

Spezifikation bei LASER COMPONENTS

Damit optische Bauteile auf dem Gebiet der Laseroptik ihr Aufgabenspektrum zur höchsten Zufriedenheit des Anwenders erfüllen, werden von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) Richtlinien herausgegeben, die helfen, Optiken einheitlich zu spezifizieren.

Basierend auf der DIN ISO 10110-Norm, wird dieser Leitfaden den korrekten Umgang mit Laseroptiken zusammenfassen und erläutern. Neben der an die Anwendung gebundenen Wahl des Substratmaterials gibt der Leitfaden Auskunft über die wichtigen Spezifikationen (z. B. bei Materialfehlern) und deren Klasseneinteilungen, die bei der Verifizierung der Optiken eine zentrale Rolle spielen. Zudem bietet diese Zusammenfassung einen Einblick in bedeutsame Prüfkriterien.



Specification at LASER COMPONENTS

The International Standards Organization (ISO) has issued guidelines to help specify optics in a uniform manner; therefore, laser optical components can fulfill their tasks to the user's fullest expectations.

Based on the DIN ISO 10110 norm, this guideline will summarize and explain the correct handling of laser optics. In addition to the choice of substrate material – which is dependent on the application – this guideline states the most important specifications (e.g. for material imperfections) and their classifications, which play a central role when verifying optics. This summary also lists important criteria for examination.

Materialwahl

LASER COMPONENTS bezieht das Material für Laseroptiken ausschließlich von namhaften Herstellern.

Die wichtigsten Substratkriterien sind:

- Blasen- und Schlierenfreiheit
- Homogenität
- Spektrales Absorptionsverhalten
- Polierbarkeit
- Brechungsindex n
- Härte
- Wärmeausdehnungskoeffizient

Aus dem Fluoreszenz- sowie spektralen Absorptionsverhalten ergibt sich das optimale Einsatzgebiet jedes Materials.

Choice of Material

LASER COMPONENTS obtains the material for laser optics exclusively from reputed manufacturers.

The most important substrate criteria are:

- Absence of bubbles and striae
- Homogeneity
- Spectral absorption behavior
- Polishability
- Index of refraction n
- Hardness
- Thermal expansion coefficient

The optimal application area for each material can be derived from its fluorescence and spectral absorption behavior.

Qualitätsstufen

Häufig werden die Laseroptiken in Laserresonatoren eingesetzt. Die Anforderungen an die Passgenauigkeit und an die Leistungsbeständigkeit der Komponenten sind daher extrem hoch. Trotzdem ist in den meisten Fällen ein Standardmaterial wie BK7 ausreichend.

Nachstehende Tabelle listet typische Anwendungen der gebräuchlichsten Substratmaterialien auf.

Quality Levels

Laser optics are often used inside laser resonators. Therefore the demands on the surface figure and the ability of the components to withstand high power levels are extremely high. Nevertheless, a standard material like BK7 is sufficient in most cases.

The following table lists typical applications of the most common substrate materials.

Application Material	UV	Vis/NIR	IR		Extreme Power	Extreme Surface Figure	At Temp. Application > 80° C
	190 nm - 400 nm	400 nm - 1800 nm	up to 2.1 µm	up to 3 mm			
BK7 n = 1.51 at 1064 nm		■	◆				
B270 n = 1.52 at 550 nm		◆					
Floatglass n = 1.52 at 550 nm		◆ (low power e.g. protect. window)					
Sapphire (Random) n = 1.75 at 1064 nm		◆	◆	■			◆
UV-quartz ¹⁾ n = 1.45 at 1064 nm	■		◆ (2.1 µm - 2.9 µm)		◆ (super polished 5/4 x 0.01)	◆	◆
OH-free Quartz ²⁾ n = 1.45 at 1064 nm			■	○	◆ (super polished 5/4 x 0.01)		
CaF ₂ Monocrystalline n = 1.45 at 550 nm	◆			○			
MgF ₂ Monocrystalline n = 1.38 at 550 nm	◆			○			
Zerodur® n = 1.46 at 550 nm						■	◆

■ Hauptanwendung; ◆ Mögliche Anwendung;
○ Anwendung mit Einschränkungen

¹⁾ z. B. Suprasil® 1, Suprasil® 311, Suprasil® 312, C7980, Q0, Q1, Q2

²⁾ Infrasil® 301, Suprasil® 300

■ Main application; ◆ Possible application;
○ Application with limitations

¹⁾ e.g. Suprasil® 1, Suprasil® 311, Suprasil® 312, C7980, Q0, Q1, Q2

²⁾ Infrasil® 301, Suprasil® 300

Blasen- und Schlierenklassen

Blasen

Blasen sind Hohlräume mit kreisförmigem Querschnitt im Substrat, die bei der Glasfertigung auftreten können.

Schlieren

Räumlich verlaufende Einlagerungen, die sich von denen des Basismaterials unterscheiden, werden Schlieren genannt.

Blasenklassen

Nomenklatur

Nach DIN ISO 10110 werden „Blasen und andere Einschlüsse“ in der Form „NxA“ angegeben. N stellt die Anzahl der Blasen und Einschlüsse mit einer maximal zulässigen Größe dar, die sogenannte Stufenzahl A (in mm) gibt das Maß ihrer Größe wieder. Sie ist als Quadratwurzel der projizierten Fläche der größten zulässigen Blase und/oder des Einschlusses definiert.

