einfluss auf die Anwendung subtrahiert werden. Zum Beispiel können Fokus-Abweichungen (ausgedrückt durch den Fokus-Term) häufig durch die Anpassung der Geometrie der fertigen Linse ausgeglichen werden. Dies sollte vorab spezifiziert werden. Der Gradient der Homogenitätsverteilung kann auf Anfrage mittels der Brechzahl-Änderung pro cm Apertur ermittelt werden. Dies sollte ebenfalls vorab spezifiziert werden. Das Angebot für Gläser mit erhöhten Anforderungen bezüglich Brechzahl-Homogenität umfasst fünf Klassen entsprechend der ISO-Norm 10110-18:2018

(<http://www.iso.org/standard/68155.html>) und ISO12123:2018 (siehe Tabelle 1.5). Die maximale Schwankung der Brechzahl wird in PV-Werten (Peak to Valley) ausgedrückt. Abhängig vom Volumen des optischen Elements und anderen Faktoren wie z. B. der Glasart und der Größe des verwendeten Rohglases erfolgt die Messung der Wellenfrontdeformation am Einzelstück. Mit den vorhandenen Fizeau-Interferometern können Glasstücke mit bis zu 500 mm Durchmesser geprüft werden. Glasstücke mit bis zu 1500 mm Durchmesser werden in

Tabelle 1.5: Homogenität von optischem Glas (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)

Homogenitätsklasse	Maximale Schwankung der Brechzahl	Anwendbarkeit, Lieferbarkeit
H1	$40 \cdot 10^{-6}$ (NH040)	Für einzelne zugerichtete Glasstücke
H2	$10 \cdot 10^{-6}$ (NH010)	Für einzelne zugerichtete Glasstücke
H3	$4 \cdot 10^{-6}$ (NH004)	Für einzelne zugerichtete Glasstücke, nicht in allen Größen
H4	$2 \cdot 10^{-6}$ (NH002)	Für einzelne zugerichtete Glasstücke, nicht in allen Größen, nicht für alle Glasarten
H5	$1 \cdot 10^{-6}$ (NH001)	Für einzelne zugerichtete Glasstücke, nicht in allen Größen, nicht für alle Glasarten

Abb. 1.2: H3-Qualität bei 870 mm-Apertur nach Abzug des Fokus (Zusammengesetzt aus Einzelmessungen)



Sub-Aperturen von bis zu 500 mm Durchmesser geprüft und die einzelnen Messungen mit einer Stitching-Software zusammengesetzt. Individuelle Interferogramme können je Glasstück zur Verfügung gestellt werden.

Die Brechzahlhomogenität von Presslingen kann nicht direkt gemessen werden. Stattdessen erfolgen Messungen und statistische Auswertungen von Referenzproben.

Durch eine gezielte Rohmaterial Auswahl und Bearbeitung, kann SCHOTT Presslinge mit einem Durchmesser von weniger als 65 mm in Homogenitäten bis zur Stufe H3 anbieten.

1.4.1 Gläser mit hoher Homogenität ab Lager verfügbar

SCHOTT bietet eine Auswahl an feingekühlten zugerichteten Gläsern mit hoher Homogenität ab Lager an.

Tabelle 1.6. gibt einen Überblick über die verfügbaren Glasarten, Abmessungen und Homogenitätsstufen. Die angegebene Homogenität wird

jeweils für mindestens 90% des Durchmessers erreicht. Bei kleineren Durchmessern sind auf Nachfrage auch höhere Homogenitäten möglich.

Tabelle 1.6: Lagerhaltige hochhomogene Gläser und deren maximale Abmessung bei entsprechender Homogenität

Glasart*	Lieferform*	Maximal verfügbare Abmessungen*	Homogenitätsklasse
F2	Scheiben	Ø 290 mm, Dicke: 100 mm	H4
LF5	Scheiben	Ø 220 mm, Dicke: 45 mm	H4
LLF1	Scheiben	Ø 220 mm, Dicke: 45 mm	H4
SCHOTT N-BK7®	Blöcke	400 mm x 400 mm x 70 mm	H4
	Blöcke	250 mm x 250 mm x 100 mm	H4
N-FK5	Scheiben	Ø 240 mm, Dicke: 50 mm	H4
N-FK51A	Scheiben	Ø 200 mm, Dicke: 40 mm	H4
N-KZFS11	Scheiben	Ø 120 mm, Dicke: 35 mm	H4
N-LAK22	Scheiben	Ø 130 mm, Dicke: 35 mm	H4
SF5	Blöcke	120 mm x 120 mm x 35 mm	H4

*Wie bisher sind andere Glasarten, Lieferformen und Abmessungen auf Anfrage erhältlich (Abmessungen abhängig von der Glasart).

1.5 Reintransmissionsgrad, Farbcode

Der maximal erreichbare Reintransmissionsgrad, d. h. der Lichttransmissionsgrad ohne Reflexionsverluste, korreliert gemäß der allgemeinen Dispersionstheorie mit der optischen Lage der Glasart. Durch den Einsatz reiner Rohstoffe und durch sorgsame Prozessführung bei der Herstellung können die im kurzwelligen Spektralbereich von der Dispersion gesetzten Grenzen für den Reintransmissionsgrad nahezu erreicht werden.

SCHOTT strebt innerhalb der technischen und ökonomischen Randbedingungen den bestmöglichen Reintransmissionsgrad an.

Die Angaben zum Reintransmissionsgrad und Farbcode im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften sind

mittlere Werte aus mehreren Schmelzen einer Glasart. Auf Anfrage können für alle Glasarten Mindestwerte für den Reintransmissionsgrad eingehalten werden. Die Lieferfähigkeit muss aber im Vorfeld geklärt werden. Im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften ist der Reintransmissionsgrad für 400 nm bei einer Probendicke von 10 mm angegeben.

Einige Gläser sind mit verbessertem Reintransmissionsgrad im visuellen und insbesondere im blauviolett Spektralbereich erhältlich. Solche Gläser sind mit dem Namenszusatz HT (High Transmittance) oder HTultra (ultra High Transmittance) gekennzeichnet und werden im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften besonders hervorgehoben (z. B. N-SF6HT oder SF57HTultra). Bei HT- und HTultra-Gläsern entsprechen die angegebenen Reintransmissionswerte im sichtbaren Spektralbereich garantierten Minimalwerten.

Die Grenze des Transmissionsbereiches von optischen Gläsern zum UV-Bereich hin ist insbesondere bei hoch brechenden Gläsern von Interesse, da sie mit wachsender Brechzahl immer näher an den sichtbaren Spektralbereich rückt. Die Lage und Steilheit der UV-Absorptionskante wird durch den Farbcode beschrieben.

Der Farbcode gibt die Wellenlängen λ_{80} und λ_5 an, bei denen die Transmission (einschließlich Reflexionsverlusten) für 10 mm Dicke 0,80 bzw. 0,05 beträgt. Die Werte sind auf 10 nm gerundet und werden unter Weglassen der Einerstelle notiert. Farbcode 33/30 bedeutet zum Beispiel $\lambda_{80} = 330$ nm und $\lambda_5 = 300$ nm.

Für hoch brechende Glasarten mit $n_d > 1,83$ beziehen sich die Angaben des Farbcodes (markiert mit *) auf die Transmissionswerte 0,70 bzw. 0,05 (λ_{70} und λ_5) wegen des hohen Reflexionsverlusts bei diesen Gläsern. Die Toleranz des Farbcodes beträgt in der Regel ± 10 nm.

1.5.1 i-Liniengläser

i-Liniengläser sind Gläser, die sowohl über eine hohe UV-Transmission bei 365 nm als auch über eine hohe Brechzahlhomogenität verfügen. Diese Glasarten, wie z. B. FK5HTi, LF5HTi, LLF1HTi und N-BK7HTi, sind in kundenspezifischen Formen und als bearbeitete Komponenten erhältlich.

i-Liniengläser bieten:

- Hohe UV-Transmission bei 365 nm
- Hohe Brechzahlhomogenität (siehe Tabelle 1.7)
- Hervorragende innere Qualität
- Geringste Spannungsdoppelbrechung aufgrund der speziellen Feinkühlung
- Maximale Brechzahl-Streuung innerhalb eines Loses von weniger als $\pm 5 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 1.7: Brechzahl-Homogenität von i-Liniengläsern in Abhängigkeit von ihren Abmessungen

Abmessung	Maximale Schwankung der Brechzahl
Ø 150 mm	$0,5 \cdot 10^{-6}$
Ø 200 mm	$1,0 \cdot 10^{-6}$ (H5)
Ø 250 mm	$2,0 \cdot 10^{-6}$ (H4)

1.6 Messmöglichkeiten für optische Eigenschaften

Tabelle 1.8 gibt einen Überblick über die Messgenauigkeit bei Messverfahren zur Charakterisierung optischer Eigenschaften bei der Qualitätskontrolle von optischem Glas.

Eigenschaft		Genauigkeit		Methode	Spektralbereich	Probe	
						Form	Format
Brechzahl	Standard	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	V-Block-Refraktometer	$g, F', F, e, d, C'; C$ (v_{dr}, v_e)	Würfel	20 · 20 · 5 mm ³
	Erhöht	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$		$i, h, g, F', F, e, d, C'; C, r, t$ (v_{dr}, v_e)	Würfel	
	Präzision	$\pm 0,4 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,2 \cdot 10^{-5}$	Prismen-Spektrometer	185–2325 nm	Prisma	Seite: 30 mm Höhe: 22 mm
Reintransmissionsgrad		$\pm 0,5\% T$ $\pm 0,3\% T$		Spektro-Photometer	250–2500 nm 400–700 nm	Würfel	30 · 30 · Dicke mm ³
Brechzahl-Homogenität		~ 10 nm Wellenfront pv		Fizeau-Interferometer	633 nm	rechtwinklig, rund	bis zu ~ 1500 mm Durchmesser
Temperaturkoeffizienten der Brechung		$\pm 5 \cdot 10^{-7} \cdot K^{-1}$		Prismen-Spektrometer	$i, h, g, F', e, d, C', t, 1060$ –100 °C bis +140 °C	Prisma, einseitig beschichtet	Seite: 30 mm Höhe: 22 mm
Präzisionsmessung Spannungsdoppelbrechung		1 nm absolut (1 mm räumliche Auflösung)		bildgebendes Polarimeter	587 nm	beliebig	bis zu 300 mm Durchmesser

2 Innere Qualität

2.1 Schlieren



Kurzreichweitige Schwankungen der Brechzahl im Glas bezeichnet man als Schlieren. Diese bilden meist Schichten mit typischen Dicken im Zehntelmillimeter- bis Millimeterbereich.

Der Standard ISO 10110-18:2018 beinhaltet zwei Methoden zur Spezifikation von Schlieren. Die erste Methode spezifiziert eine Schlierendichte. Diese Klassifikation ist nur bedingt zur Spezifikation von optischem Glas in den üblichen Lieferformen anwendbar, da sie sich auf fertige optische Bauteile bezieht. Die Schlierendichte wird, gemäß ihres Flächenanteils bezogen auf die Testfläche des Bauteils, in die Klassen 1–4 eingeteilt. Dabei werden nur Schlieren berücksichtigt, die eine ebene Wellenfront stärker als 30 nm deformieren.

Die fünfte Klasse kennzeichnet Glas mit extremer Schlierenfreiheit. Sie bezieht auch Schlieren ein, die eine Wellenfrontdeformation kleiner als 30 nm verursachen, und verweist die Anwender auf individuelle Absprachen mit dem Glashersteller.

Die Produktionsformate aller optischen Gläser von SCHOTT erfüllen die Anforderungen der Schlierendichteklassen 1–4 der ISO 10110-18:2018. Die geprüfte Glasdicke ist in der Regel wesentlich größer als die der fertigen optischen Bauteile. Die im optischen System wirksame Schlierenqualität ist damit erheblich besser.

Schlieren in optischem Rohglas werden über ihre Wellenfrontabweichung auf 50 mm Weglänge gemäß ISO 12123:2108 und ISO 10110-18:2018 definiert. Schlieren werden mit der Schattenmethode geprüft. Hierbei werden Vergleichsstandards mit bekannten Wellenfrontabweichungen herangezogen. Die Toleranzgrenzen sind in Tabelle 2.1 aufgeführt.

Tabelle 2.1: Toleranzgrenzen für Schlieren (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)

Schlieren- klasse	Wellenfrontabweichung Toleranzgrenze pro 50 mm Weglänge [nm]	Allgemein anwendbar für
Norm	< 30	Rohglas
B	≤ 15 (SW15)	Teilvolumen des Rohglases
A	≤ 10 (SW10)	Teilvolumen des Rohglases
VS1-3	mit der Schattenmethode nicht sichtbar	Zuschnitte

Qualitätsstufe VS kennzeichnet optisches Glas mit verschärfter Schlierenauswahl. Glas dieser Stufe enthält keine mit der Schattenmethode feststellbaren Schlieren. Für Prismenanwendungen bietet SCHOTT die Qualitätsstufe VS in 2 oder 3 zueinander senkrechten Prüfrichtungen an.

2.2 Blasen und Einschlüsse

TIE-28 Blasen und Einschlüsse
in optischem Glas
→

Optisches Glas zeichnet sich durch eine besonders gute Blasenqualität aus. Dennoch können Blasen aufgrund der Glaszusammensetzung und der Notwendigkeit eines ökonomischen Fertigungsprozesses im Glas nicht vollständig vermieden werden.

Die Charakterisierung der Blasenhaltigkeit eines Glases erfolgt durch Angabe des auf 100 cm³ Glasvolumen bezogenen Gesamtquerschnitts in mm², errechnet aus der Summe der festgestellten Querschnitte von Blasen. Einschlüsse im Glas, wie Steinchen oder Kristalle, werden wie Blasen gleichen Querschnitts behandelt. Bei der Bewertung werden alle Blasen und Einschlüsse mit einer Abmessung ≥ 0,03 mm berücksichtigt.

Die maximal zulässige Querschnittsfläche und die maximal zulässige Anzahl von Blasen und Einschlüssen sind in Tabelle 2.2 aufgelistet. In den erhöhten Qualitätsstufen VB (Verschärfte Blasenwahl) und EVB (Extra Verschärfte Blasenwahl) sind die Gläser nur als zugerichtete Glasstücke lieferbar.

Gemäß ISO 12123:2018 können die Blasen aufgeteilt werden. Anstelle einer Blase mit einer vorgegebenen Größe kann eine größere Anzahl Blasen kleinerer Abmessungen zugelassen werden.

Tabelle 2.2: Grenzwerte für Blasen und Einschlüsse in optischen Gläsern
(Stufen gemäß ISO 12123:2018 in Klammern)

Blasenqualität	Standard (IC03/IN010)	VB	EVB
Gesamt-Querschnittsfläche in mm ² pro 100 cm ³	0,03	0,02	0,006
Maximal zulässige Anzahl pro 100 cm ³	10	4	2

Für besondere Anwendungen, z. B. bei Hochleistungslasern, in Strahlteiler-Prismen oder als Strichbildlinsen und Teilkreise, ist nur eine geringe Anzahl von sehr kleinen Blasen/Einschlüssen im Glas zulässig. Auf Anfrage kann eine entsprechende Qualität angeboten werden.



2.3 Spannungsdoppelbrechung

Die Größe und Verteilung der permanenten Eigenspannung in Gläsern hängt von den Kühlbedingungen, der Glasart und den Abmessungen ab. Die Spannungen bewirken eine von der Glasart abhängige Doppelbrechung.

Die Spannungsdoppelbrechung wird mit der Methode von de Sénarmont und Friedel als Gangunterschied gemessen und bezogen auf die Prüfdicke in nm/cm angegeben. Ihre Genauigkeit beträgt bei einfachen geometrischen Formen der Prüfteile ca. 3–5 nm. Die Messung erfolgt bei Rundscheiben in einem Abstand von 5 % des Durchmessers vom Rand. Bei rechteckigen Platten wird die Messung in der Mitte der längeren Seite bei einem Randabstand von 5 % der Plattenbreite

durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Methode ist in der ISO 11455 zu finden.

Bei niedrigen Spannungsdoppelbrechungen und geringen Glasdicken reicht die Messgenauigkeit der manuellen Methode von de Sénarmont und Friedel nicht mehr aus. In diesen Fällen kann mit besonderen Messsystemen eine Genauigkeit von 1 nm oder weniger erreicht werden.

Mit unseren Kühlverfahren sind wir in der Lage, neben einer guten optischen Homogenität sehr niedrige Werte der Spannungsdoppelbrechung zu erzielen. Die zu liefernden Glasstücke weisen eine weitgehend symmetrische Spannungsverteilung auf. An der Glasoberfläche herrscht in der Regel Druckspannung. Die Spannungsdoppelbrechung geht beim Aufschneiden von Block- und Barrnglas erheblich zurück. Wenn die optischen Elemente wesentlich kleiner sind als das Rohglasformat, aus dem sie hergestellt worden sind, liegt die verbleibende Spannungsdoppelbrechung noch deutlich niedriger als die in der Tabelle 2.3 angegebenen Grenzwerte.

Grenzwerte für die Spannungsdoppelbrechung von Teilen größer als 600 mm stehen auf Anfrage zur Verfügung.

Bei Glas, das zur Heißnachverarbeitung eingesetzt wird, sind höhere Spannungen zulässig. Die mechanische Bearbeitung wird dadurch nicht beeinträchtigt.

Tabelle 2.3: Grenzwerte der Spannungsdoppelbrechung in Gläsern für verschiedene Abmessungen (Stufen gemäß ISO 12123:2018/ISO 10110-18:2018 in Klammern)

Abmessungen	Spannungsdoppelbrechung		
	Feinkühlung [nm/cm]	Sonderkühlung (SK) [nm/cm]	Spezialkühlung (SSK) [nm/cm]
Ø: ≤ 300 mm d: ≤ 60 mm	≤10	≤6 (SB06)	≤4 (SB04)
Ø: 300–600 mm d: 60– 80 mm	≤12	≤6 (SB06)	≤4 (SB04)

3 Chemische Eigenschaften

TIE-30 Chemische Eigenschaften
von optischem Glas

Die chemische Beständigkeit von polierten Glasoberflächen hängt von der Zusammensetzung des optischen Glases ab. So sind Phosphatkron- (PK) und Fluorkrongläser (FK) empfindlicher gegenüber sauren oder basischen Angriffen als Borosilikatgläser (z. B. SCHOTT N-BK7®). Daher ist eine besondere Sorgfalt beim Polieren, Reinigen und Schützen der Oberfläche empfindlicher Glasarten notwendig.

Für weitere Informationen stehen wir gerne zur Verfügung.

Zur Beurteilung der chemischen Beständigkeit polierter Glasoberflächen werden die folgenden fünf Prüfverfahren angewendet.

3.1 Klima-Resistenz

Die Klima-Resistenz beschreibt das Verhalten von optischen Gläsern bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit und hohen Temperaturen. Bei empfindlichen Gläsern kann an der Oberfläche eine fleckige Trübung auftreten, die im Allgemeinen nicht durch Abwischen entfernt werden kann.

Zur Prüfung der Gläser auf Klima-Resistenz wird ein Kurzzeitverfahren angewendet, bei dem polierte, unvergütete Glasplatten einer wasserdampfgesättigten Atmosphäre ausgesetzt werden, deren Temperatur stündlich zwischen 40°C und 50°C wechselt. Damit wird ein periodischer Wechsel von Feuchte-Kondensation auf der Glasoberfläche und anschließender Trocknung erzeugt.