1/N x A 1: Codenummer für
Blasen und Einschlüsse
N: Anzahl Blasen und Einschlüsse
A: Stufenzahl [mm]

Die normgerechte Formulierung nach DIN ISO 10110 sei am Beispiel 1/3 x 0.16 erläutert. Die erste Ziffer charakterisiert, um welche Art von Spezifikation es sich handelt. Eine „1“ steht für Blasen und andere Einschlüsse. In unserem Beispiel ist folglich eine Blasenpezifikation angegeben. „3 x 0.16“ sagt aus, dass höchstens 3 Blasen mit einer maximalen Stufenzahl von 0.16 zulässig sind. Hierbei wird von sog. Vorzugswerten gesprochen.

Folgende Tabelle gibt Auskunft über Aufteilungsfaktoren für Blasen und andere Einschlüsse.

Classifications of Bubbles and Striae

Bubbles

Bubbles are cavities with a circular cross section inside the substrate which can occur during the manufacture of the glass.

Striae

Spatial inclusions that differ from the base material are called striae.

Bubble Classes

Nomenclature

According to DIN ISO 10110, „bubbles and inclusions“ are specified as „NxA,“ where A is the measure of maximum permissible inclusion size in mm and N denotes the total number of allowable inclusions at maximum size. A is defined as the square root of the projected area of the largest bubble and/or inclusion.

1/N x A 1: Code number for
bubbles and inclusions
N: Number of bubbles and
inclusions
A: Maximum permissible inclusion
size [mm]

The correct specification according to DIN ISO 10110 is demonstrated by the example 1/3 x 0.16. The first digit indicates the type of specification. A „1“ stands for bubbles and inclusions. Accordingly, a bubble specification is introduced in our example. „3 x 0.16“ means that not more than 3 bubbles with a maximum size of 0.16 are permitted. These are so-called preferential values.

The following table states the separation factors for bubbles and inclusions.

Preferential Values	1	2.5	6.3	16
Size A in mm	0.006			
	0.010	0.006		
	0.016	0.010	0.006	
	0.025	0.016	0.010	0.006
	0.040	0.025	0.016	0.010
	0.063	0.040	0.025	0.016
	0.10	0.063	0.040	0.025
	0.16	0.10	0.063	0.040
	0.25	0.16	0.10	0.063
	0.40	0.25	0.16	0.10
	0.63	0.40	0.25	0.16
	1.0	0.63	0.40	0.25
	1.6	1.0	0.63	0.40
	2.5	1.6	1.0	0.63
	4.0	2.5	1.6	1.0

Berechnung der Substratqualität

Ist die Summe der projizierten Flächen der Blasen und Einschlüsse kleiner als die maximale Gesamtfläche $N \times A^2$, so kann mittels der Tabelle eine höhere Anzahl an Blasen und/oder Einschlüssen mit einer entsprechend kleineren Stufenzahl angegeben werden.

Die Angabe der Einschlüsse nach der DIN 10110 gibt immer die Werte mit der höchsten Stufenzahl an. Die Blasen und/oder Einschlüsse können in den spezifizierten Substraten jedoch auch in einer höheren Anzahl mit geringerer Ausdehnung auftreten. Dies berechnet sich wie folgt.

Beispiel:

Die Angabe $1/2 \times 0.040$ besagt, dass maximal zwei Blasen (N) der Stufenzahl 0.040 (A) auftreten können. Ein Blick in die Vorzugswerte, die in der ersten Tabellenspalte aufgelistet sind, zeigt die gesuchte Stufenzahl in mm. Die Multiplikationsspalte „2.5“ rechts neben den Vorzugswerten zeigt die Stufenzahl 0.025. Demnach besitzen etwa $2 \times 2.5 = 5$ Blasen und/oder Einschlüsse die Stufenzahl 0.025. Nach diesem Prinzip können weitere Werte bis zum Multiplikationsfaktor 16 berechnet werden. In dem angegebenen Substrat wären somit etwa $2 \times 16 = 32$ Blasen der Stufenzahl 0.010 zulässig.

Calculation of the Substrate Quality

If the sum of the projected areas of the bubbles and inclusions is smaller than the maximum total area $N \times A^2$, it is possible to state a higher number of bubbles and/or inclusions that have a smaller size via the table.

The declaration of the inclusions according to DIN 10110 always states the values with the largest size. The bubbles and/or inclusions, however, can occur in higher numbers - but smaller sizes - in the specified substrates. This is calculated as follows.

Example:

The specification $1/2 \times 0.040$ means that a maximum of two bubbles (N) of size 0.040 (A) can occur. A look at the preferential values listed in the first column of the table shows the desired size in mm. The multiplication column "2.5" to the right of the preferential values depicts the size 0.025. Accordingly nearly $2 \times 2.5 = 5$ bubbles and/or inclusions have the size 0.025. Following this principle, more values up to the multiplication factor 16 can be calculated. For the given substrate nearly $2 \times 16 = 32$ bubbles of size 0.010 are also permissible.

Hausnorm bei LASER COMPONENTS

Das verwendete Standard-BK7 Material in der Normalqualität besitzt die sehr guten Werte von $1/3 \times 0.025$.

Inhomogenitäts- und Schlierenklassen

Mit der neuen Norm DIN ISO 10110 wurden die Definitionen der Schlierenklassen geändert und um den Begriff der „Inhomogenitätsklassen“ erweitert.

Die Formulierung der Spezifikation lautet nun „2/A;B“. Die erste Ziffer stellt die Codenummer für Inhomogenität und Schlieren dar. „A“ definiert die Inhomogenitätsklasse und „B“ die Schlierenklasse.

2/A;B 2: Codenummer für
Inhomogenität und Schlieren
A: Inhomogenitätsklasse
B: Schlierenklasse

Inhomogenität

Eine durch Abweichung der chemischen Zusammensetzung im Material verursachte Änderung der Brechzahl im optischen Bauteil wird Inhomogenität genannt.

Die zulässige Brechzahlabweichung im optischen Bauteil über sechs Inhomogenitätsklassen angegeben.

House Norm at LASER COMPONENTS

The standard BK7 material of normal quality possesses the exceptional values $1/3 \times 0.025$.

Inhomogeneity and Striae Classes

The definition of striae classes was changed in the new DIN ISO 10110 norm and expanded by the term "inhomogeneity classes."

The nomenclature of the specification now reads "2/A;B". The first digit is the code number for inhomogeneity and striae. "A" denotes the inhomogeneity class and "B" the striae class.

2/A;B 2: Code number for
inhomogeneity and striae
A: Inhomogeneity class
B: Striae class

Inhomogeneity

A change in the refractive index of the optical component caused by a change in the chemical makeup of the material is called inhomogeneity.

The permissible deviation in the refractive index of an optical component is divided into six inhomogeneity classes.

Inhomogeneity Classes	Maximum Permissible Deviation in the Refractive Index of the Component 10^{-6}
0	± 50
1	± 20
2	± 5
3	± 2
4	± 1
5	± 0.5

Schlieren

Schlieren hingegen sind als Inhomogenitäten kleiner räumlicher Ausdehnung definiert, die in Form von scharf begrenzten fadenförmigen Bereichen auftreten können.

Die Spezifikation der Schlierenklasse dient nicht nur der Auswahl des Rohmaterials, sondern erlaubt auch die Prüfung, inwieweit das Fertigteil den Spezifikationen entspricht.

Die Klassen 1 bis 4 berücksichtigen Schlieren, die eine optische Wegdifferenz von mindestens 30 nm verursachen. Klasse 5 wird für Bauteile angewendet, die allerhöchsten Qualitätsansprüchen genügen; die optische Wegdifferenz hierbei ist wesentlich kleiner als 1 %.

Striae Classes	Striae Density Which Varies the Optical Path by at Least 30 nm [%]
1	10
2	5
3	2
4	1
5	Extremely high absence of striae; the limitation to striae exceeding 30 nm is obsolete

Striae

Striae are defined as spatially short-range variations of homogeneity which occur as well-defined thread-like inclusions.

The specification of the striae class not only serves the selection of raw material but also allows examination as to whether the final part matches the specifications.

Classes 1 to 4 regard striae, which vary the optical path by at least 30 nm. Class 5 is used for components that satisfy the highest quality expectations. Here the difference in the optical path is significantly lower than 1 %.

Hausnorm bei LASER COMPONENTS

Die Hausnorm für BK7 und Quarzglas beträgt 2/5;5.

House Norm at LASER COMPONENTS

The house norm for BK7 and fused silica is 2/5;5.

Passfehler (Oberflächenformtoleranz)

Der Passfehler wird auch Oberflächenformabweichung genannt. Darunter wird im Allgemeinen der Abstand zwischen der zu prüfenden optischen Oberfläche – der sog. Prüffläche – und der theoretischen Sollfläche verstanden. Der Passfehler berechnet sich aus den folgenden Funktionen:

Peak-to-Valley-Differenz

Die Differenz zwischen maximalem Abstand a_{\max} und minimalem Abstand a_{\min} zwischen den Flächen wird als Peak-to-Valley-Differenz (PV-Differenz) bezeichnet.

Surface Figure Error (Surface form tolerance)

The surface figure error is also called surface deviation. It denotes a mismatch between the actual and the ideal surface. The surface figure error is calculated from the following formulas:

Peak-to-Valley Difference

The difference between the maximum distance a_{\max} and the minimum distance a_{\min} between the surfaces is called the peak-to-valley difference (PV difference).

Gesamtpassfehler-Funktion

Die theoretische Fläche, die als Differenz von Ist-Oberfläche und der gewünschten Soll-Oberfläche festgelegt ist, wird als Gesamtpassfehler-Funktion bezeichnet.

Bestangepasste Kugelfläche

Aus der Gesamtpassfehler-Funktion ergibt sich die so genannte bestangepasste Kugelfläche. Die bestangepasste Kugelfunktion gibt Auskunft über diejenige Kugelfläche, für die der rms-Wert der Differenz von Kugelfläche und Gesamtpassfehlerfunktion minimal wird (rms: root mean square).

Unregelmäßigkeitsfunktion

Unter dem Begriff Unregelmäßigkeitsfunktion wird der Unterschied zwischen der Gesamtpassfehlerfunktion und der bestangepassten Kugelfläche aufgefasst.

Bestimmung des Passfehlers

Zur Bestimmung des Passfehlers wird die zu prüfende Oberfläche mit einem hochpräzisen Referenzglas verglichen. Aus dem Unterschied zwischen der Prüffläche und der Projektion der Referenzwellenfront (Referenzfläche) resultieren Interferenzstreifen.

Toleranzen der Passfehler

Sollen Toleranzen des Passfehlers bestimmt werden, so ist eine Zerlegung des gemessenen Passfehlers in verschiedene Passfehlertypen notwendig. Für sphärische Flächen handelt es sich um

- **Pfeilhöhenfehler**
Der Pfeilhöhenfehler entspricht der Peak-to-Valley-Differenz zwischen einer bestangepassten Kugelfläche und einer Ebene.
- **Unregelmäßigkeit**
Der Begriff Unregelmäßigkeit ist als Peak-to-Valley-Differenz zwischen der Unregelmäßigkeitsfunktion und der ihr am besten angepassten Ebene definiert.