Nach einer Expositionszeit von 30 Stunden werden die Glasplatten der Klimakammer entnommen. Als Maß für die eingetretenen Oberflächenveränderungen (fleckige Trübungen) wird die Differenz ΔH zwischen der Transmissionstrübung (englisch: Haze) vor und nach der Beanspruchung herangezogen. Die Messungen werden mit einem Kugel-Hazemeter

durchgeführt. Die Klasseneinstufung erfolgt anhand der Transmissionsstrübungszunahme ΔH nach 30-stündiger Beanspruchungszeit. Die Klima-Resistenzklassen sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Tabelle 3.1: Einteilung der optischen Gläser in Klima-Resistenzklassen CR 1–4

Klima-Resistenzklasse CR	1	2	3	4
Transmissionstrübungszunahme ΔH	<0,3%	≥0,3% <1,0%	≥1,0% <2,0%	≥2,0%

Die Gläser der Klasse CR 1 zeigen nach 30-stündiger Beanspruchung durch Klimawechsel keinen sichtbaren Angriff. Bei den üblichen Feuchtebedingungen bei der Bearbeitung und Lagerung von optischen Gläsern der Klasse CR 1 ist ein Oberflächenangriff nicht zu erwarten. Die Bearbeitung und Lagerung der Gläser der Klasse CR 4 sollte dagegen mit besonderer Vorsicht erfolgen, da diese Gläser äußerst empfindlich gegenüber Klimaeinflüssen sind.

Grundsätzlich wird bei der Lagerung von optisch polierten Elementen die Anwendung von Schutzschichten und/oder das Sicherstellen einer möglichst geringen relativen Luftfeuchte empfohlen.

3.2 Flecken-Resistenz

Das Prüfverfahren gibt Informationen über mögliche Veränderungen der Glasoberfläche (Fleckenbildung) bei Einwirkung von leicht saurem Wasser im Unterschuss (z. B. Schweiß, saure Kondensate) ohne Verdampfung.

Die Klasse der Flecken-Resistenz wird nach folgendem Verfahren bestimmt: Die zu prüfende plan polierte Glasprobe wird auf eine Prüfküvette aufgedrückt, in der sich in einer einpolierten sphärischen

Vertiefung von 0,25 mm maximaler Tiefe einige Tropfen der jeweiligen Testlösung befinden.

Testlösung I: Natriumacetatpuffer pH = 4,6

Testlösung II: Natriumacetatpuffer pH = 5,6

Durch Einwirkung der Testlösung bilden sich infolge der Zersetzung der Glasoberfläche mehr oder weniger rasch Interferenzfarbflecken aus. Zur Klassifizierung der Gläser dient die Zeit, die bei 25 °C zur Bildung des ersten braun-blauen Farbumschlages benötigt wird. Farbveränderungen entsprechen bestimmten Dicken der Oberflächenschicht, die an Vergleichsplatten ermittelt wurden. Ein braun-blauer Farbumschlag kennzeichnet die chemische Veränderung der Oberflächenschicht von 0,1 µm Dicke, sofern die Gläser überhaupt Schichten bilden können. Die Flecken-Resistenzklassen sind in Tabelle 3.2 aufgeführt.

Tabelle 3.2: Einteilung der optischen Gläser in Flecken-Resistenzklassen FR 0–5

Flecken-Resistenzklasse FR	0	1	2	3	4	5
Testlösung	I	I	I	I	II	II
Zeit (h)	100	100	6	1	1	0,2
Fleckenentwicklung	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Farbumschlag	nein	ja/nein	ja	ja	ja	ja

Die Flecken-Resistenzklasse FR 0 enthält alle Gläser, die selbst bei 100-stündiger Einwirkung der Testlösung I praktisch keine Interferenzfarben zeigen. Gläser der Klasse FR 5 müssen bei der Verarbeitung besonders vorsichtig behandelt werden.

3.3 Säure-Resistenz

Die Säure-Resistenz klassifiziert das Verhalten optischer Gläser in Kontakt mit sauren Lösungen im Überschuss (in der Praxis z. B. Schweiß, Einkittsubstanzen, Kohlensäurewasser usw.). Ihre Bestimmung erfolgt nach ISO 8424 (1996).

Die Säure-Resistenz wird mit einer zwei- bzw. dreiziffrigen Zahl angegeben. Die erste bzw. die ersten beiden Ziffern geben die Säure-Resistenzklasse SR an. Die letzte Ziffer (durch einen Punkt abgetrennt) gibt an, welche sichtbaren Oberflächenveränderungen durch die Beanspruchung aufgetreten sind. Die Bedeutung der letzten Ziffer ist im Kapitel 3.5 be-

schrieben. Zur Einteilung in Säure-Resistenzklassen dient die Zeitdauer, die bei einer Temperatur von 25 °C zum Abtrag einer Schichtdicke von 0,1 µm benötigt wird. Dabei werden zwei verschiedenen aggressive Angriffslösungen verwendet. Gegenüber resistenteren Glasarten wird eine starke Säure (Salpetersäure, $c = 0,5 \text{ mol/l}$, pH 0,3) eingesetzt. Gegenüber Gläsern mit geringerer Säure-Resistenz kommt eine schwachsaure Lösung mit pH-Wert 4,6 (Natriumacetatpuffer) zum Einsatz.

Tabelle 3.3: Einteilung der optischen Gläser in Säure-Resistenzklassen SR 1–53

Säure-Resistenzklasse SR	1	2	3	4	5	51	52	53
pH-Wert	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	4,6	4,6	4,6
Zeit (h)	>100	10–100	1–10	0,1–1	<0,1	>10	1–10	0,1–1

Die Schichtdicke wird aus dem Gewichtsverlust pro Fläche und der Dichte des Glases ermittelt. Die Säure-Resistenzklassen sind in Tabelle 3.3 aufgeführt.

Die Klasse SR 5 stellt eine Übergangsklasse zwischen den höher säureresistenten Gläsern in SR 1–4 und den gegenüber Säure empfindlichen Gläsern der Klassen SR 51–53 dar. In SR 5 fallen Gläser, bei denen die Zeitdauer zum Abtrag einer Schichtdicke von $0,1 \mu\text{m}$ beim pH-Wert von 0,3 kleiner als 0,1 h und beim pH-Wert von 4,6 größer als 10 h ist.

3.4 Alkali- und Phosphat-Resistenz

Beide Prüfmethode dienen zur Ermittlung der Resistenz gegenüber alkalischen Lösungen im Überschuss und verwenden dasselbe Klassifizie-

rungsschema. Die Alkali-Resistenz gibt einen Hinweis auf die Empfindlichkeit optischer Gläser in Kontakt mit warmen alkalischen Flüssigkeiten, wie z. B. Kühlflüssigkeiten bei Schleif- und Polierprozessen. Ihre Bestimmung erfolgt nach ISO 10629 (1996).

Die Phosphat-Resistenz beschreibt das Verhalten von optischen Gläsern bei der Reinigung mit phosphathaltigen Waschlösungen (Detergentien). Ihre Bestimmung erfolgt nach ISO 9689 (1990).

Die Alkali- und die Phosphat-Resistenz werden mit zwei Ziffern angegeben, die durch einen Punkt getrennt sind. Die erste Ziffer gibt die Alkali-Resistenzklasse AR bzw. die Phosphat-Resistenzklasse PR an. Die Dezimale sagt aus, welche sichtbaren Oberflächenveränderungen durch die Beanspruchung aufgetreten sind.

Die Alkali-Resistenzklasse AR richtet sich danach, welche Zeit zum Abtrag einer Schichtdicke des Glases von $0,1 \mu\text{m}$ in einer alkalischen Lösung (Natriumhydroxid, $c = 0,01 \text{ mol/l}$, $\text{pH} = 12$) im Überschuss bei einer Temperatur von 50°C benötigt wird.

Die Phosphat-Resistenzklasse PR richtet sich danach, welche Zeit zum Abtrag einer Schichtdicke des Glases von $0,1 \mu\text{m}$ in einer alkalischen phosphathaltigen Lösung (Pentatriumtriphosphat $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, $c = 0,01 \text{ mol/l}$, $\text{pH} = 10$) im Überschuss bei einer Temperatur von 50°C benötigt wird. Die Schichtdicke wird aus dem Gewichtsverlust pro Fläche und der Dichte des Glases ermittelt. Die Alkali- und Phosphat-Resistenzklassen sind in Tabelle 3.4 aufgeführt.

Tabelle 3.4: Einteilung der optischen Gläser in Alkali-Resistenzklassen AR 1–4 bzw. Phosphat-Resistenzklassen PR 1–4

Alkali-Resistenzklasse AR, Phosphat- Resistenzklasse PR	1	2	3	4
Zeit (h)	>4	1–4	0,25–1	<0,25

Die Gläser in der Klasse 1 sind resistenter gegenüber den Testlösungen als die Gläser der Klasse 4. Die Bedeutung der zur Kennzeichnung sichtbarer Oberflächenveränderungen dienenden Ziffer hinter der Klassenangabe wird im folgenden Kapitel 3.5 erklärt.

3.5 Kennzeichnung sichtbarer Oberflächenveränderungen

Die Oberflächenveränderungen in den beanspruchten Proben werden mit dem bloßen Auge qualitativ beurteilt. Die Bedeutung der Ziffern hinter der Klassenangabe bei Säure-, Alkali- und Phosphat-Resistenz ist wie folgt:

- .0 keine sichtbaren Veränderungen
- .1 klare, aber unregelmäßige Oberfläche (wellig, narbig, kraterartig)
- .2 fleckig und/oder Interferenzfarben (leichte, selektive Auslaugung)
- .3 festhaftende, dünne weiße Schicht (stärkere, selektive Auslaugung, wolkig getrübe Oberfläche)
- .4 lose anhaftende, dickere Schichten, z. B. unlösliche, bröckelige Reaktionsprodukte auf der Oberfläche (dabei kann es sich um eine aufgerissene und/oder abplatzende oberflächliche Kruste oder aufgerissene Oberfläche handeln; starker Angriff)

3.6 Umweltaspekte, RoHS und REACH

Advanced Optics fertigt, verarbeitet und vertreibt seine Materialien in Übereinstimmung mit dem SCHOTT Managementsystem EHS (Environment, Health and Safety) zur Vermeidung von Umweltverschmutzung sowie zur Schonung natürlicher Ressourcen und beachtet die Zielsetzungen und Verfahren unseres Qualitätsmanagementsystems. Der Umgang mit Rohstoffen, das Schmelzen von Gemenge und die Heißformgebung erfolgen in Übereinstimmung mit den geltenden Sicherheitsbestimmungen. Schlamm aus Schneid-, Schleif- und Poliervorgängen wird gemäß den Abfall- und Entsorgungsvorschriften der örtlichen Behörden entsorgt.

Alle optischen Materialien in diesem Katalog entsprechen den Vorgaben der europäischen Richtlinie 2011/65/EU (RoHS II). Sie beinhalten kein Quecksilber (Hg), ChromVI (CrVI), Cadmium (Cd), die Flammschutzmittel PBB und PBDE, Bis(2-ethylhexyl) phthalat (DEHP), Butylbenzylphthalat (BBP), Dibutylphthalat (DBP) oder Diisobutylphthalat (DIBP). Die Glastypen "N" und "P" entsprechen dem maximalen Konzentrationswert für Blei in Höhe von 0,1 %, welcher in Anhang II der RoHS II festgelegt ist. Einige klassische Glastypen enthalten Bleioxid, um die spezifischen optischen Eigenschaften dieser Produkte zu gewährleisten. Sie sind aufgrund der in Anhang III der RoHS II dokumentierten Ausnahme 13a RoHS-konform.

Darüber hinaus entsprechen alle Materialien in diesem Katalog den Anforderungen der europäischen Verordnung 1907/2006/EC (REACH zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien).

Die Sicherstellung der Verfügbarkeit unseres optischen Rohglasportfolios für alle Kundenanwendungen beginnt mit dem Materialentwicklungsprozess. Alle Innovationen folgen in Übereinstimmung mit RoHS II, REACH und den entsprechenden globalen Anforderungen, einem strikten Prozess für Substanzbestimmungen und rechtliche Vorgaben.

Während Updates der rechtlichen Bestimmungen, durch externe Fachkräfte in Europa/Afrika, Amerika und Asien, verfolgt werden, ist SCHOTT Teil des führenden Glas Verband-Netzwerkes, das gegründet wurde, um Konformitätsprobleme frühzeitig zu erkennen.

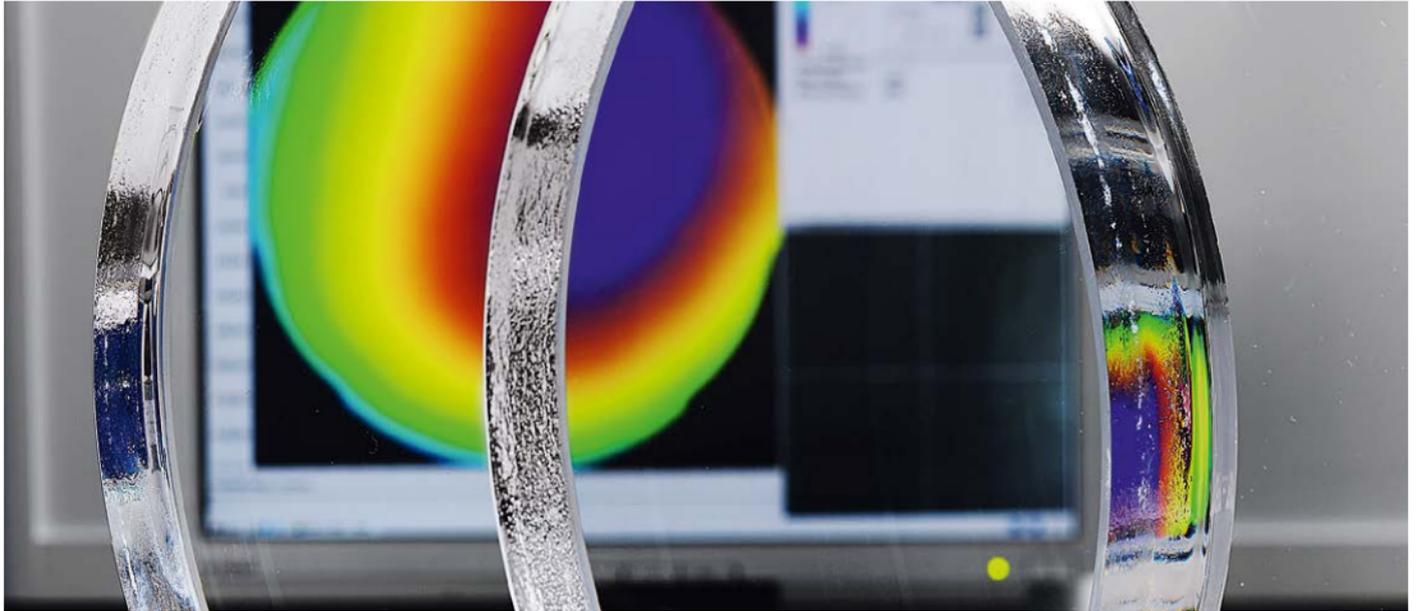
Um die Einhaltung der europäischen Chemikalienvorschriften, wie REACH sicherzustellen, hat SCHOTT Advanced Optics alle Glasarten klassifiziert und zahlreiche chemische Analyse und Auslaugtests durchgeführt.

Mit diesem systematischen Ansatz hat SCHOTT Advanced Optics wenige bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) registrierbedürftige Gläser identifiziert. Die ausgestellten Registrationsnummern wurden in

den entsprechenden Sicherheitsdatenblättern dokumentiert.

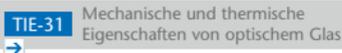
In enger Abstimmung mit unseren Rohstofflieferanten behalten wir auch sorgfältig die Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC) und deren mögliche Aufnahme in den REACH-Anhang XIV (Liste der zulassungspflichtigen Stoffe) im Auge, um unseren Informationspflichten nachzukommen und die weitere Verwendung dieser Substanzen in unseren Produktionsprozessen zu gewährleisten.

Damit soll sichergestellt werden, dass die Kunden als nachgeschaltete Anwender beim Einsatz der Gläser von SCHOTT ebenfalls den Anforderungen von REACH entsprechen. Bitte beachten Sie außerdem die Informationen zur technischen Sicherheit bzw. die Sicherheitsdatenblätter, die den Gläsern jeweils beiliegen.



4 Mechanische Eigenschaften

4.1 Knoop Härte



Die Knoop Härte eines Materials ist ein Maß für bleibende Oberflächenveränderungen nach dem Eindringen eines Prüfdiamanten, wobei Druck und Dauer vorgegeben sind. Die ISO-Norm 9385 beschreibt das Messverfahren für Gläser. Gemäß dieser Norm sind die Werte für die Knoop Härte HK in den Datenblättern für eine Prüfkraft von 0,9807 N (entspricht 0,1 kp) und eine Einwirkzeit der Prüfkraft von 20 s angegeben. Die Prüfung erfolgt an polierten Glasoberflächen bei Raumtemperatur. Die Angaben der Härtewerte sind auf 10 HK 0,1/20 gerundet. Die Mikro Härte ist abhängig von der Größe der Prüfkraft und nimmt mit zunehmender Prüfkraft ab.

4.2 Viskosität

Zwischen Schmelztemperatur und Zimmertemperatur durchlaufen Gläser drei Viskositätsbereiche: den Bereich der Schmelze, den Bereich der unterkühlten Schmelze und den Bereich der eingefrorenen Schmelze. Beim Abkühlen der Schmelze (10^0 – 10^4 dPa·s) nimmt die Viskosität

von Glas stetig zu. Zwischen 10^4 und 10^{13} dPa·s beobachtet man einen Übergang von flüssigem zu plastischem Verhalten.

Zur Kennzeichnung des plastischen Bereichs, in dem sich Glasteile rasch unter ihrem Eigengewicht deformieren, dient der sogenannte Erweichungspunkt EW. Dies ist die Temperatur $T_{10}^{7,6}$, bei der das Glas eine Viskosität von $10^{7,6}$ dPa·s aufweist. Ab 10^{13} dPa·s kann man die Glasstruktur als erstarrt oder „eingefroren“ bezeichnen. Bei dieser Viskosität gleichen sich innere Spannungen im Glas in ca. 15 Minuten aus.

Eine andere Möglichkeit, den Transformationsbereich zu kennzeichnen, bietet die Änderung im Anstieg der relativen thermischen Längenausdehnung. Gemäß ISO 7884-8 bestimmt man daraus die so genannte Transformationstemperatur T_g . Sie liegt im Allgemeinen dicht bei T_{10}^{13} .

Wird bei evtl. Wärmebehandlung eine Temperatur von 200 K unterhalb T_{10}^{13} überschritten, können Deformationen von optischen Präzisionsflächen und Änderungen der Brechzahlen auftreten.

TIE-31 Mechanische und thermische Eigenschaften von optischem Glas
→

4.3 Koeffizient der thermischen Längenausdehnung

Der typische Verlauf der thermischen Längenausdehnung von Gläsern beginnt in der Nähe des absoluten Nullpunkts mit einer deutlichen Steigungszunahme bis etwa Raumtemperatur. Es folgt ein fast linearer Anstieg bis zum Beginn merklichen plastischen Verhaltens. Eine deutliche Krümmung der Ausdehnungskurve infolge zunehmender Strukturbeweglichkeit im Glas kennzeichnet den Transformationsbereich. Oberhalb verläuft die Ausdehnung wieder annähernd linear, jedoch mit deutlich größerer Steigung.

Wegen der Abhängigkeit des Koeffizienten der thermischen Längenausdehnung α von der Temperatur gibt man üblicherweise zwei mittlere lineare Ausdehnungskoeffizienten α für die folgenden Temperaturbereiche an:

α (–30°C; +70°C) als relevante Angabe für Raumtemperatur (im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften angegeben).

α (+20°C; +300°C) als international gebräuchlicher Wert für Vergleichszwecke und zur Orientierung bei Verschmelzungsprozessen und Temperaturwechselbelastung (in den ausführlichen Datenblättern der Gläser angegeben).

Gläser mit großen Koeffizienten der thermischen Längenänderung wie z. B. Phosphatkron- (PK) und Fluorkrongläser (FK) sind besonders empfindlich gegenüber plötzlichen Temperaturänderungen bei der Bearbeitung, Reinigung und allgemeinen Handhabung.

5 Thermische Eigenschaften

5.1 Wärmeleitfähigkeit

TIE-31

Mechanische und thermische
Eigenschaften von optischem Glas

Der Wertebereich der Wärmeleitfähigkeit von Gläsern liegt üblicherweise zwischen $1,38 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (reines Kieselglas) und etwa $0,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (hoch bleihaltige Gläser). Die am häufigsten verwendeten Silikatgläser liegen zwischen $0,9$ und $1,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Die in den Datenblättern genannte Wärmeleitfähigkeit gilt für eine Glastemperatur von 90°C .