Alle maximal zugelassenen Werte der genannten Passfehlertypen sind in der Einheit Interferenzstreifen anzugeben. Für Passfehlerangaben wird die grüne Quecksilberlinie (e-Linie) mit $\lambda = 546.07$ nm als Bezugswellenlänge verwendet.

Total Surface Figure Error Function

The theoretical surface which is defined by the difference between the actual surface and the ideal surface is called total surface figure error function.

Best Fit Sphere

The so-called best fit sphere is derived from the total surface figure error function. The best fit sphere function describes the sphere for which the rms value of the difference between the sphere and the total surface figure error function is minimized (rms: root mean square).

Irregularity Function

Irregularity function denotes the difference between the total surface figure error function and the best fit sphere.

Determination of the Surface Figure Error

In order to determine the surface figure error the surface to be examined is compared to a high precision reference glass. Interference fringes result from the difference between the test surface and the projection of the reference wavefront (reference surface).

Tolerances of the Surface Figure Error

If tolerances of the surface figure error are to be determined it is necessary to separate the measured surface figure error into different error types. These are for spherical surfaces

- **Sagitta Error**
The sagitta error is the peak-to-valley difference between a best fit sphere and a surface.
- **Irregularity**
Irregularities are defined as the peak-to-valley difference between the irregularities function and its best fit surface.

All maximum allowable values of the mentioned error types have to be stated in units of interference fringes. The green mercury line (e line) with $\lambda = 546.07$ nm is used as a reference wavelength for declarations of the surface figure error.

Die nach DIN ISO 10110 gebräuchliche Schreibform lautet

„3/A (B)“. Passfehler werden über die erste Ziffer „3“ spezifiziert. „A“ gibt den maximal erlaubten Pfeilhöhenfehler (Einheit in Interferenzstreifen) und „B“ die maximal erlaubte Unregelmäßigkeit wieder.

3/A (B/C) 3: Codenummer für Passfehler
A: erlaubte Pfeilhöhenabweichung
B: maximal erlaubte Unregelmäßigkeit (Abweichung von Kugelform)
C: Feinpassfehler (rotationssymmetrische Unregelmäßigkeiten)

Beispiel:

Die Angabe 3/0.5 (0.25/-) besagt Folgendes:
Fehlertyp: 3 Passfehler
Pfeilhöhenfehler: 0.5 Interferenzstreifen ($\lambda/4$)
Unregelmäßigkeit: < 0.25 Interferenzstreifen ($\lambda/8$)
Feinpassfehler: keine Spezifikation

A wird in der Hausnorm für sphärische Flächen nicht angegeben, die max. erlaubte Abweichung erfolgt über die Toleranz des Krümmungsradius (typ. mit $\pm 0.5\%$)

The nomenclature according to DIN ISO 10110 is “3/A (B).” The first digit “3” indicates surface figure errors. “A” denotes the maximum permissible sagitta error (in units of interference fringes) and “B” the maximum permissible irregularity.

3/A (B/C) 3: Code number for Surface figure error
A: Maximum permissible sagitta deviation
B: Maximum permissible irregularity (deviation from sphere)
C: Fine surface figure error (rotational symmetry irregularities)

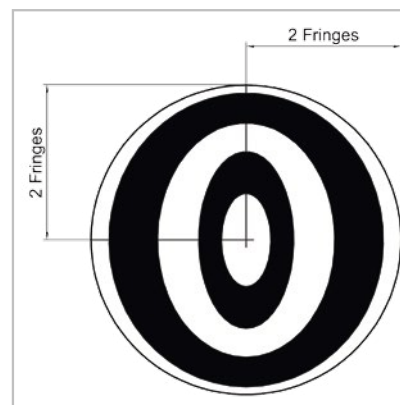
Example:

The declaration 3/0.5 (0.25/-) refers to the following:
Error type: 3 Surface figure errors
Sagitta error: 0.5 interference fringe ($\lambda/4$)
Irregularity: < 0.25 interference fringe ($\lambda/8$)
Fine surface figure error: no specification

In the in-house norm for spherical surfaces A is not specified on a standard basis. The maximum permissible deviation is given as tolerance of the radius of curvature (typically $\pm 0.5\%$)

Interferometrische Bestimmung der Fehler

Die interferometrische Bestimmung von Pfeilhöhenfehler und Unregelmäßigkeit erfolgt sowohl ohne als auch mit Kippung der Prüffläche.



Test surface with sagitta error and irregularities of 2 fringes each.

Interferometric Determination of the Error

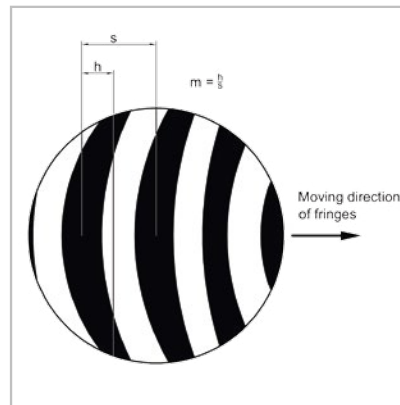
The interferometric determination of the sagitta error and the irregularity can both be done with and without tilting the test surface.

Ohne Kippung wird auf grobe Passfehler überprüft. Hierbei erzeugt der Pfeilhöhenfehler ein Interferenzmuster, das aus kreisförmigen Streifen besteht. Asymmetrische Anomalitäten können über elliptische oder gar hyperbolisch verzerrte Kreise erkannt werden.

Für die Anteilsbestimmung von Pfeilhöhenfehlern und Unregelmäßigkeit bei einem Interferenzmuster werden maximale (m) bzw. minimale (m') Streifenzahlen längs zweier Richtungen abgezählt. Im Falle von elliptischen Streifen ergibt sich der Pfeilhöhenfehler zu $(m + m')/2$ und die Unregelmäßigkeit zu $|m - m'|$.

Mittels Verkippung werden die hauptsächlich vorkommenden kleinen Passfehler gemessen. Der Quotient der Durchbiegung h des Streifens und der Streifenbreite s ist dabei Gegenstand der Untersuchung.

Der Abstand zweier gleichfarbiger Streifen entspricht einem Wegunterschied Δs von einer Wellenlänge $\Delta s = \lambda$. Bei einer Passe-Anforderung von $\lambda/4$ darf das Verhältnis m der Durchbiegung h zum Streifenabstand s nicht größer als 1:4 sein.



The mainly occurring small surface figure errors are measured via tilting. Scope of the measurement is the quotient of the fringe bending h and the fringe width s .

The distance between two fringes of the same color corresponds to a path difference Δs of a wavelength $\Delta s = \lambda$. For a surface figure requirement of $\lambda/4$ the ratio m between the bending h and the fringe spacing s must not be bigger than 1:4.

In dem vorhergehenden Beispiel wird also vorausgesetzt, dass das Substrat die Passe 3/0.5 erfüllt.

Mittels Verschiebung der Prüffläche hin zur Referenzfläche kann der Feinoptiker feststellen, ob die Substrate eine konvexe oder konkave Form aufweisen. Gehen die Streifen mit der größten Krümmung vom Mittelpunkt weg, so ist die Prüffläche konvex (vgl. Abb.). Bewegen sie sich hingegen zum Mittelpunkt hin, so weist die Prüffläche eine konkave Form auf.

Anwendungen und Anforderungen

Für Optiken, die im Resonator eines Lasers verwendet werden, muss eine Passe von $\lambda/10$ sphärisch erfüllt sein. Um dies zu erreichen, darf ein bestimmtes Verhältnis von Durchmesser zu Dicke nicht überschritten werden.

In the example above it is assumed that the substrate meets a surface figure requirement of 3/0.5.

By moving the test surface towards the reference surface the precision optician can determine whether the substrate features a concave or a convex form. If the fringes with the large curvature move away from the center, the test surface is convex (see figure). If, on the other hand, they move towards the center, the test surface possesses a concave shape.

Applications and Requirements

Optics that are used inside the resonator of a laser must have a spherical surface figure of $\lambda/10$. To achieve this, a certain ratio between diameter and thickness must not exceed.

Substrate	Diameter / Thickness
BK7	$\leq 5 : 1$
Fused Silica	$\leq 10 : 1$

Diese Faustregel bewahrt die Konstruktion vor zu dünnen Substraten, die entweder bereits bei der Beschichtung oder beim Einbau deformiert werden. Dünnere Substrate können nur im angespannten Zustand eine $\lambda/10$ Passe erreichen.

Ausschließlich bei Anwendungen in Transmission, wie bei Fenstern, können dünnere Substrate problemlos eingesetzt werden. Dies ist möglich, da sich die Pfeilhöhenfehler der Eintritts- und Austrittsfläche in gleiche Richtung bewegen und der transmittierte Wellenfrontfehler dadurch geringer ausfällt.

Hausnorm bei LASER COMPONENTS

Die Hausnorm für BK7 und Quarzglas beträgt bezogen auf ein planes 1" Substrat 3/0.2 (0.1).

This rule of thumb saves the setup from substrates that are too thin and thereby becoming deformed during coating or assembly. Thinner substrates can reach a surface figure of $\lambda/10$ only if they are optically contacted.

Using thinner substrates without any problems is only possible for applications in transmission, such as windows. This is possible because the sagitta errors of both the entrance and exit surface work in the same direction, reducing the transmitted wavefront error.

House Norm at LASER COMPONENTS

With regard to a flat 1" substrate the house norm for BK7 and fused silica is 3/0.2 (0.1).

Zentriergenauigkeit

Der Zentriergenauigkeit bei rotationssymmetrischen Optiksyste men mit sphärischen und asphärischen Flächen liegt die DIN ISO 10110-6 zugrunde. Hier sind die Angaben über Zentriertoleranzen von optischen Elementen und Systemen festgehalten. Der Spezifikation wird die Kennziffer „4“ zugeordnet.

Werden einzelne sphärische Flächen betrachtet, so besteht der Zentrierfehler aus dem Kippwinkel der Fläche. Unter dem Kippwinkel wird derjenige Winkel verstanden, der zwischen Bezugsachse und der Flächennormalen aufgespannt ist.

Die Angabe für den Zentrierfehler bei sphärischen Flächen muss die Form „ $4/\sigma$ “ annehmen, wobei σ den maximal zulässigen Wert des Kippwinkels angibt.

Bei einzelnen asphärischen Flächen ist neben σ auch der seitliche Versatz (L) anzugeben. Dieser legt den Abstand des Scheitelpunkts der asphärischen Fläche zur Bezugsachse fest. Die Angabe für asphärische Flächen muss $4/\sigma$ (L) lauten.