TIE-31

Mechanische und thermische
Eigenschaften von optischem Glas

5.2 Spezifische Wärmekapazität

Für einen Teil der Gläser wird die mittlere isobare spezifische Wärmekapazität c_p (20°C ; 100°C) angegeben, die aus der Wärmeabgabe eines 100°C heißen Glases in einem Flüssigkeitskalorimeter bei 20°C bestimmt wurde. Der Wertebereich für c_p (20°C ; 100°C) und die typische Wärmekapazität c_p (20°C) liegt bei Silikatgläsern innerhalb $0,42$ bis $0,84 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$.

6 Lieferqualität

6.1 Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung

Der Geschäftsbereich Advanced Optics der SCHOTT AG in Mainz arbeitet mit einem gemäß ISO 9001/ISO 14001 zertifizierten Qualitätsmanagementsystem. Die Zertifizierung wurde von Bureau Veritas, Hamburg, erteilt.

Die Laboratorien von Advanced Optics für die Messung von physikalischen und chemischen Eigenschaften sind von der nationalen Akkreditierungsstelle der Bundesrepublik Deutschland DAkkS auf der Grundlage des Standards ISO 17025:2005 anerkannt. Regelmäßig werden gemeinsam mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt PTB in Braunschweig Ringversuche durchgeführt. Die PTB ist ein nationales Institut für Metrologie,

das wissenschaftliche und technische Dienstleistungen bietet (<http://www.ptb.de/cms/de.html>), und ähnelt dem National Institute of Standards and Technology NIST in den USA.

Als technischer Werkstoff benötigt optisches Glas genau definierte reproduzierbare Eigenschaften, auf die sich Konstrukteure verlassen können. Die Qualitätssicherung dieser Eigenschaften basiert auf probenbasierten statistischen Messungen – teilweise 100 % – der optischen und inneren Qualitätseigenschaften während der laufenden Produktion von optischem Glas und auf kundenspezifischen individuellen Messungen der zugerichteten Gläser.

Die professionelle Arbeit mit hochwertigen Materialien erfordert eine genaue Kenntnis ihrer Eigenschaften. Wie schon Joseph von Fraunhofer erkannte, sind Fortschritte bei der Herstellung von optischen Gläsern und deren Anwendungen stets durch die vorhandenen Messmöglichkeiten begrenzt. Ständig wachsende Qualitätsanforderungen bei industriellen und wissenschaftlichen Anwendungen erfordern daher eine ständige Verbesserung der Messtechnik.

6.2 Standard-Lieferqualität

Wenn keine besonderen Qualitätsstufen verlangt werden, wird das Glas in Brechzahl-, Abbezahl-Stufe 3 mit einem Standard-Werkszeugnis geliefert. Das Standard-Werkszeugnis bezieht sich auf ein Lieferlos, das die Standard-Streutoleranz erfüllt. Die Brechzahlen aller zu einem Los gehörenden Teile weichen nicht mehr als $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ (bei Presslingen $\pm 2 \cdot 10^{-4}$, wenn verlangt) von den Angaben im Werkszeugnis ab. Das Glas ist auf Blasen und Einschlüsse, Schlieren und Spannungsdoppelbrechung geprüft.

Die Fertigung von optischem Glas ist ein stabiler Prozess mit nur geringen Abweichungen in den chemischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften des Glases. Diese Eigenschaften sind statistisch geprüfte Datenblatt-Referenzwerte und werden im Auftragsfall nicht individuell gemessen.

6.3 Erhöhte Lieferqualität

Zusätzlich zu den Standard-Lieferqualitäten werden in Tabelle 6.1 erhöhte Lieferqualitäten bei verschiedenen Lieferformen angeboten.

Tabelle 6.1: Erhöhte Qualitätsstufen bei verschiedenen Lieferformen

	Barrenglas zur Heißnachverarbeitung	Presslinge	Feingekühltes Glas	Zugerichtetes Glas
Brechzahl-, Abbezahl-Stufen	2; 1	2; 1; 0,5	2; 1; 0,5	2; 1; 0,5
Prüfscheine	Kühlvorschrift	Standard (S)	Standard (S)	Standard (S)
Messgenauigkeit, Messbereiche	Mit Angabe der Kühlraten für die erreichbaren Brechzahl-, Abbezahl-Stufen nach der Feinkühlung	Wenn Einhaltung einer Streutoleranz verlangt ist	Standard mit erhöhter Genauigkeit (SE)	Standard mit erhöhter Genauigkeit (SE), Präzision (PZ) dn/dT (DNDT)
Brechzahl-Streuung	S0; S1	LH1; LH2	S0; S1	S0; S1
Homogenität	–	H1 – H3 ($\varnothing < 65$ mm)	–	H1 – H5
Spannungsdoppel- brechung	–	SK	SK	SK, SSK
Schlieren	–	–	–	VS*
Blasen/Einschlüsse	–	VB; EVB	–	VB; EVB
Bemerkungen			Mindestens eine Fläche ist bearbeitet	Prüfung von Schlieren und Homogenität in derselben Richtung

* 1–3 Prüfrichtungen möglich

Die innerhalb einer Lieferform angegebenen Qualitätsstufen können miteinander kombiniert werden. Es sind jedoch nicht immer Schmelzen verfügbar, die für beliebige Kombinationen geeignet sind.

Wir empfehlen, die Liefermöglichkeit möglichst frühzeitig mit uns abzuklären.

Auch über die genannten Qualitätsstufen hinausgehende Anforderungen können erfüllbar sein. Bitte sprechen Sie uns für weitere Informationen an.

7 Lieferformen und Toleranzen

Advanced Optics deckt die komplette Wertschöpfungskette ab: von der kundenspezifischen Materialentwicklung und dessen Fertigung über hochpräzise optische Endbearbeitung und Verarbeitung bis hin zu äußerst genauen Messverfahren.

Dank der herausragenden Fähigkeiten im Bereich der Verarbeitung (Polieren, Beschichten, Bonding usw.) bietet Advanced Optics eine breite Palette individueller optischer Komponenten. Dies umfasst Linsen (asphärisch, sphärisch, zylindrisch), Prismen, Spiegel, Wafer, Substrate und vieles mehr.

Im Folgenden finden Sie eine Auswahl der verfügbaren Lieferformen:

7.1 Rohglas



7.1.1 Blöcke

Blöcke haben fünf unbearbeitete, gussblanke Flächen. Mindestens eine Fläche ist in der Regel bearbeitet.

Die Kanten sind gerundet. Blöcke sind feingekühlt und damit zur Kaltnachverarbeitung geeignet.

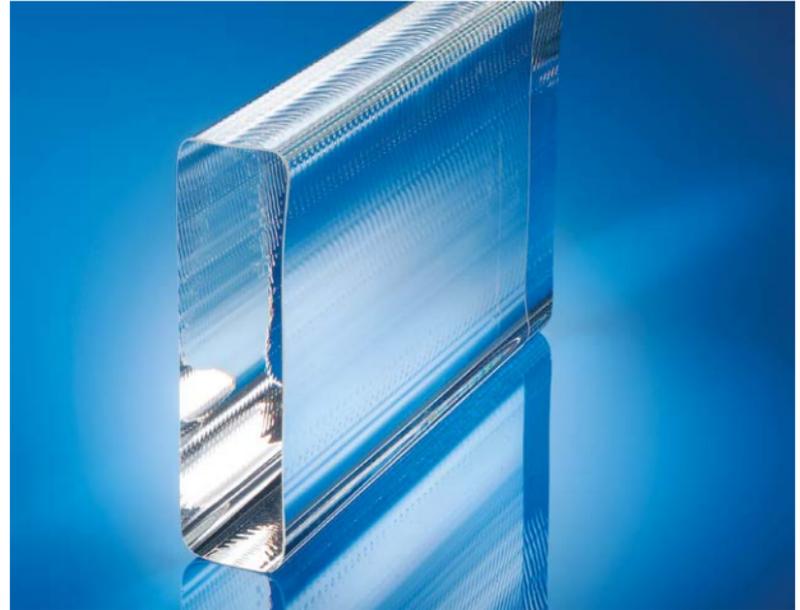
Beschrieben durch: *Länge, Breite, Dicke*

7.1.2 Barren

Barren haben gussblanke Mantelflächen und gebrochene oder geschnittene Stirnflächen.

Barren sind entweder grob- oder feingekühlt. Grobgekühlte Barren sind nur zur Heißnachverarbeitung geeignet.

Beschrieben durch: *Länge, Breite, Dicke*



7.2 Zugerichtetes Glas



7.2.1 Platten

Platten sind quaderförmig zugerichtete Teile.

Alle sechs Seiten sind bearbeitet, die Kanten mit Schutzfacetten versehen.

Beschrieben durch: *Länge, Breite, Dicke*

Durch Standard-Bearbeitung werden Oberflächenrauheiten von $R_a = 20-25 \mu\text{m}$ erreicht. Platten mit deutlich engeren Abmessungstoleranzen und feineren Oberflächen sind auf Anfrage möglich.

Tabelle 7.1: Abmessungstoleranzen und Mindestmaße für Platten

Maximale Kantenlänge [mm]	Zulässige Toleranzen				Mindestdicke ¹⁾ [mm]
	Für Kantenlänge		Für Dicke		
	Standard [mm]	Präzision [mm]	Standard [mm]	Präzision [mm]	
> 3– 80	±0,2	±0,1	±0,3	±0,15	2
> 80– 120	±0,3	±0,15	±0,5	±0,25	4
> 120– 250	±0,5	±0,25	±0,5	±0,25	6
> 250– 315	±0,9	±0,45	±0,8	±0,4	8
> 315– 400	±1,2	±0,6	±0,8	±0,4	8
> 400– 500	±1,3	±0,65	±0,8	±0,4	20
> 500– 630	±1,5	±0,75	±0,8	±0,4	20
> 630– 800	±1,8	±0,9	±0,8	±0,4	20
> 800–1000	±2,0	±1,0	±0,8	±0,4	20
>1000	Anfrage	Anfrage	Anfrage	Anfrage	

¹⁾ Geringere Dicken als angegeben sind möglich. Um Rückfrage wird gebeten.



7.2.2 Rundscheiben

Rundscheiben sind allseitig bearbeitete zylindrische Teile, deren Durchmesser größer ist als die Dicke.

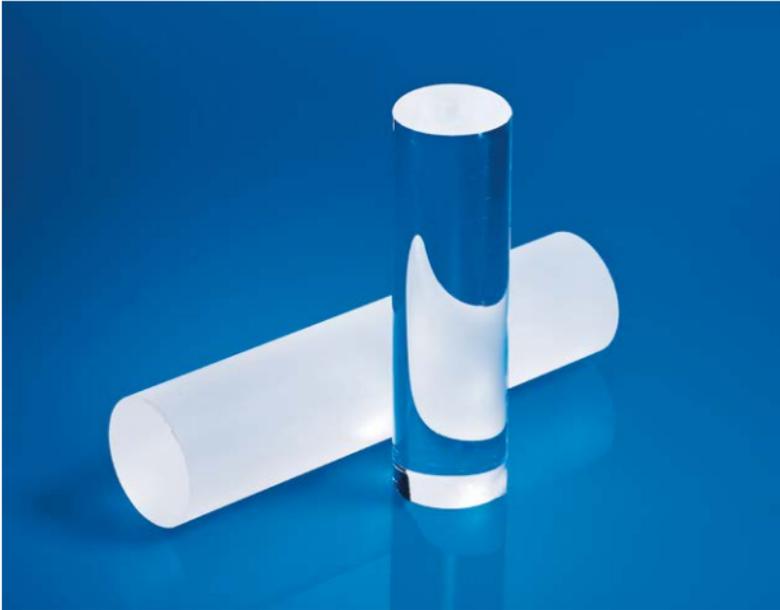
Beschrieben durch: *Durchmesser, Dicke*

Durch Standard-Bearbeitung werden Oberflächenrauheiten von $R_a = 20\text{--}25\ \mu\text{m}$ erreicht. Rundscheiben mit deutlich engeren Abmessungstoleranzen und feineren Oberflächen sind auf Anfrage möglich.

Tabelle 7.2: Abmessungstoleranzen und Mindestmaße für Rundscheiben

Durchmesser [mm]	Zulässige Toleranzen				
	Für Durchmesser		Für Dicke		Mindestdicke ¹⁾ [mm]
	Standard [mm]	Präzision [mm]	Standard [mm]	Präzision [mm]	
> 3– 80	±0,2	±0,1	±0,3	±0,15	2
> 80– 120	±0,3	±0,15	±0,5	±0,25	4
> 120– 250	±0,3	±0,15	±0,5	±0,25	6
> 250– 500	±0,5	±0,25	±0,8	±0,4	20
> 500– 800	±0,8	±0,4	±0,8	±0,4	20
> 800–1250	±1,0	±0,5	±0,8	±0,4	40
>1250	Anfrage	Anfrage	Anfrage	Anfrage	

¹⁾ Geringere Dicken als angegeben sind möglich. Um Rückfrage wird gebeten.



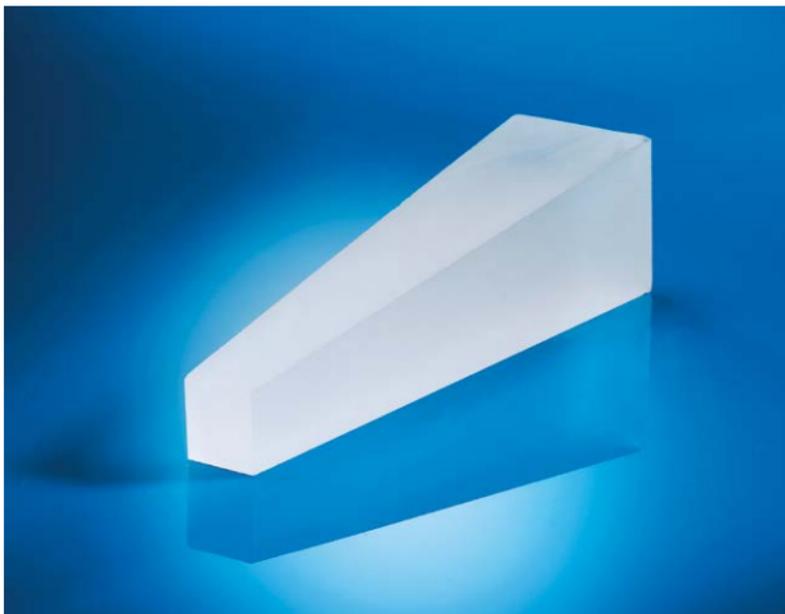
7.2.3 Bearbeitete Stäbe

Bearbeitete Stäbe sind allseitig bearbeitete zylindrische Teile, deren Länge größer ist als der Durchmesser.

Beschrieben durch: *Durchmesser, Länge*

Tabelle 7.3: Maße und Toleranzen für bearbeitete Stäbe, Ø-Bereich 6–80 mm

Durchmesser [mm]	Standard- toleranz [mm]	Toleranzen, gebohrt und nachrundiert gemäß ISO 286				Längenbereich [mm]	Toleranz für Länge [%]
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
6–10	±0,2	h11 +0/-0,09	h10 +0/-0,058	h9 +0/-0,036	h8 +0/-0,022	max. 130	±2
>10–18	±0,2	h11 +0/-0,11	h10 +0/-0,070	h9 +0/-0,043	h8 +0/-0,027	max. 130	±2
>18–30	±0,2	h11 +0/-0,13	h10 +0/-0,084	h9 +0/-0,052	h8 +0/-0,033	max. 130	±2
>30–50	±0,2	h11 +0/-0,16	h10 +0/-0,100	h9 +0/-0,062	h8 +0/-0,039	max. 130	±2
>50–80	±0,3	h11 +0/-0,19	h10 +0/-0,120	h9 +0/-0,074		max. 130	±2



7.2.4 Schnittprismen

Schnittprismen sind durch Schneiden und ggf. Schleifen hergestellte allseitig bearbeitete Prismen.

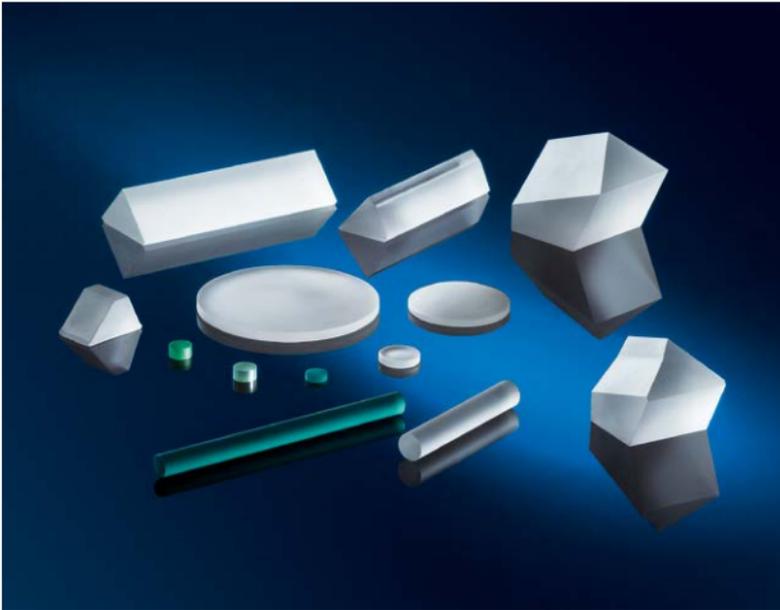
Mittels verschiedener Fertigungstechnologien sind gleichseitige und nicht gleichseitige Prismen in verschiedenen Formen wie z. B. Dachkanten-, Penta- und Tripelprismen herstellbar.

Beschrieben durch: *Zeichnung*

Tabelle 7.4: Maße und Toleranzen für Schnittprismen

Maximale Kantenlänge [mm]	Toleranzen für Größe [mm]	Toleranzen für Breite [mm]
<50	+1,0/-0	±0,5
50–100	+1,5/-0	±1,0
>100	+2,0/-0	±1,0

7.3 Presslinge



7.3.1 Gepresste Rohlinge

Gepresste Rohlinge sind Heißformteile mit meist rundem Querschnitt, definierten Radien und Facetten.

Beschrieben durch:

Durchmesser, Mittendicke, Radius 1, Radius 2, Facetten

Tabelle 7.5: Maße und Toleranzen für gepresste Rohlinge

Durchmesser [mm]	Toleranz für Durchmesser [mm]	Toleranz für Dicke [mm]	Minimale Mittendicke [mm]	Minimale Randdicke [mm]	Maximale Randdicke [mm]
5– 18	$\pm 0,075$	$\pm 0,3$	2	1	$0,6 \cdot \emptyset$
> 18– 30	$\pm 0,11$	$\pm 0,3$	3	1,5	$0,45 \cdot \emptyset$
> 30– 60	$\pm 0,14$	$\pm 0,3$	4	3	$0,4 \cdot \emptyset$
> 60– 90	$\pm 0,175$	$\pm 0,3$	5	4	$0,3 \cdot \emptyset$
> 90–120	$\pm 0,25$	$\pm 0,4$	6	5	$0,3 \cdot \emptyset$
>120–140	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	7	5	$0,3 \cdot \emptyset$
>140–180	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	7	6	$0,3 \cdot \emptyset$
>180–250	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	10	8	$0,3 \cdot \emptyset$
>250–320	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	10	8	$0,3 \cdot \emptyset$

Tabelle 7.6: Maße und Toleranzen für gepresste Prismen

Maximale Kantenlänge [mm]	Toleranz Kantenlänge [mm]	Toleranz Mittendicke [mm]	Winkel	Sockel [mm]
5– 30	±0,2	±0,3		2
> 30– 60	±0,3	±0,4		2
> 60– 90	±0,4	±0,5	±0,5°	2,5
> 90–150	±0,5	±0,5		2,5
>150–180	±0,7	±0,7		3
>180–305	±1,0	±1,0		4

7.3.2 Gepresste Prismen

Gepresste Prismen sind Heißformteile mit einer winkligen prismatischen Form.

Andere Abmessungen sind auf Anfrage möglich.