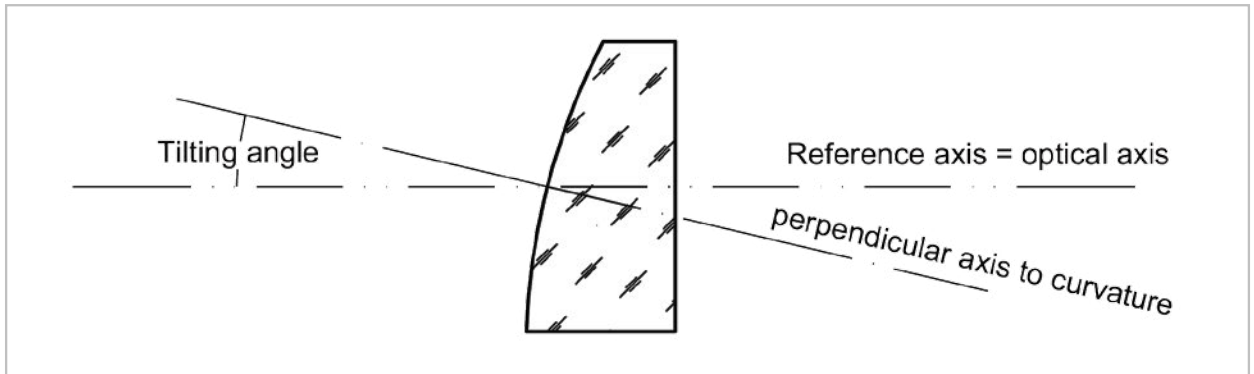
Centering Accuracy

DIN ISO 10110-6 is the basis for the centering accuracy of rotationally symmetric optical systems containing spherical and aspherical surfaces. In there, specifications of centering tolerances for optical elements and systems are described. The digit "4" is assigned to this specification.

If individual spherical surfaces are considered, the centering error equals the wedge angle of the surface, where the wedge angle denotes the angle between the reference axis and the surface normal.

The specification of the centering error of spherical surfaces must follow the nomenclature " $4/\sigma$ " where σ denotes the maximum permissible wedge angle.

In addition to σ the lateral offset (L) has to be stated as well for single aspherical surfaces. The lateral offset denotes the distance from the vertex of the aspherical surface to the reference axis. The specification of an aspherical surface must be $4/\sigma$ (L).



Sind bestimmte optische Gruppen miteinander verkittet, so wird eine Toleranz für den Keilwinkel der Kittschicht angegeben: Schreibweise $4/\Delta\tau$.

If certain optical parts are cemented together, a wedge angle tolerance for the cement layer is given. Nomenclature: $4/\Delta\tau$.

Einzellinse

$4/\sigma$ (L) 4: Codenummer für Zentriergenauigkeit
 σ : Maximal erlaubter Kippwinkel
L: Seitlicher Versatz (bei Asphären)

Single Lens

$4/\sigma$ (L) 4: Code number for centering accuracy
 σ : Maximum permissible wedge angle
L: Lateral offset (for aspheres)

Gekittete Linsen

$4/\Delta\tau$ 4: Codenummer für Zentriergenauigkeit
 $\Delta\tau$: Toleranz für Keilwinkel der Kittschicht

Cemented Lens

$4/\Delta\tau$ 4: Code number for centering accuracy
 $\Delta\tau$: Wedge angle tolerance of the cement layer

Oberflächenfehler

Oberflächenfehler sind Fehler innerhalb einer optischen Fläche, die durch den Herstellungsprozess entstehen oder durch unsachgemäße Behandlung verursacht werden.

Folgende Fehler fallen darunter:

- Kratzer / Wischer
- Löcher
- Haarrisse
- Polierpickel

Die Spezifikation wird nach DIN ISO 10110-7 durchgeführt. Die gebräuchliche Schreibform lautet „5/N x A“. Oberflächenfehler werden über die erste Ziffer „5“ gekennzeichnet. „N“ steht für die Anzahl der erlaubten Oberflächenfehler mit maximal zulässiger Größe, „A“ für die Stufenzahl.

Surface Quality

The surface quality describes errors in an optical surface caused during the manufacturing process or by improper handling.

This includes the following errors:

- Scratches / smears
- Holes
- Hair cracks
- Polishing pimples

The specification is performed according to DIN ISO 10110-7. The most common nomenclature is “5/N x A”. The first digit “5” indicates the surface quality whereas “N” denotes the number of permissible surface imperfections with maximum size “A”.

5/N x A 5: Codenummer für Oberflächenfehler
N: Anzahl der erlaubten Fehler mit
maximal zulässiger Größe
A: Stufenzahl [mm]

5/N x A 5: Code number for surface quality
N: Number of permissible surface
imperfections with maximum size
A: Maximum permissible size [mm]

Hausnorm bei LASER COMPONENTS

Die Hausnorm beträgt bezogen auf ein 1" Durchmesser unbeschichtetes Substrat 5/4 x 0.025. Die maximale Gesamtfehlerfläche ist damit definiert und wird nicht überschritten. Die Anzahl N der Fehler variiert mit der Stufenzahl A.
Wird A reduziert, so wird sich die Anzahl der Fehler erhöhen.
5/10 x 0.016 würde somit ebenfalls der Hausnorm entsprechen.

House Norm at LASER COMPONENTS

With regard to a 1" diameter uncoated substrate the house norm is 5/4 x 0.025. With this, the maximum total area of imperfections is defined and not exceeded. The number of imperfections N varies with size A. If A is reduced, the number of imperfections increases. Therefore, 5/10 x 0.016 would also fulfill the house norm.

Weitere Fehler

Kommen neben dem Oberflächenfehler weitere Fehler hinzu, so lässt sich dies aus der erweiterten Spezifikation erkennen.

Additional Errors

If more errors occur, that is in addition to surface imperfections, they can be recognized by the extended specification.