Beschrieben durch: *Zeichnung*

7.4 Optische Glasstäbe für miniaturisierte Kugellinsen, Scheiben und mehr

SCHOTT bietet ein umfassendes Sortiment an Stäben mit unterschiedlichen Geometrien, Formaten und Materialien.

Optische Glasstäbe von SCHOTT für Anwendungen, bei denen kleine optische Komponenten wie Kugellinsen, Stablinsen, asphärische Linsen und Scheiben zur Anwendung kommen, werden mittels verschiedenster einzigartiger Verfahren hergestellt.

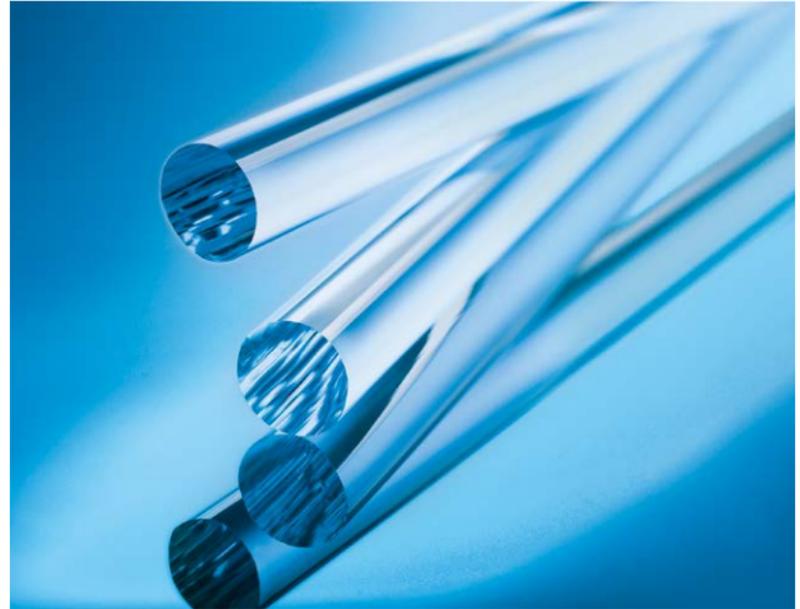


Tabelle 7.7: Optische Glasstäbe – Spezifikationen*

Beschreibung	Feuerpolierte Oberfläche		Matte Oberfläche	
	Standardqualität	Premiumqualität	Standardqualität	Premiumqualität
Durchmesser/Toleranz	$\pm 5\%$ der Nennweite	$\pm 3\%$ der Nennweite	$\pm 0,1$ mm	$\pm 0,05$ mm
Geradheitsabweichung	max. 0,1 mm/100 mm	max. 0,1 mm/100 mm	max. 0,05 mm/100 mm	max. 0,03 mm/100 mm
Längentoleranz	+5 mm	+2 mm	+5 mm	+2 mm
Durchmesser	<1,0–7,0 mm	<1,0–7,0 mm	2,0–12,5 mm	2,0–12,5 mm
Oberflächenqualität	feuerpoliert	feuerpoliert	matt	matt
Länge	bis zu 1000 mm		bis zu 150 mm	

* Referenz runde Form und Glasart P-LASF47

8 Optisches Glas zum Präzisionsblankpressen

TIE-40

Optisches Glas für das
Präzisionsblankpressen

Technologien zum Präzisionsblankpressen von asphärischen Linsen oder Freiformflächen im Allgemeinen haben in den letzten Jahren weltweit immer mehr an Bedeutung gewonnen. Beim Präzisionsblankpressen werden Vorformen mit sehr guten Oberflächenqualitäten zu asphärischen Geometrien verpresst. Die Oberflächenqualität der Vorform bleibt bei diesem Vorgang erhalten. Das Präzisionsblankpressen ist ein Niedrigtemperatur-Verformungsprozess, der typischerweise bei Temperaturen zwischen 500 °C und 700 °C stattfindet. Niedrigtemperatur-Prozesse helfen dabei, die Lebensdauer des Formmaterials zu verlängern.

Die „P“-Gläser verfügen über eine niedrige Transformationstemperatur T_g und eignen sich dadurch besonders zum Präzisionsblankpressen. Der Buchstabe „P“ steht für Gläser, die exklusiv für den Pro-

zess des Präzisionsblankpressens hergestellt werden. Zusätzlich wurden weitere traditionelle optische Gläser mit niedriger Transformationstemperatur identifiziert, die zum Präzisionsblankpressen geeignet sind.

Gläser zum Präzisionsblankpressen sind im Allgemeinen grobgekühlte Gläser in der Brechzahl- und Abbezahl-Stufe 3/3 basierend auf einer Referenzkühlrate von 2 K/h. Die tatsächliche Brechzahl des Glases innerhalb des Lieferloses weicht von diesem Wert ab.

Die schnelle Abkühlrate während des Präzisionsblankpressens führt zu einer Brechzahländerung, womit sich die Brechzahl des Glases signifikant im Vergleich zu den im Datenblatt angegebenen Werten verringert. Die Brechzahländerung ist definiert als die Differenz zwischen der Brechzahl des Glases nach dem Präzisionsblankpressen und dem Referenzwert auf der Basis einer Kühlrate von 2 K/h. Die Höhe der Brechzahländerung hängt vom Prozess, der Glasart und der Geometrie der Teile ab.

Der Teil II Optisches Glas – Eigenschaften enthält die n_d - und v_d -Werte nach der Formgebung mittels eines Referenzprozesses von SCHOTT. Einige dieser Werte sind vorläufige Daten auf der Basis einer theoretischen Referenz-Kühlrate von 5000 K/h. Der Katalogwert n_d fungiert als erste Brechzahl auf der Basis einer Referenz-Kühlrate von 2 K/h zur Berechnung der Änderung der optischen Lage (index drop).

Die Änderung der optischen Lage kann außerdem auf der Basis einer höheren anfänglichen Referenz-Kühlrate von 25 K/h berechnet werden. Zu diesem Zweck wird der n_d -Referenzwert auf Basis einer Kühlrate von 25 K/h aufgeführt.

Für einen bestimmten Glastyp hängt die Änderung der optischen Lage vom jeweiligen Verfahren und der Geometrie des Bauteils ab und wird leicht von den angezeigten Werten im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften abweichen.

Falls die Brechzahl nach der Formgebung nicht die Kundenanforderungen erfüllt, sind entsprechende Indexanpassungen an die gegebenen Prozessbedingungen auf Anfrage möglich.

Die verfügbaren optischen Gläser, die für das Präzisionsblankpressen geeignet sind, werden im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften dieses Katalogs aufgeführt. Dies umfasst die „P“-Gläser, aber auch die bisher hierfür genutzten Gläser. Der Teil II Optisches Glas – Eigenschaften zu Low T_g -Gläsern enthält außerdem zusätzliche Informationen zur Säurebeständigkeit nach JOGIS (Japanese Optical Glass Industrial Standard), Schleifbarkeit (Abrasion) nach JOGIS und Fließgrenze/Absenktemperatur des Glases.

9 Produkt-Portfolio optischer Gläser

9.1 Vorzugsgläser

Die im ersten Teil des Datenbereichs aufgelisteten Gläser sind Vorzugsgläser. Sie werden ohne eine spezifische Kundenanfrage produziert und für gewöhnlich auf Lager zur sofortigen Lieferung bereitgestellt. Für diese Gläser wird eine verlässliche und langfristige Verfügbarkeit garantiert. Wir empfehlen daher, beim Design neuer optischer Systeme auf Vorzugsgläser zurückzugreifen, die in der so genannten Positivliste optischer Gläser zusammengestellt sind. Die aktuelle Version unserer Positivliste optischer Gläser finden Sie auf unserer Internetseite (www.schott.com/advanced_optics/downloads-d).

9.2 Anfragegläser

Der zweite Abschnitt des Teils II Optisches Glas – Eigenschaften enthält eine Auswahl an Anfragegläsern, die in der Regel nur auf spezielle Kundenanfrage hin produziert werden. Einige dieser Gläser können aufgrund von lang laufenden Projektgeschäften trotzdem ab Lager zur Verfügung stehen. Im Gegensatz zu den Vorzugsgläsern wird dieser Lagerbestand aber nicht ohne Kundenauftrag erzeugt. Auch wenn kein Lagerbestand verfügbar ist, kann das Glas auf Anfrage angeboten werden.

10 Formelsammlung und Wellenlängen-Tabelle

Relative Teildispersion $P_{x,y}$ für die Wellenlängen x und y, bezogen auf die blaue F- und rote C-Linie des Wasserstoffs

$$P_{x,y} = (n_x - n_y) / (n_F - n_C) \quad (10.1)$$

oder bezogen auf die blaue F'- und rote C'-Linie des Cadmiums

$$P'_{x,y} = (n_x - n_y) / (n_{F'} - n_{C'}) \quad (10.2)$$

Lineare Beziehung zwischen der Abbezahl und der relativen Teildispersion für „Normalgläser“

$$P_{x,y} \approx a_{xy} + b_{xy} \cdot v_d \quad (10.3)$$

Abweichungen ΔP von der „Normalgeraden“

$$P_{x,y} = a_{xy} + b_{xy} \cdot v_d + \Delta P_{x,y} \quad (10.4)$$

$$\Delta P_{C,t} = (n_C - n_t) / (n_F - n_C) - (0,5450 + 0,004743 \cdot v_d) \quad (10.5)$$

$$\Delta P_{C,s} = (n_C - n_s) / (n_F - n_C) - (0,4029 + 0,002331 \cdot v_d) \quad (10.6)$$

$$\Delta P_{F,e} = (n_F - n_e) / (n_F - n_C) - (0,4884 - 0,000526 \cdot v_d) \quad (10.7)$$

$$\Delta P_{g,f} = (n_g - n_f) / (n_F - n_C) - (0,6438 - 0,001682 \cdot v_d) \quad (10.8)$$

$$\Delta P_{i,g} = (n_i - n_g) / (n_F - n_C) - (1,7241 - 0,008382 \cdot v_d) \quad (10.9)$$

Die Lage der Normalgeraden ist anhand von Wertepaaren der Glasarten K7 und F2 festgelegt worden.

Dispersionsgleichung nach Sellmeier

$$n^2(\lambda) - 1 = B_1 \lambda^2 / (\lambda^2 - C_1) + B_2 \lambda^2 / (\lambda^2 - C_2) + B_3 \lambda^2 / (\lambda^2 - C_3) \quad (10.10)$$

Bei der Berechnung der Brechzahl gemäß Formel (10.10) mit Hilfe der Sellmeier-Koeffizienten aus den SCHOTT Datenblättern muss die Wellenlänge in μm eingegeben werden.

Änderung der Brechzahl und Abbezahl bei der Kühlung mit unterschiedlichen Kühlgeschwindigkeiten

$$n_d(h_x) = n_d(h_0) + m_{nd} \cdot \log(h_x/h_0) \quad (10.11)$$

$$v_d(h_x) = v_d(h_0) + m_{vd} \cdot \log(h_x/h_0) \quad (10.12)$$

$$m_{vd} = (m_{nd} - v_d(h_0) \cdot m_{nF-nC}) / (n_F - n_C)^* \quad (10.13)$$

h_0 Ausgangs-Kühlgeschwindigkeit

h_x Neue Kühlgeschwindigkeit

m_{nd} Kühlkoeffizient für die Brechzahl, abhängig von der Glasart

m_{vd} Kühlkoeffizient für die Abbezahl, abhängig von der Glasart

m_{nF-nC} Kühlkoeffizient für die Hauptdispersion, abhängig von der Glasart

* näherungsweise

Messgenauigkeit der Abbezahl

$$\sigma_{vd} \approx \sigma_{n_F - n_C} \cdot v_d / (n_F - n_C) \quad (10.14)$$

Spektraler Reintransmissionsgrad

$$\tau_{i\lambda} = \Phi_{e\lambda} / \Phi_{i\lambda} \quad (10.15)$$

Spektraler Transmissionsgrad

$$\tau_{\lambda} = \tau_{i\lambda} \cdot P_{\lambda} \quad (10.16)$$

P_{λ} Reflexionsfaktor

Fresnel'sches Reflexionsvermögen bei senkrecht auf die Oberfläche fallendem Lichtstrom, unabhängig vom Polarisationszustand

$$R = ((n-1)/(n+1))^2 \quad (10.17)$$

Reflexionsfaktor unter Berücksichtigung mehrfacher Reflexion

$$P = (1-R)^2 / (1-R^2) = 2n / (n^2 + 1) \quad (10.18)$$

n Brechzahl für die Wellenlänge λ

Umrechnung des Reintransmissionsgrads auf eine andere Schichtdicke

$$\log \tau_{i1} / \log \tau_{i2} = d_1 / d_2 \text{ oder} \quad (10.19)$$

$$\tau_{i2} = \tau_{i1}^{(d_2/d_1)} \quad (10.20)$$

τ_{i1}, τ_{i2} Reintransmissionsgrad bei den Dicken d_1 und d_2

Spannungsdoppelbrechung, optischer Wegunterschied

$$\Delta s = 10 \cdot K \cdot d \cdot \sigma \text{ in nm} \quad (10.21)$$

K Spannungsoptische Konstante, abhängig von der Glasart in $10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$

d Lichtweglänge in der Probe in cm

σ Mechanische Spannung (positiv für Zugspannung) in N/mm^2 (= MPa)

Homogenität aus interferometrisch gemessenen Wellenfrontabweichungen

$$\begin{aligned} \Delta n &= \Delta W / (2 \cdot d) \\ &= \Delta W [\lambda] \cdot 632,8 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot d [\text{mm}]) \end{aligned} \quad (10.22)$$

bei Angabe der Wellenfrontdeformation in Einheiten der Wellenlänge und einer Prüfwellenlänge von 632,8 nm (Helium-Neon-Gas-Laser)

ΔW Wellenfrontdeformation bei doppeltem Strahlendurchgang (Fizeau-Interferometerprüfung)

d Prüflingsdicke

Anmerkung: Die Formeln wurden mit Sorgfalt ausgewählt und angegeben.
Für Fehler bei ihrer Anwendung kann SCHOTT jedoch keine Gewährleistung übernehmen.

Tabelle 10.1: Wellenlängen für eine Auswahl häufig benutzter Spektrallinien

Wellenlänge [nm]	Bezeichnung	Verwendete Spektrallinie	Element
2325,42		infrarote Quecksilberlinie	Hg
1970,09		infrarote Quecksilberlinie	Hg
1529,582		infrarote Quecksilberlinie	Hg
1060,0		Neodym-Glas-Laser	Nd
1013,98	t	infrarote Quecksilberlinie	Hg
852,11	s	infrarote Cäsiumlinie	Cs
706,5188	r	rote Heliumlinie	He
656,2725	C	rote Wasserstofflinie	H
643,8469	C'	rote Cadmiumlinie	Cd
632,8		Helium-Neon-Gas-Laser	He-Ne
589,2938	D	gelbe Natriumlinie	Na
		(Mitte der Doppellinie)	

Wellenlänge [nm]	Bezeichnung	Verwendete Spektrallinie	Element
587,5618	d	gelbe Heliumlinie	He
546,0740	e	grüne Quecksilberlinie	Hg
486,1327	F	blaue Wasserstofflinie	H
479,9914	F'	blaue Cadmiumlinie	Cd
435,8343	g	blaue Quecksilberlinie	Hg
404,6561	h	violette Quecksilberlinie	Hg
365,0146	i	ultraviolette Quecksilberlinie	Hg
334,1478		ultraviolette Quecksilberlinie	Hg
312,5663		ultraviolette Quecksilberlinie	Hg
296,7278		ultraviolette Quecksilberlinie	Hg
280,4		ultraviolette Quecksilberlinie	Hg
248,3		ultraviolette Quecksilberlinie	Hg

11 Technische Informationen – TIE

Die relevanten TIEs (Technische Informationen) stehen unter folgender Adresse zur Verfügung:

http://www.schott.com/advanced_optics/Technische_Informationen



Titel		
TIE-25:	Schlieren in optischem Glas	(Kapitel 2.1)
TIE-26:	Homogenität von optischem Glas	(Kapitel 1.4)
TIE-27:	Spannungen in optischem Glas	(Kapitel 2.3)
TIE-28:	Blasen und Einschlüsse in optischem Glas	(Kapitel 2.2)
TIE-29:	Brechzahl und Dispersion	(Kapitel 1.1)
TIE-30:	Chemische Eigenschaften von optischem Glas	(Kapitel 3)
TIE-31:	Mechanische und thermische Eigenschaften von optischem Glas	(Kapitel 4.1, 4.2, 4.4, 5.1, 5.2)
TIE-35:	Transmission von optischem Glas	(Kapitel 1.5)
TIE-40:	Optisches Glas für das Präzisionsblankpressen	(Kapitel 8)
TIE-42:	Strahlenresistentes optisches Glas	(Vorwort und Überblick)

12 Ausgewählte Anwendungen



12.1 Optische Materialien für Digitale Projektion

Die optischen Systeme von high-end Kinoprojektoren bestehen üblicherweise aus großvolumigen Prismenanordnungen und hochwertigen Projektionslinsensystemen und benötigen aufgrund der hohen thermischen Belastung in der Anwendung Materialien mit maximaler Transmission und geringer Solarisationstendenz.

Die Primärfarben werden durch blaue Laserdioden erzeugt, welche rotierende Räder mit Leuchtstoffen (sog. Konverter) beleuchten, um gelbes Licht zu generieren. Räder mit keramischem Konverter weisen eine viel höhere Temperaturstabilität auf und bieten eine signifikante

Verbesserung gegenüber herkömmlichen Lösungen.

Anforderungen

- Hohe Transmission
- Große 3D homogene optische Glasprismen
- Geringe Solarisationstendenzen
- Keramische Konverter Materialien

SCHOTT Materialien

N-BK7HT	Herausragende Transmission und Homogenität in mehreren Richtungen für Prismenanwendung
N-BK10	Geringe Solarisation und hohe Homogenität in mehreren Richtungen für Prismenanwendungen
SF57HTultra	Hohe Brechzahl; geringe Spannungs-Doppelbrechung
Keramik Konverter	Keramisches Konvertermaterial mit herausragender Hochtemperaturstabilität



12.2 Optisches Glas in Automobilanwendungen

Fahrerassistenzsysteme in modernen Fahrzeugen sind mit einer Vielzahl von Kameras ausgestattet, welche nahezu 360° der Fahrzeugumgebung abdecken (wie z. B. Kameras als Spiegelerersatz, Rückfahrsystem, Front- und Heckscheibenkamera, Überwachungskamera, Fahrerkamera). Diese Kameras müssen unabhängig von Temperaturunterschieden und aggressiven klimatischen Bedingungen über eine lange Zeit konstant gute Bildqualität liefern. Daher werden in Automobilanwendungen sehr oft athermal korrigierte Festbrennweiten als Objektive eingesetzt. Im Außenbereich muss die Frontlinse

dieser Systeme zudem eine hohe chemische Stabilität aufweisen.

Anforderungen

- Blankpressbares Glas
- Glas mit hoher Brechzahl
- Niedriger oder negativer dn/dT oder sehr hoher dn/dT zur Temperaturkompensation
- Chemische Resistenz

SCHOTT Gläser

P-LAK35	Niedriger dn/dT , blankpressbar
P-LASF47	Hoher dn/dT , blankpressbar
P-SK60	Blankpressbar



12.3 Optische Gläser für Life-Science-Anwendungen

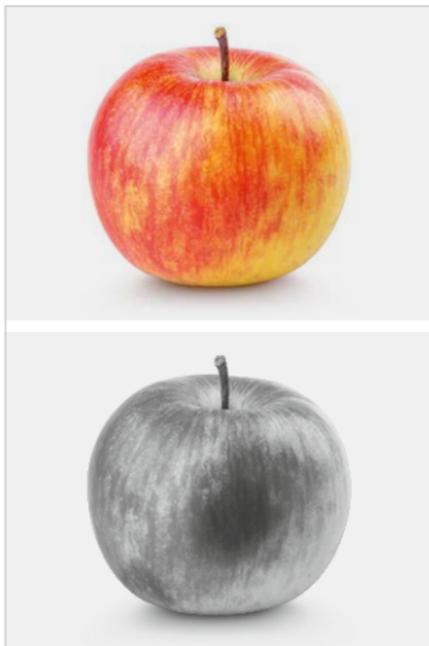
Multiphoton-Laserscanning-Mikroskopie und schnelle DNA-Sequenzierung sind typische Life-Science-Anwendungen mit speziellen Anforderungen an die Materialien, um High-End-optische Designs zu realisieren. SCHOTT bietet ein umfassendes Portfolio von optischen Gläsern und Filtern für High-End-Life-Science-Anwendungen.

Anforderungen

- Hochbrechende Gläser
- Gläser mit extrem niedriger Dispersion
- Gläser mit anormaler Teildispersion
- Hohe Transmission
- Kundenspezifisches Filterdesign
- Niedrige Fluoreszenz

SCHOTT Gläser

N-FK58 XLD	Sehr niedrige Dispersion, hervorragend niedrige Fluoreszenz und Laserbeständigkeit
N-KZF54	Anormale Teildispersion mit größter Abweichung von der Normalgeraden
N-LAK33B	
N-LASF46B	
N-SF57HTultra	Hohe Brechzahl und Transmission
BG Filtergläser	
Schmalbandige Filter	



12.4 Optisches Glas für SWIR-Anwendungen

SWIR ist der kurzwellige Infrarotbereich von ca. 1 bis 2,7 μm Wellenlänge. SWIR-Anwendungen finden sich in Prüfeinrichtungen für Prozessoren, Solarzellen, Flaschen, Kunst und Lebensmittel. Mit SWIR-Anwendungen können Charakteristika sichtbar gemacht werden, welche im sichtbaren Licht alleine nicht visualisiert werden können, wie z. B. faulendes Obst bei der Obstsortierung, gefälschte Gemälde, Füllstandsprüfung bei opaken Flaschen. All diese Machine-Vision-Anwendungen benötigen Optiken und Materialien, die idealerweise Licht sowohl im sichtbaren als auch im SWIR-Bereich transmittieren, und das häufig sogar bis 4 μm .

Anforderungen

- Gläser mit guter Transparenz im sichtbaren und im SWIR-Spektralbereich bis 4 μm Wellenlänge

SCHOTT Gläser

N-FK58 XLD,	Hervorragende Transmission im sichtbaren und
N-PK52A,	SWIR-Bereich
N-FK51A,	
IRG27	



12.5 Optische Gläser für Machine-Vision-Anwendungen

Es gibt ein breites Feld verschiedenartigster Machine-Vision-Anwendungen z. B. in der Prüfung von Bauteilen oder in der Messtechnik. Solche Anwendungen benötigen kompakte Objektive mit hoher Auflösung und gutem Kontrast. Ihr Einsatzgebiet reicht vom UV- bis in den IR-Wellenlängenbereich (z. B. UV-Inspektion von Wafern oder SWIR-Inspektion in der Lebensmittelindustrie).

Anforderungen

- Hochbrechende Gläser
- Gläser mit extrem niedriger Dispersion
- Gläser mit anormaler Teildispersion
- Hohe Transmission

SCHOTT Gläser

N-FK58 XLD	Sehr niedrige Dispersion, Laserbeständigkeit und gute Bearbeitbarkeit
N-KZF54	Anormale Teildispersion mit größter Abweichung von der Normalgeraden
N-LAK33B	
N-LASF46B	
N-SF57HTultra	Hohe Brechzahl und Transmission



12.6 Optische Gläser für High-End-Überwachungssysteme

Optiken von zivilen und militärischen High-End-Überwachungssystemen, welche überwiegend im Außeneinsatz verwendet werden, benötigen robuste und kompakte Objektive mit hoher Auflösung und hervorragender Performance unabhängig von Wetter- und Temperaturbedingungen.

Anforderungen

- Hochbrechende Gläser
- Gläser mit extrem niedriger Dispersion
- Gläser mit anormaler Teildispersion
- Gute chemische Stabilität

SCHOTT Gläser

N-FK58 XLD	Sehr niedrige Dispersion, gute Bearbeitbarkeit
N-SF57HTultra	Hohe Brechzahl und Transmission
P-LAK35	Niedriger dn/dT , gute chemische Beständigkeit
P-LASF47	Hoher dn/dT , gute chemische Beständigkeit
P-SK60	



12.7 Optische Gläser für professionelle Filmkamera-Objektive

Die ständig steigende Auflösung professioneller Filmkameras in der Filmindustrie, dem Mobile Broadcasting und der Videografie (bis zu 8K aktuell) erfordert Objektive mit hochauflösenden optischen Designs und großen Aperturen bei hervorragender Farbkorrektur.

Anforderungen

- Hochbrechende Gläser
- Gläser mit extrem niedriger Dispersion
- Gläser mit anormaler Teildispersion
- Hohe Transmission
- Hohe Homogenität
- Verfügbarkeit in großen Abmessungen

SCHOTT Gläser

N-FK51A	Niedrige Dispersion, sehr gute Homogenität
N-KZF511	Große Abweichung von der Normalgeraden, sehr gute Homogenität
N-SF57HTultra	Hohe Brechzahl und Transmission
N-BK7HT	Sehr gute Transmission und Homogenität in allen Richtungen und verfügbar in großen Abmessungen für Prismen und Linsen

13 SCHOTT Advanced Optics auf einen Blick

SCHOTT Advanced Optics ist mit seiner herausragenden technologischen Kompetenz ein wertvoller Partner für seine Kunden bei der Entwicklung von Produkten und kundenspezifischen Lösungen für Anwendungen in Optik, Lithografie, Astronomie, Optoelektronik, Naturwissenschaften und Forschung.

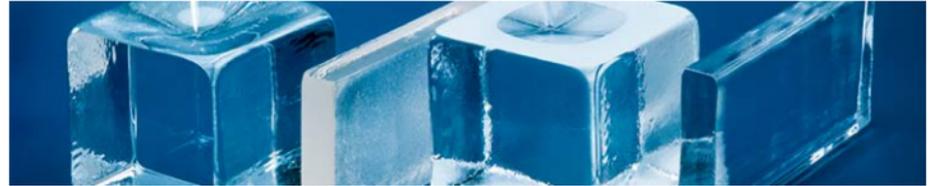
Mit einem Portfolio von mehr als 120 optischen Gläsern, speziellen Materialien und Komponenten decken wir die Wertschöpfungskette von der kundenspezifischen Glasentwicklung über die hochpräzise optische Fertigung bis hin zur Metrologie ab.

SCHOTT Advanced Optics – Your Partner for Excellence in Optics.

Dieses Kapitel soll Ihnen einen Überblick über das Portfolio von SCHOTT Advanced Optics vermitteln. Es umfasst folgende Produkte:

- **Optische Materialien**, wie optisches Glas, HT- & HTUltra-Gläser, aktives & passives Laser-glas, Saphir, Glaswafer mit hoher Brechzahl und Infrarot-Chalkogenid-Gläser
- **Optische Komponenten**, wie Linsen, Planoptiken, Prismen und Keramik Konverter
- **Optische Filter**, wie NIR-Sperrfilter, Kontrastverstärkungsfilter, optisches Filterglas sowie Interferenzfilter

OPTISCHE MATERIALIEN



Optisches Glas

Mehr als 120 optische Glasarten
 Seit über 135 Jahren fertigt SCHOTT Advanced Optics ein breites Sortiment hochwertiger optischer Gläser, um die Anforderungen einer Vielzahl optischer und industrieller Anwendungen zu erfüllen – vom Konsumgüterbereich bis hin zu optischen Hochleistungssystemen in Forschung und Entwicklung.

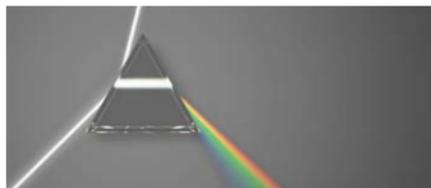
Unser Sortiment umfasst umweltfreundliche „N“-Glasarten, Gläser für das Präzisionsblankpressen (Low T_g -Gläser) sowie klassische Glasarten mit Bleioxid als wichtige Komponente für herausragende optische Eigenschaften. Darüber hinaus bieten wir Varianten unserer Gläser mit besonders hoher Transmission (HT- & HTUltra-Gläser) und mit besonders hoher Homogenität an.



HT- & HTultra-Glas

Optische Gläser mit herausragender Transmission

Innerhalb seines umfangreichen Portfolios an optischen Glasarten bietet SCHOTT Gläser mit hervorragender Transmission an. Sie eignen sich besonders für digitale Projektoren sowie optische Hochleistungssysteme.



XLD Glas

Optische Gläser mit extrem geringer Dispersion

Optische Gläser mit sehr hohen Abbezahlen $v_d > 90$ kennzeichnet SCHOTT mit dem Suffix XLD (eXtreme Low Dispersion). Diese Gläser bieten aufgrund ihrer einzigartigen Teildispersion hervorragende apochromatische Korrekturmöglichkeiten. XLD Gläser wurden auf ausgezeichnete Verarbeitungseigenschaften hin entwickelt.



Hochhomogenes Glas

Extreme Homogenität für große Präzisionsoptiken

Optische Gläser, die in Hochenergie-Laser- oder astronomischen Anwendungen eingesetzt werden, erfordern eine extreme Homogenität. SCHOTT fertigt hochwertige Gläser bis zur Homogenitätsklasse H5 und hält nun auch einige Glasarten bis Qualitätsstufe H4 ab Lager verfügbar.



Low T_g -Glas

Optisches Glas zum Präzisionsblankpressen

Das Präzisionsblankpressen ist ein Verfahren in der Massenfertigung komplexer Linsenformen, z. B. von asphärischen Linsen, für die unterschiedlichsten Anwendungen, wie z. B. in Digitalkameras und Smartphones, in der Telekommunikation, in Linsen-Arrays oder der Mikroskopie.



i-Linienglas

Mit hoher UV-Durchlässigkeit bei 365 nm und hoher Brechzahlhomogenität i-Liniengläser, deren Name sich auf die i-Wellenlänge bezieht, sind optische Gläser, die sowohl über eine hohe UV-Durchlässigkeit bei 365 nm als auch über eine hohe Brechzahlhomogenität verfügen. Diese Glasarten finden hauptsächlich in der Lithografie in i-Linien-Steppern und Wafer-Scannern Anwendung.



Strahlenresistentes Glas

Hohe Strahlenresistenz und unterschiedliche Dispersionseigenschaften SCHOTT bietet eine Auswahl an strahlenresistenten Glasarten mit unterschiedlichen Dispersionseigenschaften an, die sich sehr gut für den Einsatz in Umgebungen mit hoher Radioaktivität eignen. Strahlenresistentes Glas ist in Form von Zuschnitten, Presslingen, Stäben sowie bearbeiteten optischen Komponenten erhältlich.



Strahlenschutzglas

Herausragende optische Eigenschaften und hohe Abschirmwirkung gegen ionisierende Strahlung

SCHOTT bietet eine Reihe von speziell entwickelten Strahlenschutzgläsern mit einer Dichte von 2,5 bis 5,2 g/cm³, die sich aufgrund ihrer optischen Eigenschaften und hohen Abschirmwirkung gegen ionisierende Strahlung ideal für Strahlenschutzfenster eignen.



Saphir

Eines der härtesten, beständigsten und kratzfestesten Materialien

Saphir besitzt eine hohe Transmission vom UV- bis hin zum mittleren Infrarot-Wellenlängenbereich (250–5000 nm) und ist unempfindlich gegenüber extremen Umgebungsbedingungen sowie Temperaturschwankungen. SCHOTT liefert Saphir in bearbeiteter Form gemäß Kundenspezifikationen.



Infrarot-Chalkogenid-Glas

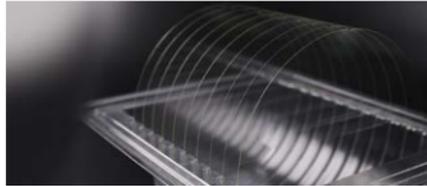
Verschiedene IR-Gläser mit hervorragender Transmission im SWIR-, MWIR-, LWIR-Bereich

Die Infrarot-Gläser verfügen über exzellente Transmission im kurz-, mittel- und langwelligen Infrarot-Bereich und decken die bekannten IR-Bereiche 3 bis 5 µm und 8 bis 12 µm ab, aber auch bis hinab zu 0,7 µm. Anwendung finden sie u. a. in Nachtsichtgeräten, Wärmebildkameras und in der Medizintechnik.



RealView®

Glaswafer mit einer hohen Brechzahl
 Optisches Glas mit $n_d > 1,6$, hoher
 Transmission und hoher Homogenität
 für Augmented Reality Wellenleiter.
 Speziell entwickelte Gläser, mit einer
 Brechzahl von über 1,6 mit extremer
 Homogenität und hoher Transmission
 im VIS, für minimale Verluste bei der
 Lichtführung, bei maximalem Total-
 reflexionswinkel kombinieren. Wafer
 mit extremer geometrischer Präzision



bis zu einem Durchmesser von
 300 mm, mit geringer Abweichung
 der Gesamtdicke, lokaler Neigung
 und Rauheit für eine präzise Bild-
 wiedergabe.

OPTISCHE KOMPONENTEN



Optische Komponenten

Verschiedene Produkte für zahlreiche Anwendungen

SCHOTT Advanced Optics fertigt ein breites Sortiment an verschiedenen Komponententypen für Optik, Lithografie und Wissenschaft. Von der Materialentwicklung bis zur Endbearbeitung bieten wir alle Leistungen aus einer Hand. Kunden schätzen vor allem unsere Innovationsstärke, die einzigartige Produktqualität und unseren exzellenten Service.

Als endbearbeitete Produkte liefern wir unter anderem blankgepresste und polierte asphärische Linsen, Glasfilter sowie präzisionsbearbeitete Kompo-

nenten wie CNC-bearbeitete Gläser, planparallele Substrate und Wafer.

Detaillierte Informationen zu unserem umfassenden Angebot an optischen Komponenten finden Sie unter:

http://www.schott.com/advanced_optics/german/products/optical-components/lenses/aspherical-lenses/index.html



Asphärische Linsen

Asphären für hervorragende Bildqualität
Aufgrund ihrer einzigartigen Oberflächenstruktur vermeiden asphärische Linsen monochromatische Abbildungsfehler und ermöglichen damit eine hervorragende Bildqualität. Die Linsen werden als Ersatz von Baugruppen mit mehreren sphärischen Elementen eingesetzt und ermöglichen ein kompakteres Design.



Sphärische Linsen

Als Singulett, Dubletts und Tripletts
in verschiedenen Ausprägungen
Sphärische Linsen kommen in vielen verschiedenen Anwendungen zum Einsatz, wie z. B. in Kameras, Projektoren und Mikroskopen, zur Sammlung, Fokussierung und Streuung von Licht und sind oft Bestandteil von Linsensystemen mit achromatischer Funktion.



Zylinderlinsen

Große Auswahl an spezifischen Linsen
Zylinderlinsen verfügen über einen sphärischen Radius in einer Richtung und können daher das Licht in einer Achse fokussieren. Ein Lichtpunkt kann so zu einer einzelnen Linie gestreckt werden. Zylinderlinsen kommen in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz, wie z. B. beim Einscannen von Barcodes oder bei der Laserprojektion.



Prismen

Maßgeschneiderte Komponenten

Prismen sind transparente optische Elemente mit einer flach polierten Oberfläche, die Licht ablenken, reflektieren oder streuen. Sie können einfach in einem optischen System angeordnet werden, verfügen über hervorragende thermische Beständigkeit und ermöglichen eine totale interne Reflexion, um Lichtverlust auf dem optischen Pfad zu vermeiden.



Fenster & Substrate

Höchste Präzision aus verschiedenen Materialien

Substrate sind Materialien, die beschichtet werden können, um z. B. Interferenzfilter herzustellen. Fenster sind transparente, meist planparallel polierte und/oder beschichtete Komponenten, die für eine äußerst effiziente, verzerrungsfreie Licht- und perfekte Bildübertragung in optischen Systemen eingesetzt werden.



Beschichtung

Vielzahl von Beschichtungstypen

Konzeption und Umsetzung von kundenspezifischen Beschichtungen mit umfangreichen Fähigkeiten zum Auftragen von dünnen Schichten auf Glas und anderen Substraten für Spektralwellenlängen zwischen 200 nm und 3000 nm mit unterschiedlichen Technologien (z. B. Ionenunterstützte Ablagerung, IBS und Magnetron-Sputtern).



CNC-Bearbeitung

Präzise gefertigte Teile

Eine Vielzahl an Hochleistungsmaschinen bietet die Möglichkeit, nahezu jede erdenkliche Geometrie zu fertigen. Dadurch bieten sich unseren Kunden neue Freiheiten in der Gestaltung ihrer Produkte. Der SCHOTT eigene Bestand an optischen Rohmaterialien ermöglicht es darüber hinaus, schnell und kostengünstig zu fertigen.



Einfassungen

Fassen von Optiken

Kundenspezifische Bauteile (z. B. Positionierung, optische Zentrierung usw.) können in einer Reinraumumgebung zusammengesetzt werden. Darüber hinaus sind alle benötigten Messgeräte, einschließlich optischer 3D-Messung, Profilometern und Interferometern vorhanden.



Keramische Phosphor-Konverter Heller als die Sonne

Die lasergepumpte keramischen Konverter von SCHOTT bieten eine hohe Lumineszenz für gleichmäßig helle und klare Lichtquellen. Sie bestehen aus dotierten Keramiken und garantieren eine hohe Temperaturstabilität, hervorragende Wärmeleitfähigkeit, lange Lebensdauer und höchste Zuverlässigkeit. Sie sind ideal für eine Vielzahl von Anwendungen, von Projektoren bis hin zu Scheinwerfern.



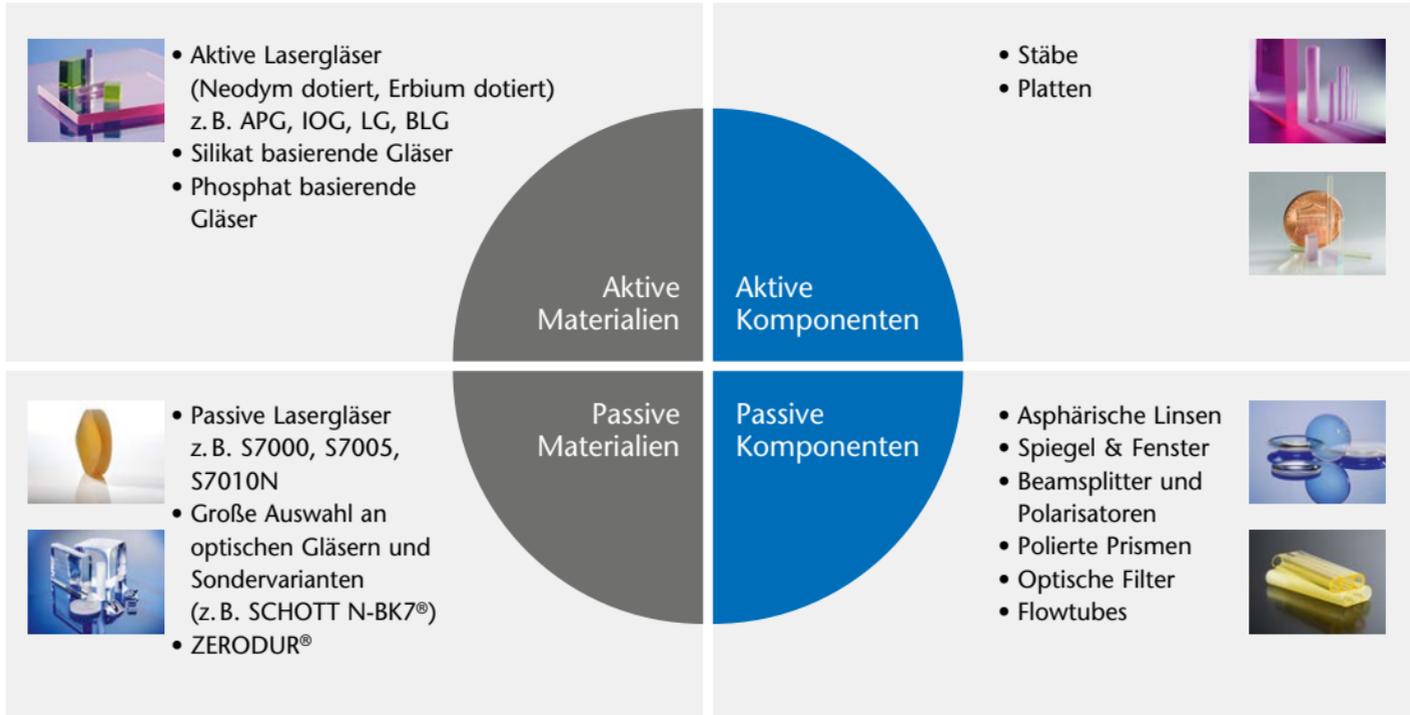
Aktive Gläser für Laser Anwendungen

SCHOTT bietet eine breite Palette an aktiven Gläsern für Hochleistungs- und Ultrakurzpulslaser sowie Laserentfernungsmesser und medizinische Anwendungen. Auf Wunsch können diese Gläser auf die speziellen Erfordernisse der Verwendung angepasst werden, z. B. Blitzlampen- oder Diodenpumpen. Die von SCHOTT entwickelte platinpartikelfreie Herstellmethode erlaubt es,

die phosphatbasierten Gläser bei hohen Energieflüssen ohne laserinduzierte Zerstörungen zu betreiben. Abmessungen mit bis zu 400 mm Aperturen und die Möglichkeit der Herstellung großer Mengen erlauben die Anwendung in Kernfusionsprogrammen; Laserstäbe mit großen Abmessungen und einer hohen optischen Qualität und Homogenität ermöglichen hohe Leistungen für Materialbearbeitungssysteme.