Belagfehler 5/N x A, CN' x A'
C: engl. Coat – Belagfehler
N': Anzahl der erlaubten Fehler mit
maximal zulässiger Größe
A': Stufenzahl (bezogen auf
Belagfehler)

Coating imperfections 5/N x A, CN' x A'
C: Coating quality
N': Number of permissible quality
with maximum permissible size
A': Size (regarding coating quality)

Kratzer 5/N x A; LN" x A"
L: Kratzer beliebiger Länge
N": Anzahl der erlaubten Fehler mit
maximal zulässiger Größe
A": Stufenzahl (bezogen auf Kratzer)

Scratches 5/N x A; LN" x A"
L: Scratches of arbitrary length
N": Number of permissible scratches
with maximum permissible size
A": Size (regarding scratches)

**Rand-
aussprünge** 5/N x A; EA'''
A''': maximal erlaubte Ausdehnung
der Aussprünge vom physikalischen
Rand der Oberfläche

Edge chips 5/N x A; EA'''
A''': Maximum permissible chip size
from the physical edge of the
surface

Vollständige Schreibweise des Oberflächenfehlers

5/N x A; CN' x A'; LN" x A"; EA'''

Complete nomenclature of the surface quality

5/N x A; CN' x A'; LN" x A"; EA'''

Bestimmung des Oberflächenfehlers

Zur Überprüfung eines Werkstücks auf Oberflächenfehler wird Licht auf den Prüfling eingestrahlt. Die Oberflächenfehler bewirken eine Streuung des Lichts. Die Streuung wird mit der Hintergrundbeleuchtung verglichen. Die Größe der Oberflächenfehler wird in der Praxis mit einer Referenzschablone bestimmt.

Apparativ kann der Prüfling sowohl mittels Transmissionsmessung als auch Reflexionsmessung untersucht werden.

Auf optischen Flächen, die bei der Hochleistungsoptik eingesetzt werden, sind durchgehende Kratzer unzulässig. Bei der Qualitätskontrolle der Substrate ist daher größtmögliche Sorgfalt notwendig.

Bei den Optiken werden keine Untersuchungen mit dem Mikroskop durchgeführt. Fehler, die ausschließlich mit dem Mikroskop erkennbar sind, haben erfahrungsgemäß keinen Einfluss auf Zerstörschwellen und die Qualität des Laserstrahls.

Zur Bestimmung der Oberflächenfehler liegt eine Größenvergleichsplatte vor.

Determination of Surface Quality

In order to inspect a part for surface quality light is shone on the sample. Surface imperfections will cause the light to scatter. This scattering is compared to the background illumination. In practice, the size of the surface imperfections is determined with a comparison chart.

When using measurement devices the sample can be inspected via both transmission and reflection measurement.

Optical surfaces which are used for high power optics cannot have any traversing scratches. The utmost care is therefore required during quality inspection of substrates.

The substrates are not examined using a microscope. It can be said from experience that errors which can only be recognized under a microscope do not have any influence on the damage threshold and the quality of the laser beam.

To determine surface imperfections a template for size comparison is available.

Oberflächengüte

Die Oberflächengüte ist ein globales statistisches Merkmal bezogen auf das Rauheitsprofil einer optischen Oberfläche. Charakteristik und Struktur sind dabei an jeder Stelle der Prüffläche gleich. Es wird in matte und spiegelnde Oberflächen separiert. Auf einer spiegelnden Oberfläche können zudem Unregelmäßigkeiten in Form von Mikrodefekten auftreten.

Surface Finish

The surface finish is a global, statistical characteristic pertaining to the roughness profile of an optical surface. The characteristics and structure are the same at every location of the test surface. There are matt and reflective surfaces. For reflective surfaces irregularities in the form of micro defects can occur.

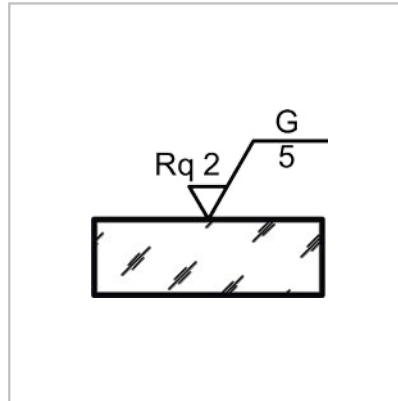
Matte Oberflächen

Matte Oberflächen zeichnen sich durch eine Höhendifferenz aus, die sich nicht wesentlich von der Wellenlänge des sichtbaren Lichts unterscheidet.

Sie werden über den quadratischen Mittenrauhwert R_q [μm] beschrieben. Dieser ist definiert als quadratischer Mittelwert der absoluten Beträge der Abstände des Rauheitsprofils vom Median innerhalb der Messstrecke. R_q ist somit abhängig von der Abtaststrecke; wenigstens die unterste Abtastlängengrenze muss damit bei der Messung angegeben werden.

Die nebenstehende Abbildung zeigt die korrekte Schreibweise der Oberflächengüte-Spezifikation bei matten Oberflächen.

Die Ziffer neben „ R_q “ gibt den maximal zulässigen Mittenrauhheitswert in μm an. Aus dem Buchstaben „ G “ ist ersichtlich, dass es sich um eine geschliffene Fläche handelt. Die Ziffer „5“ unterhalb des „ G “ gibt die Mindestabtastlänge (5 mm) für die Bestimmung von R_q an.



Fine Grind Surfaces (matt)

Fine grind surfaces are characterized by a difference in height that does not significantly differ from the wavelength of visible light.