Die aktiven Gläser sind erhältlich als Stäbe, Platten oder Scheiben. AR- und HR-Beschichtungen mit hohem LIDT für Laserwellenlängen sind erhältlich. All diese Komponenten werden mit Oberflächengüten von bis zu $\lambda/10$ nach Kundenspezifikation gefertigt. In diesem Bereich bietet SCHOTT zusätzlich ein breites Portfolio an passiven Laserkomponenten an, wie z. B. Laserspiegel und -fenster.



OPTISCHE FILTER



Optisches Filterglas

Farbfilter für das komplette Spektrum SCHOTT Advanced Optics verfügt über eines der umfangreichsten Portfolios mit optischen Filtergläsern weltweit und kann somit die jeweils für Ihre Anforderungen am besten geeignete Lösung anbieten. Anwendungen sind in der Analytik, Fotografie, Medizintechnik und im Laserschutz zu finden.

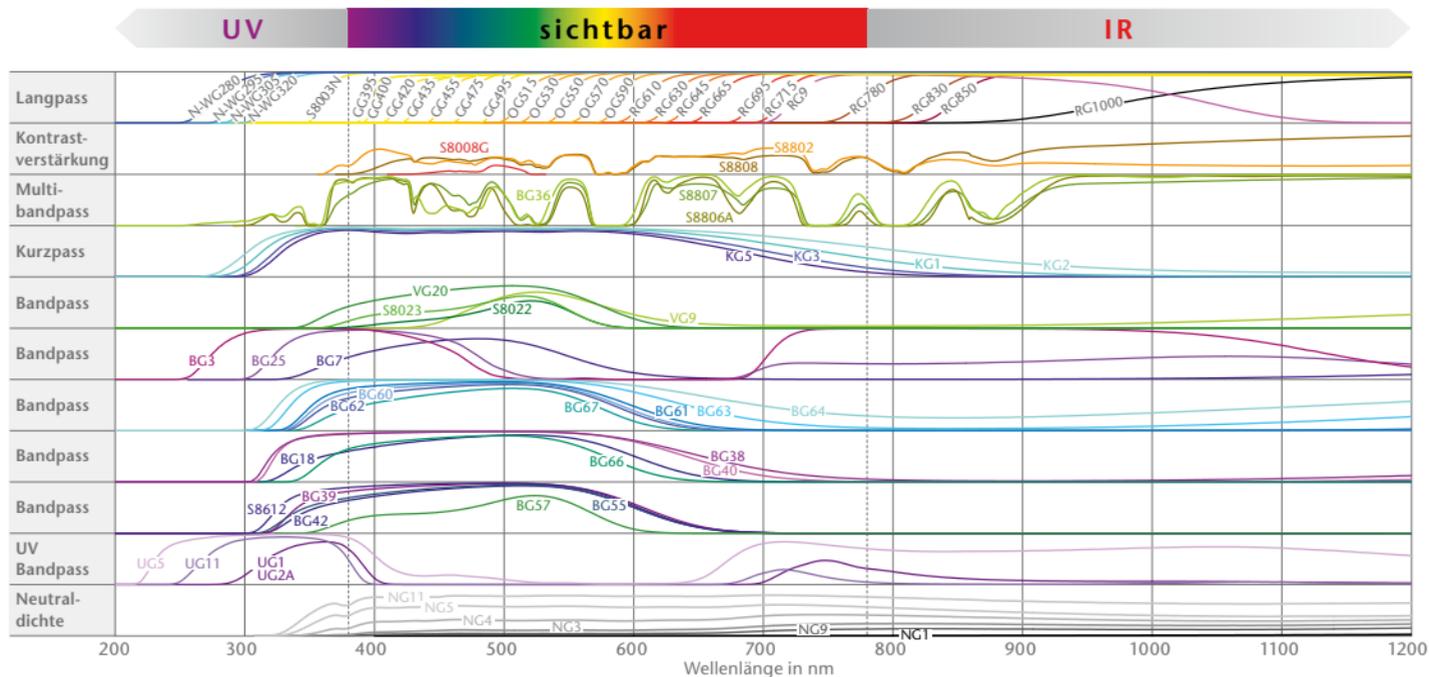
Optische Filtergläser zeichnen sich durch ihre selektive Absorption im sichtbaren Wellenlängenbereich aus. Dabei erscheinen optische Filtergläser farbig, wenn ihr Filtereffekt innerhalb des sichtbaren Lichtspektrums liegt.

Zahlreiche Farbstoffe mit unterschiedlichen Konzentrationen und viele verschiedene Basisgläser wurden entwickelt, um ein Produktsortiment an Filtern, teilweise mit extremen Filter-

eigenschaften, in einem möglichst großen Spektralbereich zu ermöglichen. Optische Filtergläser umfassen die folgenden Filtertypen im Wellenlängenbereich über 200 nm:

- Bandpassfilter
- Langpassfilter
- Kurzpassfilter
- Neutralfilter
- Kontrastverstärkungsfilter
- Multibandfilter
- Fotofilter

Reintransmission der SCHOTT Filtergläser





Interferenzfilter

Beschichtete Filter für den gesamten Spektralbereich

Interferenzfilter nutzen den optischen Interferenzeffekt, um eine spektrale Funktion zu ermöglichen. Sie werden hergestellt, indem mehrere dünne Schichten mit verschiedenen Brechungsindizes auf ein Substrat aufgebracht werden. Anwendung finden die Filter in der Medizintechnik, bei

Analysen in der Mess- und Umwelttechnik sowie in vielen weiteren Bereichen.

SCHOTT liefert unterschiedlichste Geometrien und Größen von Interferenzfiltern im Spektralbereich von 200 nm bis 3000 nm. Diese Produkte werden anhand von Kundenspezifikationen entwickelt, konzipiert und gefertigt. Interferenzfilter bieten eine hervorra-

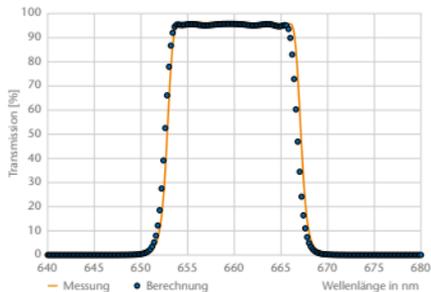
gende Witterungsbeständigkeit und extrem stabile spektrale Eigenschaften in Bezug auf Veränderungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

Unsere Produktpalette umfasst verschiedene Interferenzfilter-Typen: Bandpass-Filter, Kantenfilter, Notch-Filter, UV-Bandpassfilter, harte und abriebfeste Filter, i-Linien-Filter, variable lineare Veril-Filter, optimierte AR- und Breitband-AR-Beschichtung, Strahlteiler, Neutralfilter, Spiegel-Beschichtungen (dichroitisch oder metallisch) und schwarze Absorberschichten.

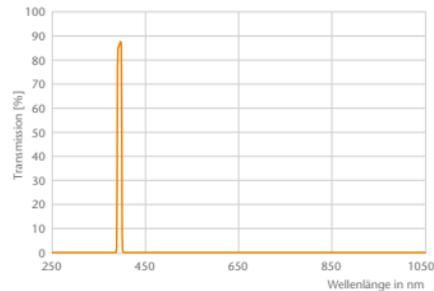
Die gesamte Prozesskette für Interferenzfilter aus einer Hand Kundenspezifische Entwürfe werden von einer Gruppe aus Wissenschaftlern und Ingenieuren berechnet. Die Substrate werden poliert und direkt in die Beschichtung weitergeleitet. Eine große Produktion im Reinraum mit verschiedenen Beschichtungstechnologien kann fast jede Anforderung abdecken. Unser komplexes Messtechnik-Equipment gewährleistet eine perfekte Qualitätskontrolle für jede Funktion des Filters.



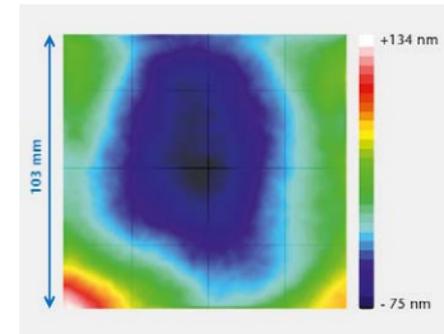
Perfekte Übereinstimmung zwischen Berechnung und Fertigung



Bandpassfilter mit breiter Blockung $T < 10^{-5}$



Geringe Wellenfrontdeformation



Änderungsverzeichnis – Teil II Optisches Glas – Eigenschaften

SCHOTT Advanced Optics ist bestrebt, seine Kunden durch die kontinuierliche Verbesserung des bestehenden Produktangebots und die Erweiterung seines Portfolios zu unterstützen. Wir halten es außerdem für wichtig, detaillierte Informationen zu den Eigenschaften unserer Gläser bereitzustellen, damit unsere Kunden ihre Aufgaben effektiver bewältigen können. Aus diesem Grund finden Sie in folgender Tabelle eine Aufstellung zu den relevanten Änderungen bei unseren optischen Gläsern und den Ergänzungen unseres Portfolios. Alle Änderungen sind ebenfalls im Teil II Optisches Glas – Eigenschaften bei den entsprechenden Gläsern blau markiert. Wenn Sie Fragen zu diesen Produkten haben, nehmen Sie bitte direkt Kontakt mit einem unserer Vertreter auf.

SF57, SF57HTultra, N-SF6HT, N-SF6HTultra	$T_{10}^{7,6}$ geändert
N-LAK14	Farbcode geändert
SF2	Verfügbar in Stufe 0,5
N-ZK7	Nicht in Stufe 1/1 verfügbar
N-KZFS11	Nur auf Anfrage in Prismenform verfügbar
N-ZK7	Wird ab 01/2024 ein Anfrageglas
LASF35	Wird ab 01/2023 ein Anfrageglas
LAFN7	Wird ab 01/2023 ein Anfrageglas

Optisches Glas 2020

Eigenschaften

Glasart	n_d	v_d	$n_F - n_C$	n_e	v_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-FK58** 456909.365	1,45600	90,90	0,005017	1,45720	90,47	0,005053	1,45358	1,45446	1,45976	1,46216	1,46436
N-FK5* 487704.245	1,48749	70,41	0,006924	1,48914	70,23	0,006965	1,48410	1,48535	1,49266	1,49593	1,49894
N-FK51A* 487845.368	1,48656	84,47	0,005760	1,48794	84,07	0,005804	1,48379	1,48480	1,49088	1,49364	1,49618
N-PK51* 529770.386	1,52855	76,98	0,006867	1,53019	76,58	0,006923	1,52527	1,52646	1,53372	1,53704	1,54010
N-PK52A 497816.370	1,49700	81,61	0,006090	1,49845	81,21	0,006138	1,49408	1,49514	1,50157	1,50450	1,50720
N-PSK3 552635.291	1,55232	63,46	0,008704	1,55440	63,23	0,008767	1,54811	1,54965	1,55885	1,56302	1,56688
N-PSK53A* 618634.357	1,61800	63,39	0,009749	1,62033	63,10	0,009831	1,61334	1,61503	1,62534	1,63007	1,63445

* Verfügbar in Stufe 0,5 ** SCHOTT XLD Glas (eXtreme Low Dispersion)

Glasart	n_d	v_d	$n_F - n_C$	n_e	v_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
SCHOTT N-BK7®** 517642.251	1,51680	64,17	0,008054	1,51872	63,96	0,008110	1,51289	1,51432	1,52283	1,52668	1,53024
N-BK7HT* 517642.251	1,51680	64,17	0,008054	1,51872	63,96	0,008110	1,51289	1,51432	1,52283	1,52668	1,53024
N-BK10 498670.239	1,49782	66,95	0,007435	1,49960	66,78	0,007481	1,49419	1,49552	1,50337	1,50690	1,51014
N-K5 522595.259	1,52249	59,48	0,008784	1,52458	59,22	0,008858	1,51829	1,51982	1,52910	1,53338	1,53734
K7 511604.253	1,51112	60,41	0,008461	1,51314	60,15	0,008531	1,50707	1,50854	1,51748	1,52159	1,52540
K10 501564.252	1,50137	56,41	0,008888	1,50349	56,15	0,008967	1,49713	1,49867	1,50807	1,51243	1,51649
N-ZK7**i 508612.249	1,50847	61,19	0,008310	1,51045	60,98	0,008370	1,50445	1,50592	1,51470	1,51869	1,52238
N-ZK7A 508610.247	1,50805	61,04	0,008323	1,51004	60,84	0,008384	1,50403	1,50550	1,51429	1,51829	1,52198

* Verfügbar in Stufe 0,5 ** Nicht verfügbar in Stufe 1/1; für Bei Konstruktionen mit engen Toleranzen wird N-ZK7A empfohlen

i Wird ab 01/2024 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5349	-0,0009	1	0	1	2.3	2.3	7,1	557	719	2,51	610	0,997	0,997	33/29
0,5349	-0,0009	1	0	1	2.3	2.3	7,1	557	719	2,51	610	0,998	0,998	33/29
0,5303	-0,0008	1	0	1	1	1	5,8	551	753	2,39	560	0,996	0,996	31/27
0,5438	0,0000	1	0	1	1	1	8,2	546	720	2,59	530	0,995	0,996	34/30
0,5422	0,0000	3	0	2	1	2.3	8,4	513	712	2,53	520	0,996	0,996	33/30
0,5475	-0,0015	1	0	1	1	1.2	6,5	459	691	2,52	470	0,994	0,995	33/30
0,5370	-0,0039	1	0	2	1.2	2.2	4,5	539	721	2,49	530	0,990	0,992	34/29
0,5368	-0,0043	1	0	2	1.2	2.2	4,61	519	729	2,47	530	0,990	0,992	34/29

BK
K
ZK

Glasart	n_d	v_d	$n_F - n_C$	n_e	v_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-BAK1 573576.319	1,57250	57,55	0,009948	1,57487	57,27	0,010039	1,56778	1,56949	1,58000	1,58488	1,58941
N-BAK2 540597.286	1,53996	59,71	0,009043	1,54212	59,44	0,009120	1,53564	1,53721	1,54677	1,55117	1,55525
N-BAK4 569560.305	1,56883	55,98	0,010162	1,57125	55,70	0,010255	1,56400	1,56575	1,57649	1,58149	1,58614
N-BAK4HT 569560.305	1,56883	55,98	0,010162	1,57125	55,70	0,010255	1,56400	1,56575	1,57649	1,58149	1,58614
N-SK2* 607567.355	1,60738	56,65	0,010722	1,60994	56,37	0,010821	1,60230	1,60414	1,61547	1,62073	1,62562
N-SK2HT 607567.355	1,60738	56,65	0,010722	1,60994	56,37	0,010821	1,60230	1,60414	1,61547	1,62073	1,62562
N-SK4 613586.354	1,61272	58,63	0,010450	1,61521	58,37	0,010541	1,60774	1,60954	1,62059	1,62568	1,63042
N-SK5 589613.330	1,58913	61,27	0,009616	1,59142	61,02	0,009692	1,58451	1,58619	1,59635	1,60100	1,60530
N-SK11 564608.308	1,56384	60,80	0,009274	1,56605	60,55	0,009349	1,55939	1,56101	1,57081	1,57530	1,57946
N-SK14 603606.344	1,60311	60,60	0,009953	1,60548	60,34	0,010034	1,59834	1,60008	1,61059	1,61542	1,61988

* Verfügbar in Stufe 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5472	0,0002	2	1	3.3	1.2	2	7,6	592	746	3,19	530	0,996	0,996	33/29
0,5437	0,0004	2	0	1	1	2.3	8,0	554	727	2,86	530	0,997	0,997	32/28
0,5487	-0,0010	1	0	1.2	1	1	7,0	581	725	3,05	550	0,992	0,995	36/33
0,5487	-0,0010	1	0	1.2	1	1	7,0	581	725	3,05	550	0,993	0,996	36/33
0,5477	-0,0008	2	0	2.2	1	2.3	6,0	659	823	3,55	550	0,994	0,994	33/28
0,5477	-0,0008	2	0	2.2	1	2.3	6,0	659	823	3,55	550	0,996	0,997	33/28
0,5448	-0,0004	3	1	51.2	2	2	6,5	658	769	3,54	580	0,990	0,993	36/32
0,5400	-0,0007	3	1	4.4	2	1.3	5,5	660	791	3,30	590	0,992	0,994	34/29
0,5411	-0,0004	2	0	2	1	2.3	6,5	610	760	3,08	570	0,990	0,994	34/29
0,5415	-0,0003	4	2	51.3	2	2.3	6,0	649	773	3,44	600	0,990	0,993	35/29

BAK
SK

Glasant	n_d	V_d	$n_F - n_C$	n_e	V_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-KF9 523515.250	1,52346	51,54	0,010156	1,52588	51,26	0,010258	1,51867	1,52040	1,53114	1,53620	1,54096
N-BALF4 580539.311	1,57956	53,87	0,010759	1,58212	53,59	0,010863	1,57447	1,57631	1,58769	1,59301	1,59799
N-BALF5 547536.261	1,54739	53,63	0,010207	1,54982	53,36	0,010303	1,54255	1,54430	1,55510	1,56016	1,56491
N-SSK2 622533.353	1,62229	53,27	0,011681	1,62508	52,99	0,011795	1,61678	1,61877	1,63112	1,63691	1,64232
N-SSK5 658509.371	1,65844	50,88	0,012940	1,66152	50,59	0,013075	1,65237	1,65455	1,66824	1,67471	1,68079
N-SSK8 618498.327	1,61773	49,83	0,012397	1,62068	49,54	0,012529	1,61192	1,61401	1,62713	1,63335	1,63923
N-LAK7 652585.384	1,65160	58,52	0,011135	1,65425	58,26	0,011229	1,64628	1,64821	1,65998	1,66539	1,67042
N-LAK8 713538.375	1,71300	53,83	0,013245	1,71616	53,61	0,013359	1,70668	1,70897	1,72297	1,72944	1,73545

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5558	-0,0014	1	0	1	1	1	9,6	476	640	2,50	480	0,986	0,994	37/34
0,5520	-0,0012	1	0	1	1	1	6,5	578	661	3,11	540	0,985	0,992	37/33
0,5532	-0,0004	1	0	1	2	1	7,3	558	711	2,61	600	0,983	0,991	37/34
0,5526	-0,0016	1	0	1.2	1	1	5,8	653	801	3,53	570	0,981	0,990	37/33
0,5575	-0,0007	2	3	52.2	2.2	3.2	6,8	645	751	3,71	590	0,959	0,976	38/34
0,5602	0,0002	1	0	1	1.3	1	7,2	616	742	3,27	570	0,950	0,975	39/35
0,5433	-0,0021	3	2	53.3	3.3	4.3	7,1	618	716	3,84	600	0,988	0,991	35/29
0,5450	-0,0083	3	2	52.3	1	3.3	5,6	643	717	3,75	740	0,977	0,988	37/30

KF
BALF
SSK
LAK

Glasart	n_d	v_d	$n_F - n_C$	n_e	v_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-LAK9* 691547.351	1,69100	54,71	0,012631	1,69401	54,48	0,012738	1,68497	1,68716	1,70051	1,70667	1,71239
N-LAK10 720506.369	1,72003	50,62	0,014224	1,72341	50,39	0,014357	1,71328	1,71572	1,73077	1,73779	1,74438
N-LAK12 678552.410	1,67790	55,20	0,012281	1,68083	54,92	0,012396	1,67209	1,67419	1,68717	1,69320	1,69882
N-LAK14 697554.363	1,69680	55,41	0,012575	1,69980	55,19	0,012679	1,69077	1,69297	1,70626	1,71237	1,71804
N-LAK21 640601.374	1,64049	60,10	0,010657	1,64304	59,86	0,010743	1,63538	1,63724	1,64850	1,65366	1,65844
N-LAK22 651559.377	1,65113	55,89	0,011650	1,65391	55,63	0,011755	1,64560	1,64760	1,65992	1,66562	1,67092
N-LAK33B 755523.422	1,75500	52,30	0,014436	1,75844	52,07	0,014566	1,74814	1,75062	1,76589	1,77296	1,77954
N-LAK34 729545.402	1,72916	54,50	0,013379	1,73235	54,27	0,013493	1,72277	1,72509	1,73923	1,74575	1,75180

* Verfügbar in Stufe 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5660	-0,0009	1	0	1	2	1	8,1	431	628	2,94	450	0,997	0,998	33/31
0,5733	0,0030	1	0	1	1.2	1.3	7,2	580	709	2,89	610	0,946	0,976	39/35
0,5629	-0,0016	1	0	4.3	1.3	1	6,2	660	790	3,75	620	0,950	0,976	39/35
0,5670	-0,0012	2	0	5.4	1.3	1	8,4	569	712	3,33	560	0,954	0,976	39/34
0,5678	0,0024	1	0	1	1.3	1	6,9	594	716	3,05	600	0,950	0,975	39/35

LLF
BAF

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5748	-0,0003	2	0	1	2.3	2	9,1	419	585	3,22	450	0,997	0,997	34/31
0,5881	0,0056	1	0	1	1	1	7,8	569	686	2,65	600	0,946	0,980	39/36
0,5828	0,0002	1	0	1	2.3	1.3	8,2	434	594	3,60	420	0,994	0,996	35/32
0,5828	0,0002	1	0	1	2.3	1.3	8,2	434	594	3,60	420	0,996	0,997	35/32
0,5795	-0,0003	1	0	1	2.3	2	8,0	438	608	3,47	450	0,993	0,995	35/32
0,5890	0,0057	1	0	1	1	1	7,1	619	766	3,15	580	0,891	0,954	41/36
0,5769	-0,0006	1	0	3.2	1.2	1	7,3	582	712	3,20	650	0,924	0,950	40/35

Glasart	n_d	v_d	$n_F - n_C$	n_e	v_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-LAF2 744449.430	1,74397	44,85	0,016588	1,74791	44,57	0,016780	1,73627	1,73903	1,75659	1,76500	1,77298
N-LAF7 750348.373	1,74950	34,82	0,021525	1,75459	34,56	0,021833	1,73972	1,74320	1,76602	1,77741	1,78854
LAFN7 ⁱ 750350.438	1,74950	34,95	0,021445	1,75458	34,72	0,021735	1,73970	1,74319	1,76592	1,77713	1,78798
N-LAF21 788475.428	1,78800	47,49	0,016593	1,79195	47,25	0,016761	1,78019	1,78301	1,80056	1,80882	1,81657
N-LAF33 786441.436	1,78582	44,05	0,017839	1,79007	43,80	0,018038	1,77751	1,78049	1,79937	1,80837	1,81687
N-LAF34 773496.424	1,77250	49,62	0,015568	1,77621	49,38	0,015719	1,76515	1,76780	1,78427	1,79196	1,79915
N-LAF35 ⁱ 743494.412	1,74330	49,40	0,015047	1,74688	49,16	0,015194	1,73620	1,73876	1,75467	1,76212	1,76908

ⁱ Wird ab 01/2023 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

Glasart	n_d	v_d	$n_F - n_C$	n_e	v_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-LASF9 850322.441	1,85025	32,17	0,026430	1,85650	31,93	0,026827	1,83834	1,84255	1,87058	1,88467	1,89845
N-LASF9HT ⁱ 850322.441	1,85025	32,17	0,026430	1,85650	31,93	0,026827	1,83834	1,84255	1,87058	1,88467	1,89845
N-LASF31A 883408.551	1,88300	40,76	0,021663	1,88815	40,52	0,021921	1,87298	1,87656	1,89950	1,91050	1,92093
LASF35 ⁱⁱ 022291.541	2,02204	29,06	0,035170	2,03035	28,84	0,035721	2,00628	2,01185	2,04916	2,06805	2,08663
N-LASF40 834373.443	1,83404	37,30	0,022363	1,83935	37,04	0,022658	1,82380	1,82745	1,85114	1,86275	1,87393
N-LASF41 835431.485	1,83501	43,13	0,019361	1,83961	42,88	0,019578	1,82599	1,82923	1,84972	1,85949	1,86872
N-LASF43 806406.426	1,80610	40,61	0,019850	1,81081	40,36	0,020089	1,79691	1,80020	1,82122	1,83137	1,84106
N-LASF44* 804465.444	1,80420	46,50	0,017294	1,80832	46,25	0,017476	1,79609	1,79901	1,81731	1,82594	1,83405
N-LASF45 801350.363	1,80107	34,97	0,022905	1,80650	34,72	0,023227	1,79066	1,79436	1,81864	1,83068	1,84237
N-LASF45HT ⁱ 801350.363	1,80107	34,97	0,022905	1,80650	34,72	0,023227	1,79066	1,79436	1,81864	1,83068	1,84237
N-LASF46A ⁱ 904313.445	1,90366	31,32	0,028853	1,91048	31,09	0,029287	1,89064	1,89526	1,92586	1,94129	1,95645

* Verfügbar in Stufe 0,5 ⁱ Wird ab 01/2022 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

ⁱⁱ Wird ab 01/2023 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5934	0,0037	1	0	2	1	1	7,4	683	817	4,41	515	0,799	0,901	41/36*
0,5934	0,0037	1	0	2	1	1	7,4	683	817	4,41	515	0,843	0,915	40/36*
0,5667	-0,0085	1	0	2.3	1	1	6,7	719	830	5,51	650	0,933	0,960	38/33*
0,5982	0,0033	1	0	1.3	1	1.3	7,4	774		5,41	810	0,634	0,787	45/37*
0,5786	-0,0024	1	1	51.2	1	1.3	5,8	590	677	4,43	580	0,891	0,937	39/35*
0,5629	-0,0083	1	1	4	1	1	6,2	651	739	4,85	760	0,948	0,967	37/32*
0,5703	-0,0052	1	1	51.3	1	2	5,5	614	699	4,26	720	0,919	0,954	42/34
0,5572	-0,0084	1	1	4	1	1	6,2	655	742	4,44	770	0,963	0,980	40/31
0,5859	0,0009	1	0	3.2	1	1	7,4	647	773	3,63	630	0,857	0,924	44/35
0,5859	0,0009	1	0	3.2	1	1	7,4	647	773	3,63	630	0,886	0,941	43/35
0,5953	0,0042	1	0	3	1	1	6,0	638	733	4,45	666	0,815	0,905	41/37*

* Wellenlängen bei Transmission 0,7 und 0,05

Glasart	n_d	v_d	n_F - n_C	n_e	v_e	n_{F'} - n_{C'}	n_r	n_C	n_{F'}	n_g	n_h
N-SF1 717296.303	1,71736	29,62	0,024219	1,72308	29,39	0,024606	1,70651	1,71035	1,73605	1,74919	1,76224
N-SF2 648338.272	1,64769	33,82	0,019151	1,65222	33,56	0,019435	1,63902	1,64210	1,66241	1,67265	1,68273
N-SF4 755274.315	1,75513	27,38	0,027583	1,76164	27,16	0,028044	1,74286	1,74719	1,77647	1,79158	1,80668
N-SF5* 673323.286	1,67271	32,25	0,020858	1,67763	32,00	0,021177	1,66330	1,66664	1,68876	1,69998	1,71106
N-SF6 805254.337	1,80518	25,36	0,031750	1,81266	25,16	0,032304	1,79114	1,79608	1,82980	1,84738	1,86506
N-SF6HT 805254.337	1,80518	25,36	0,031750	1,81266	25,16	0,032304	1,79114	1,79608	1,82980	1,84738	1,86506
N-SF6HTultra 805254.337	1,80518	25,36	0,031750	1,81266	25,16	0,032304	1,79114	1,79608	1,82980	1,84738	1,86506
N-SF8 689313.290	1,68894	31,31	0,022005	1,69413	31,06	0,022346	1,67904	1,68254	1,70589	1,71775	1,72948
N-SF10 728285.305	1,72828	28,53	0,025524	1,73430	28,31	0,025941	1,71688	1,72091	1,74800	1,76191	1,77578
N-SF11 785257.322	1,78472	25,68	0,030558	1,79192	25,47	0,031088	1,77119	1,77596	1,80841	1,82533	1,84235
N-SF14 762265.312	1,76182	26,53	0,028715	1,76859	26,32	0,029204	1,74907	1,75356	1,78405	1,79986	1,81570

* Verfügbar in Stufe 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,6037	0,0097	1	0	1	1	1	9,1	553	660	3,03	540	0,867	0,946	41/36
0,5950	0,0081	1	0	1	1.2	1	6,7	608	731	2,72	539	0,928	0,970	40/36
0,6096	0,0118	1	0	1.3	1	1	9,5	570	661	3,15	520	0,830	0,916	43/36
0,5984	0,0088	1	0	1	1	1	7,9	578	693	2,86	620	0,905	0,963	40/36
0,6158	0,0146	1	0	2	1	1	9,0	589	669	3,37	550	0,821	0,919	44/37
0,6158	0,0146	1	0	2	1	1	9,0	589	669	3,37	550	0,877	0,937	44/37
0,6158	0,0146	1	0	2	1	1	9,0	589	669	3,37	550	0,887	0,945	43/37
0,5999	0,0087	1	0	1	1	1	8,6	567	678	2,90	600	0,901	0,950	41/36
0,6066	0,0108	1	0	1	1	1	9,4	559	652	3,05	540	0,837	0,924	42/36
0,6156	0,0150	1	0	1	1	1	8,5	592	688	3,22	615	0,815	0,919	44/37
0,6122	0,0130	1	0	1	1	1	9,4	566	657	3,12	515	0,891	0,946	42/36

SF

Glasart	n_d	v_d	n_F - n_C	n_e	v_e	n_{F'} - n_{C'}	n_r	n_C	n_{F'}	n_g	n_h
N-SF15 699302.292	1,69892	30,20	0,023142	1,70438	29,96	0,023511	1,68854	1,69222	1,71677	1,72933	1,74182
N-SF57 847238.353	1,84666	23,78	0,035604	1,85504	23,59	0,036247	1,83099	1,83650	1,87432	1,89423	1,91440
N-SF57HT 847238.353	1,84666	23,78	0,035604	1,85504	23,59	0,036247	1,83099	1,83650	1,87432	1,89423	1,91440
N-SF57HTultra 847238.353	1,84666	23,78	0,035604	1,85504	23,59	0,036247	1,83099	1,83650	1,87432	1,89423	1,91440
N-SF66 923209.400	1,92286	20,88	0,044199	1,93322	20,70	0,045076	1,90368	1,91039	1,95739	1,98285	
SF1 717295.446	1,71736	29,51	0,024307	1,72310	29,29	0,024687	1,70647	1,71031	1,73610	1,74916	1,76201
SF2* 648339.386	1,64769	33,85	0,019135	1,65222	33,60	0,019412	1,63902	1,64210	1,66238	1,67249	1,68233
SF4 755276.479	1,75520	27,58	0,027383	1,76167	27,37	0,027829	1,74300	1,74730	1,77636	1,79121	1,80589
SF5 673322.407	1,67270	32,21	0,020885	1,67764	31,97	0,021195	1,66327	1,66661	1,68876	1,69986	1,71069
SF6 805254.518	1,80518	25,43	0,031660	1,81265	25,24	0,032201	1,79117	1,79609	1,82970	1,84707	1,86436
SF6HT 805254.518	1,80518	25,43	0,031660	1,81265	25,24	0,032201	1,79117	1,79609	1,82970	1,84707	1,86436

* Verfügbar in Stufe 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,6038	0,0108	1	0	1	1	1	8,0	580	692	2,92	610	0,857	0,941	42/37
0,6216	0,0178	1	0	1	1	1	8,5	629	716	3,53	520	0,733	0,872	42/37*
0,6216	0,0178	1	0	1	1	1	8,5	629	716	3,53	520	0,793	0,896	41/37*
0,6216	0,0178	1	0	1	1	1	8,5	629	716	3,53	520	0,830	0,917	40/37*
0,6394	0,0307	1	0	1	1	1	5,9	710	806	4,00	440	0,504	0,758	45/39*
0,5983	0,0042	2	1	3.2	2.3	3	8,1	417	566	4,46	390	0,967	0,984	39/34
0,5886	0,0017	1	0	2	2.3	2	8,4	441	600	3,86	410	0,981	0,990	37/33
0,6036	0,0062	1	2	4.3	2.3	3.3	8,0	420	552	4,79	390	0,954	0,980	40/35
0,5919	0,0023	1	1	2	2.3	3	8,2	425	580	4,07	410	0,980	0,989	37/33
0,6102	0,0092	2	3	51.3	2.3	3.3	8,1	423	538	5,18	370	0,915	0,967	42/36
0,6102	0,0092	2	3	51.3	2.3	3.3	8,1	423	538	5,18	370	0,941	0,977	41/36

* Wellenlängen bei Transmission 0,7 und 0,05

Glasart	n_d	v_d	n_F - n_C	n_e	v_e	n_{F'} - n_{C'}	n_r	n_C	n_{F'}	n_g	n_h
SF10 728284.428	1,72825	28,41	0,025633	1,73430	28,19	0,026051	1,71681	1,72085	1,74805	1,76198	1,77579
SF11 785258.474	1,78472	25,76	0,030467	1,79190	25,55	0,030997	1,77125	1,77599	1,80834	1,82518	1,84208
SF56A 785261.492	1,78470	26,08	0,030092	1,79180	25,87	0,030603	1,77136	1,77605	1,80800	1,82449	1,84092
SF57 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366
SF57HTultra* 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366

* Verfügbar in Stufe 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,6046	0,0085	1	0	1	1.2	2	7,5	454	595	4,28	430	0,862	0,967	41/37
0,6147	0,0142	1	0	1	1.2	1	6,1	503	635	4,74	450	0,525	0,867	44/39
0,6098	0,0098	1	1	3.2	2.2	3.2	7,9	429	556	4,92	380	0,857	0,959	42/37
0,6160	0,0123	2	5	52.3	2.3	4.3	8,3	414	507	5,51	350	0,847	0,941	40/37*
0,6160	0,0123	2	5	52.3	2.3	4.3	8,3	414	507	5,51	350	0,924	0,971	39/36*

* Wellenlängen bei Transmission 0,7 und 0,05

Glasart	n_d	v_d	$n_F - n_C$	n_e	v_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-KZFS2* 558540.255	1,55836	54,01	0,010338	1,56082	53,83	0,010418	1,55337	1,55519	1,56612	1,57114	1,57580
N-KZFS4* 613445.300	1,61336	44,49	0,013785	1,61664	44,27	0,013929	1,60688	1,60922	1,62380	1,63071	1,63723
N-KZFS4HT ⁱ 613445.300	1,61336	44,49	0,013785	1,61664	44,27	0,013929	1,60688	1,60922	1,62380	1,63071	1,63723
N-KZFS5* 654397.304	1,65412	39,70	0,016477	1,65803	39,46	0,016675	1,64649	1,64922	1,66667	1,67511	1,68318
N-KZFS8* 720347.320	1,72047	34,70	0,020763	1,72539	34,47	0,021046	1,71099	1,71437	1,73637	1,74724	1,75777
N-KZFS11** 638424.320	1,63775	42,41	0,015038	1,64132	42,20	0,015198	1,63069	1,63324	1,64915	1,65670	1,66385

* Verfügbar in Stufe 0,5 ⁱ Wird ab 01/2022 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

** Nur auf Anfrage als Prisma verfügbar

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5419	-0,0111	1	4	52.3	4.3	4.2	4,4	482	600	2,54	490	0,985	0,990	34/30
0,5590	-0,0100	1	1	3.4	1.2	1	7,3	536	664	3,00	520	0,979	0,984	36/32
0,5590	-0,0100	1	1	3.4	1.2	1	7,3	536	664	3,00	520	0,985	0,988	36/32
0,5710	-0,0060	1	0	1	1	1	6,4	584	739	3,04	555	0,976	0,983	37/32
0,5833	-0,0021	1	0	1	1	1	7,8	509	635	3,20	570	0,963	0,976	38/33
0,5605	-0,0120	1	1	3.4	1	1	6,6	551		3,20	530	0,987	0,990	36/30

Gläser zum Präzisionsblankpressen

Glasart	n_d	V_d	$n_F - n_C$	n_e	V_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
P-BK7 ⁱ 516641.243	1,51640	64,06	0,008061	1,51832	63,87	0,008115	1,51248	1,51392	1,52243	1,52628	1,52982
P-SK57Q1 ⁱ 586595.301	1,58600	59,50	0,009849	1,58835	59,26	0,009928	1,58127	1,58299	1,59340	1,59817	1,60260
P-SK57 587596.301	1,58700	59,60	0,009849	1,58935	59,36	0,009928	1,58227	1,58399	1,59440	1,59917	1,60359
P-SK58A ⁱ 589612.297	1,58913	61,15	0,009634	1,59143	60,93	0,009707	1,58449	1,58618	1,59636	1,60100	1,60530
P-SK60 610579.308	1,61035	57,90	0,010541	1,61286	57,66	0,010628	1,60530	1,60714	1,61828	1,62340	1,62815
P-SF8 ⁱ 689313.290	1,68893	31,25	0,022046	1,69414	31,01	0,022386	1,67901	1,68252	1,70591	1,71778	1,72950
P-LAK35 693532.385	1,69350	53,20	0,013036	1,69661	52,95	0,013156	1,68732	1,68955	1,70334	1,70974	1,71569
P-SF69 723292.293	1,72250	29,23	0,024718	1,72883	29,00	0,025116	1,71144	1,71535	1,74158	1,75502	1,76840
P-LAF37 755457.399	1,75550	45,66	0,016546	1,75944	45,42	0,016722	1,74775	1,75054	1,76804	1,77633	1,78414
P-LASF47 806409.454	1,80610	40,90	0,019709	1,81078	40,66	0,019941	1,79696	1,80023	1,82110	1,83112	1,84064

ⁱ Wird ab 01/2022 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	n_d ref.*1	After Molding*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T_g	AT	ρ	HK	Abrasion Aa	τ_i (10/400)	FC
			n_d	V_d											
0,5335	-0,0025	1,51576	1,5144	63,9	1	4	6,0	7,3	498	546	2,43	627	66	0,997	33/30
0,5414	-0,0024	1,58496	1,5833	59,4	4	1	7,2	8,9	493	522	3,01	535	124	0,994	34/31
0,5412	-0,0024	1,58596	1,5843	59,4	4	1	7,2	8,9	493	522	3,01	535	124	0,994	34/31
0,5386	-0,0023	1,58795	1,5860	60,8	4	2	6,8	8,4	510	551	2,97	662	102	0,994	35/31
0,5427	-0,0037	1,60918	1,6068	57,7	4	3	7,1	8,9	507	547	3,08	601	86	0,997	33/29
0,5991	0,0079	1,68623	1,6814	31,7	1	1	9,4	11,1	524	580	2,90	533	200	0,924	40/36
0,5482	-0,0061	1,69234	1,6904	53,0	4	3	8,1	9,7	508	544	3,85	616	119	0,988	36/29
0,6050	0,0104	1,72006	1,7155	29,7	1	1	9,0	11,1	508	547	2,93	612	142	0,915	41/36
0,5590	-0,0080	1,75396	1,7508	45,5	4	1	6,3	7,8	506	546	3,99	697	67	0,980	37/31
0,5671	-0,0079	1,80449	1,8016	40,8	3	1	6,0	7,3	530	580	4,54	620	70	0,967	39/33

Low T_g *1 n_d Referenzwert (Kühlrate 25 K/h) *2 SCHOTT spezifischer Pressprozess; für weitere Informationen bitte an SCHOTT wenden

Glasart	n_d	V_d	$n_F - n_C$	n_e	V_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
P-LASF50ⁱ 809405.454	1,80860	40,46	0,019985	1,81335	40,22	0,020223	1,79934	1,80266	1,82382	1,83399	1,84367
P-LASF51ⁱ 810409.458	1,81000	40,93	0,019792	1,81470	40,68	0,020025	1,80082	1,80411	1,82506	1,83512	1,84467
P-SF68 005210.619	2,00520	21,00	0,047867	2,01643	20,82	0,048826	1,98449	1,99171	2,04262	2,07018	
N-FK51A 487845.368	1,48656	84,47	0,005760	1,48794	84,07	0,005804	1,48379	1,48480	1,49088	1,49364	1,49618
N-FK5 487704.245	1,48749	70,41	0,006924	1,48914	70,23	0,006965	1,48410	1,48535	1,49266	1,49593	1,49894
N-PK52A 497816.370	1,49700	81,61	0,006090	1,49845	81,21	0,006138	1,49408	1,49514	1,50157	1,50450	1,50720
N-PK51 529770.386	1,52855	76,98	0,006867	1,53019	76,58	0,006923	1,52527	1,52646	1,53372	1,53704	1,54010
N-KZF52 558540.255	1,55836	54,01	0,010338	1,56082	53,83	0,010418	1,55337	1,55519	1,56612	1,57114	1,57580
N-KZF54 613445.300	1,61336	44,49	0,013785	1,61664	44,27	0,013929	1,60688	1,60922	1,62380	1,63071	1,63723

ⁱ Wird ab 01/2022 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

P _{g,F}	ΔP _{g,F}	n _d ref.*1	After Molding*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T _g	AT	ρ	HK	Abrasion Aa	τ _i (10/400)	FC
			n _d	v _d											
0,5680	-0,0078	1,80699	1,8036	40,3			5,9	7,3	527	571	4,54	655	62	0,967	39/32
0,5670	-0,0080	1,80842	1,8055	40,8	3	1	6,0	7,4	526	570	4,58	722	66	0,967	39/33
0,6392	0,0308	2,00365	1,9958	20,9	4	1	8,4	9,7	428	468	6,19	404	298	0,007	49/41*
0,5359	0,0342	1,48597	1,4847	84,2	3	1	12,7	14,8	464	503	3,68	345	528	0,997	34/28
0,5290	0,0036	1,48666	1,485	70,2	5	4	9,2	10,0	466	557	2,45	520	109	0,998	30/27
0,5377	0,0311	1,49640	1,4952	81,3	4	1	13,0	15,0	467	520	3,70	355	526	0,997	34/28
0,5401	0,0258	1,52784	1,5267	76,7	3	1	12,4	14,1	487	528	3,86	415	592	0,994	34/29
0,5419	-0,0111	1,55666	1,5534	53,7	6	6	4,4	5,4	472	533	2,54	490	70	0,985	34/30
0,5590	-0,0100	1,61227	1,6100	44,5	6	4	7,3	8,2	536	597	3,00	520	130	0,979	36/32

*1 n_d Referenzwert (Kühlrate 25 K/h) *2 SCHOTT spezifischer Pressprozess; für weitere Informationen bitte an SCHOTT wenden

* Wellenlängen bei Transmission 0,7 und 0,05

Glasart	n_d	V_d	$n_F - n_C$	n_e	V_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-KZFS4HT ⁱ 613445.300	1,61336	44,49	0,013785	1,61664	44,27	0,013929	1,60688	1,60922	1,62380	1,63071	1,63723
N-KZFS11** 638424.320	1,63775	42,41	0,015038	1,64132	42,20	0,015198	1,63069	1,63324	1,64915	1,65670	1,66385
N-KZFS5 654397.304	1,65412	39,70	0,016477	1,65803	39,46	0,016675	1,64649	1,64922	1,66667	1,67511	1,68318
N-KZFS8 720347.320	1,72047	34,70	0,020763	1,72539	34,47	0,021046	1,71099	1,71437	1,73637	1,74724	1,75777
N-LAF33 786441.436	1,78582	44,05	0,017839	1,79007	43,80	0,018038	1,77751	1,78049	1,79937	1,80837	1,81687
N-LASF46B 904313.451	1,90366	31,32	0,028852	1,91048	31,09	0,029289	1,89065	1,89526	1,92586	1,94130	1,95647
SF57 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366
SF57HTultra 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366

** Nur auf Anfrage als Prisma verfügbar ⁱ Wird ab 01/2022 ein Anfrageglas; daher nicht für Neudesigns empfohlen.

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	n_d ref.*1	After Molding*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T_g	AT	ρ	HK	Abrasion Aa	τ_i (10/400)	FC
			n_d	V_d											
0,5590	-0,0100	1,61227	1,6100	44,5	6	4	7,3	8,2	536	597	3,00	520	130	0,985	36/32
0,5605	-0,0120	1,63658	1,6341	42,3			6,6	7,6	551		3,20	530	74	0,987	36/30
0,5710	-0,0060	1,65272	1,6498	39,8	1	1	6,4	7,4	584	648	3,04	555	122	0,976	37/32
0,5833	-0,0021	1,71896	1,7158	34,8	1	1	7,8	9,4	509	561	3,20	570	152	0,963	38/33
0,5626	-0,0071	1,78425	1,7811	43,9	6	1	5,6	6,7	600	628	4,36	730	67	0,963	39/32
0,5956	0,0045	1,90165	1,8977	31,4	1	2	6,0	7,1	611	649	4,51	712	55	0,847	40/36*
0,6160	0,0123	1,84608	1,8447	23,6	6	1	8,3	9,2	414	449	5,51	350	344	0,847	40/37*
0,6160	0,0123	1,84608	1,8447	23,7	6	1	8,3	9,2	414	449	5,51	350	344	0,924	39/36*

*1 n_d Referenzwert (Kühlrate 25 K/h) *2 SCHOTT spezifischer Pressprozess; für weitere Informationen bitte an SCHOTT wenden

* Wellenlängen bei Transmission 0,7 und 0,05

Anfragegläser
 Klassische Gläser

Glasart	n_d	V_d	$n_F - n_C$	n_e	V_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
FK3 464658.227	1,46450	65,77	0,007063	1,46619	65,57	0,007110	1,46106	1,46232	1,46978	1,47315	1,47625
N-BAF3 583466.279	1,58272	46,64	0,012495	1,58569	46,35	0,012637	1,57689	1,57899	1,59222	1,59857	1,60463
BAFN6 589485.317	1,58900	48,45	0,012158	1,59189	48,16	0,012291	1,58332	1,58536	1,59823	1,60436	1,61017
N-PSK53 620635.360	1,62014	63,48	0,009769	1,62247	63,19	0,009851	1,61547	1,61717	1,62749	1,63223	1,63662
N-SK10 623570.364	1,62278	56,98	0,010929	1,62539	56,70	0,011029	1,61759	1,61947	1,63102	1,63638	1,64137
N-SK15 623580.362	1,62296	58,02	0,010737	1,62552	57,75	0,010832	1,61785	1,61970	1,63105	1,63629	1,64116
KZFSN5 654396.346	1,65412	39,63	0,016507	1,65803	39,40	0,016701	1,64644	1,64920	1,66668	1,67512	1,68319
N-SF19 667331.290	1,66679	33,12	0,020131	1,67154	32,86	0,020435	1,65769	1,66092	1,68228	1,69309	1,70377
KZFS12 696363.384	1,69600	36,29	0,019179	1,70055	36,06	0,019425	1,68717	1,69033	1,71065	1,72059	1,73017
N-SF64 706302.299	1,70591	30,23	0,023350	1,71142	29,99	0,023720	1,69544	1,69914	1,72392	1,73657	1,74912
N-LAF3 717480.414	1,71700	47,96	0,014950	1,72055	47,68	0,015112	1,71001	1,71252	1,72834	1,73585	1,74293

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5329	-0,0003	2	3	52.4	2	1	8,2	362	622	2,27	380	0,994	0,995	33/30
0,5669	0,0015	1	0	1	1	1	7,2	583	714	2,79	560	0,959	0,981	39/35
0,5625	0,0002	2	0	2	2	1	7,8	549		3,17	540	0,971	0,981	38/33
0,5423	0,0053	2	1	52.3	1.2	4.3	9,4	618	709	3,60	440	0,985	0,992	36/31
0,5474	-0,0005	3	3	52.2	2	2.2	6,8	633	758	3,64	550	0,988	0,994	36/32
0,5453	-0,0009	3	3	52.2	2	3.2	6,7	641	752	3,62	620	0,984	0,990	36/31
0,5700	-0,0071	3	2	52.3	4.3	4.3	4,5	501		3,46	460	0,976	0,987	37/34
0,5976	0,0095	1	0	1	1.2	1	7,2	598	707	2,90	630	0,901	0,950	40/36
0,5778	-0,0050	4	1	53.3	4.3	4.3	5,2	492	549	3,84	440	0,919	0,963	40/35
0,6028	0,0099	1	0	1	1.2	1	8,5	572	685	2,99	620	0,850	0,934	42/37
0,5603	-0,0028	2	3	52.3	1.2	3.3	7,6	646	740	4,14	580	0,954	0,976	39/34

Anfragegläser
Gläser zum Präzisionsblankpressen – Klassische Gläser

Glasart	n_d	V_d	$n_F - n_C$	n_e	V_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
N-LAK33A 754523.422	1,75393	52,27	0,014424	1,75737	52,04	0,014554	1,74707	1,74956	1,76481	1,77187	1,77845
N-SF56 785261.328	1,78470	26,10	0,030071	1,79179	25,89	0,030587	1,77137	1,77607	1,80800	1,82460	1,84126
N-LAF36 800424.443	1,79952	42,37	0,018871	1,80400	42,12	0,019090	1,79076	1,79390	1,81387	1,82345	1,83252
SFL6 805254.337	1,80518	25,39	0,031708	1,81265	25,19	0,032260	1,79116	1,79609	1,82977	1,84733	1,86500
SFL57 847236.355	1,84666	23,62	0,035841	1,85510	23,43	0,036489	1,83089	1,83643	1,87451	1,89456	1,91488
SF57HT 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366

Glasart	n_d	V_d	$n_F - n_C$	n_e	V_e	$n_{F'} - n_{C'}$	n_r	n_C	$n_{F'}$	n_g	n_h
P-PK53 527662.283	1,52690	66,22	0,007957	1,52880	65,92	0,008022	1,52309	1,52447	1,53288	1,53673	1,54029
P-SF67 907214.424	1,90680	21,40	0,042374	1,91675	21,23	0,043191	1,88833	1,89480	1,93985	1,96401	

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5473	-0,0086	1	1	51	1	2	5,8	669	744	4,22	740	0,976	0,988	38/30
0,6139	0,0140	1	0	1	1.3	1	8,7	592	691	3,28	560	0,799	0,905	44/37
0,5659	-0,0067	1	2	52.3	1	3.3	5,7	579	670	4,43	680	0,946	0,967	40/33
0,6159	0,0148	1	0	2	1	1	9,0	585		3,37	570	0,850	0,920	45/37
0,6218	0,0177	1	0	1.3	1	1.3	8,7	598	700	3,55	580	0,525	0,770	44/38*
0,6160	0,0123	2	5	52.3	2.3	4.3	8,3	414	519	5,51	350	0,847	0,964	40/37*

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	n_d ref.*1	After Molding*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T_g	AT	ρ	HK	Abrasion Aa	τ_i (10/400)	FC
			n_d	v_d											
0,5408	0,0084	1,52567	1,5232	66	3	1	13,3	16,0	383	418	2,83	335	977	0,994	36/31
0,6334	0,0256	1,90439	1,8998	21,6	1	1	6,2	7,4	539	601	4,24	440	309	0,276	48/39*

*1 n_d Referenzwert (Kühlrate 25 K/h) *2 SCHOTT spezifischer Pressprozess; für weitere Informationen bitte an SCHOTT wenden

* Wellenlängen bei Transmission 0,7 und 0,05

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	τ_i (10/400)	τ_i (10/420)	FC
0,5376	0,0007		0	1	2		7,0	585	722	2,52	580	0,764	0,905	41/37
0,5500	0,0017		0	1	1		9,0	483	679	2,59	510	0,821	0,924	41/37
0,5759	0,0008	2	0	1	1.3	2.3	9,3	407	578	3,22	446	0,569	0,833	43/37
0,5803	0,0036	2-3	2	3.4	2.2	3	10,7	474	606	3,30	410	0,276	0,657	45/39
0,5831	0,0008	1	0	1	1.3	2.3	8,1	435	604	3,60	428	0,325	0,693	45/39
0,5462	-0,0055	1-2	2	53.0	1.3	4.3	6,3	634	710	3,53	721	0,292	0,634	46/38
0,6121	0,0108	4	3	51.3	2.3	3.3	7,8	427	529	5,20	360		-	52/46*

* Wellenlängen bei Transmission 0,7 und 0,05

Glossar

Glascode	– Internationaler Glascode aus Brechzahl n_d und Abbezahl v_d mit Dichte	τ_i (10/400)	– Reintransmissionsgrad bei 400 nm; Glasdicke: 10 mm
$n_x, v_x, n_x - n_y$	– Brechzahl, Abbezahl und Dispersion bei verschiedenen Wellenlängen	τ_i (10/420)	– Reintransmissionsgrad bei 420 nm; Glasdicke: 10 mm
$P_{g,F}, \Delta P_{g,F}$	– Relative Teildispersion und Abweichung der relativen Teildispersion von der Normalgeraden zwischen der g- und F-Linie	FC	– Farbcode: Wellenlängen für Transmission 0,80 bzw. 0,05; Glasdicke: 10 mm (JOGIS)
CR	– Klima-Resistenzklasse	Nur für Gläser zum Blankpressen	
FR	– Flecken-Resistenzklasse	Abrasion Aa	– Schleifbarkeit gemäß JOGIS
SR	– Säure-Resistenzklasse (ISO 8424)	n_d ref.	– n_d Referenzwert (Kühlrate 25 K/h)
AR	– Alkali-Resistenzklasse (ISO 10629)	n_d, v_d after molding	– SCHOTT spezifischer Pressprozess (vorläufige Daten auf einer Kühlrate von 5000 K/h basierend)
PR	– Phosphat-Resistenzklasse (ISO 9689)	SR-J	– Säure-Resistenzklasse nach JOGIS
α (-30/+70)	– Koeffizient der thermischen Längenausdehnung zwischen -30 °C und +70 °C in 10 ⁻⁶ /K	WR-J	– Wasser-Resistenzklasse nach JOGIS
T_g	– Transformationstemperatur in °C (ISO 7884-8)	AT	– Dilatometrischer Erweichungspunkt in °C
$T_{10}^{7,6}$	– Temperatur des Glases in °C bei einer Viskosität von 10 ^{7,6} dPa · s	α (20/300)	– Koeffizient der thermischen Längenausdehnung zwischen +20 °C und +300 °C in 10 ⁻⁶ /K
ρ	– Dichte in g/cm ³	JOGIS	– Japanese Optical Glass Industrial Standards
HK	– Knoophärte (ISO 9385)		

Die Daten stellen den aktuell bekannten Wissensstand dar.
Durch den technischen Fortschritt bedingte Änderungen behalten wir uns vor.

Impressum

Herausgeber

Advanced Optics

SCHOTT AG

Hattenbergstraße 10

55122 Mainz

Germany

Telefon +49 (0)6131/66-1812

Telefax +49 (0)3641/2888-9047

info.optics@schott.com

www.schott.com/advanced_optics

Gestaltung, Satz und Druckvorstufe

Knecht GmbH, Ockenheim

Druck

Schmidt printmedien GmbH

Ginsheim-Gustavsburg

Papier: 135 g MaxiSilk FSC von Igepa
(kaschiert)

115 g MaxiSilk FSC von Igepa



Advanced Optics

SCHOTT AG

Hattenbergstraße 10

55122 Mainz

Germany

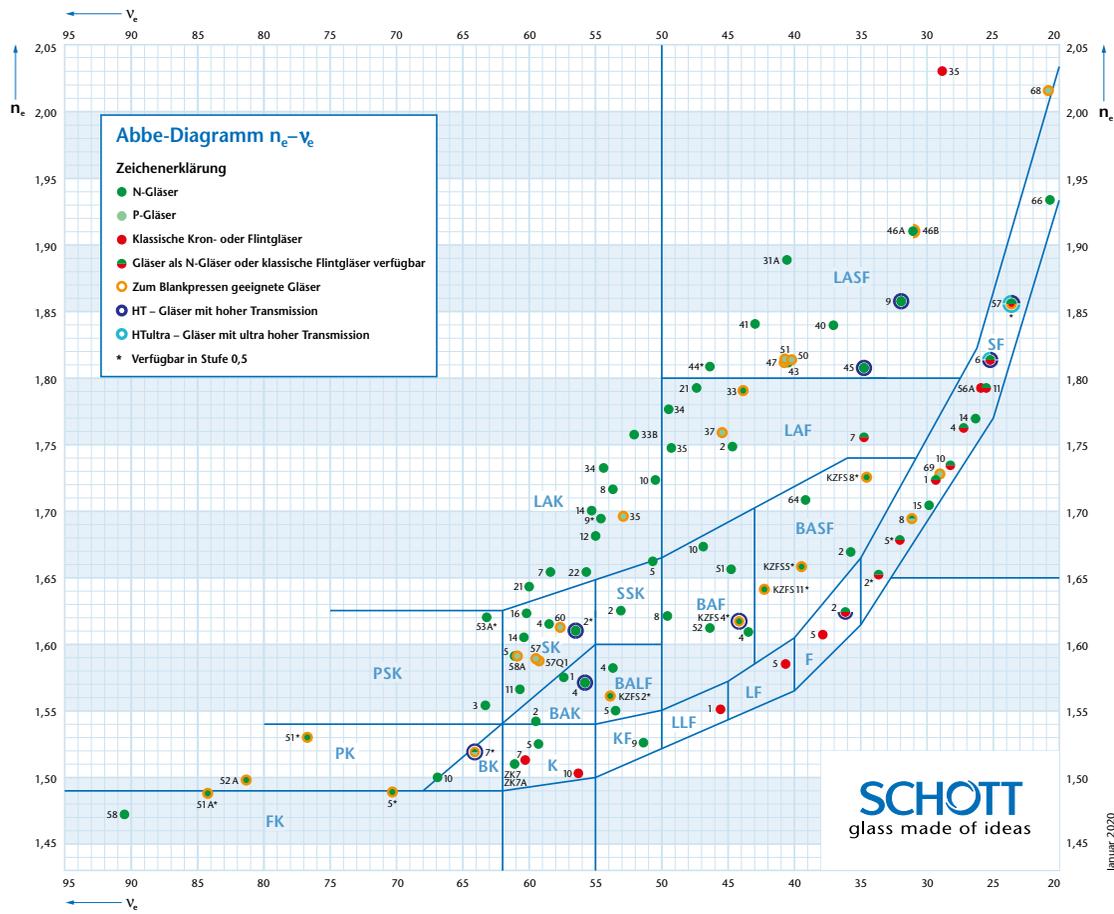
Telefon +49 (0)6131/66-1812

info.optics@schott.com

www.schott.com/

[advanced_optics](http://www.schott.com/advanced_optics)

Abbe-Diagramm $n_e - v_e$



$P_{g,F}$ -Diagramm