They are described using the quadratic average roughness R_q [μm]. It is defined as the quadratic average of the absolute values of the distances between the roughness profile and the median within the measured section. Hence, R_q is dependent

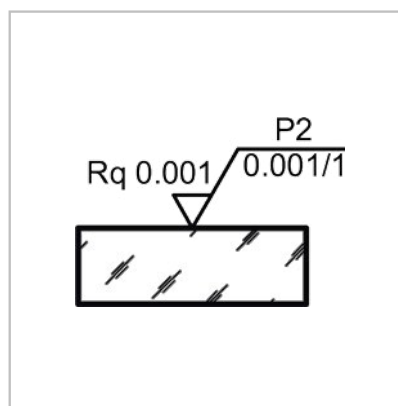
on the measuring length. At the very least, the lower boundary of the measuring length has to be given for the measurement.

The following figure shows the correct nomenclature of the surface finish specification for matt surfaces.

The number next to „ R_q “ is the maximum permissible average roughness in μm . The letter „ G “ signifies a grinded surface. The digit „5“ below the G is the minimum measuring length (5 mm) necessary to determine R_q .

Spiegelnde Oberflächen

Bei spiegelnden Oberflächen ist die Höhendifferenz weitaus geringer als bei matten Oberflächen. Zur Messung der Fehler stehen bei spiegelnden Oberflächen drei Möglichkeiten zur Verfügung.



Reflective surface with a maximum of 80 micro-defects per 10 mm measuring length and surface roughness $R_q \leq 0.001 \mu\text{m}$ at a measuring length between 0.001 mm and 1 mm.

Reflective Surfaces

The difference in height is far less for reflective surfaces than for matt surfaces. There are three ways to measure the error of reflective surfaces.

- Mittenrauhwert Rq
In den meisten Fällen ist die Angabe des Mittenrauhwertes Rq ausreichend.
- Mechanische Abtastung
Mikrodefekte werden über ein mechanisches Profilometer detektiert. Entscheidend ist dabei, wie oft die Abtastnadel des Profilometers deutlich von der ansonsten glatten Oberfläche abweicht.
- PSD-Funktion
Bei feinstpolierten Oberflächen, die höchste Anforderungen erfüllen müssen, wird das Spektrum der Raumfrequenzen der Oberflächenrauheit untersucht.

Für die Darstellung einer spiegelnden Oberfläche ohne quantitative Angaben wird in der Darstellung lediglich der Buchstabe „P“ verwendet. P steht dabei für poliert.

Die maximal zulässige Anzahl an Mikrodefekten mit Ausdehnungen $< 1 \mu\text{m}$ für die jeweilige Stufenzahl wird über den Poliergrad P1 - P4 festgelegt. Folgende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen Poliergrad und Mikrodefekten.

Polishing Grade	Number N of Microdefects per 10 mm of Measuring Length
P1	$80 \leq N \leq 400$
P2	$16 \leq N \leq 80$
P3	$3 \leq N \leq 16$
P4	$N < 3$

Zusätzlich zum Mittenrauhwert Rq kann ein bestimmter Abtastlängenbereich festgelegt werden. Die Angabe erfolgt analog der Abbildung der matten Oberflächen, der Abtastlängenbereich von Rq (Schreibweise $x \text{ mm} / y \text{ mm}$) wird unterhalb des Poliergrades angegeben (vgl. Abb.).

Hausnorm bei LASER COMPONENTS

Die Hausnorm beträgt Poliergrad P4.

- Average Roughness Rq
In most cases stating the average roughness Rq is sufficient.
- Mechanical Scanning
Microdefects are detected using a mechanical profilometer. It is crucial how often the profilometer needle deviates from the otherwise smooth surface.
- PSD Function
For the finest polished surfaces, which have to live up to the highest expectations, the spectrum of spatial frequencies of the surface roughness is examined.

To denote a reflective surface without any quantitative statements the letter "P" is simply used. P stands for polished.

The maximum permissible number of micro-defects with a size of $< 1 \mu\text{m}$ is determined for each size by the polishing grade P1 - P4. The following table shows the correlation between polishing grade and micro-defects.

In addition to the average roughness Rq a certain measuring length range can be set. The statement follows the example of matt surfaces. The measuring length range of Rq (nomenclature $x \text{ mm} / y \text{ mm}$) is stated below the polishing grade (see figure).

House Norm at LASER COMPONENTS

The house norm is polishing grade P4.

Kennzeichnung von Beschichtungen

Bei wenigen Spezifikationsparametern werden die Leistungsanforderungen einer Beschichtung direkt in der Zeichnung angegeben.

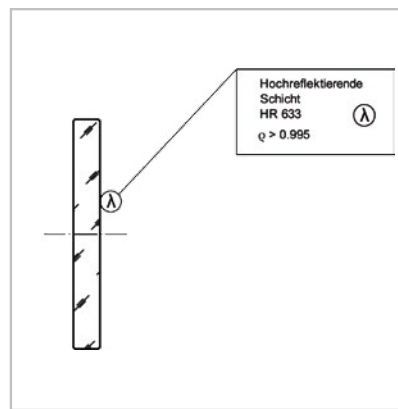
Folgende Symbolik wird verwendet:

- τ : Durchlässigkeit von Strahlungsflüssen
- ρ : Reflexion von Strahlungsflüssen
- α : Absorption von Strahlungsflüssen
- Λ : optisch beschichtete Oberflächen

Die Beschreibung der optischen Charakteristik ist in einem Rechteck ausgeführt (vgl. Abb.).

Befinden sich Funktionsschichten auf Kittflächen, so ist anzugeben, ob die Spezifikation vor oder nach dem Verkitten gilt.

Bei Schutzüberzügen wird eine breite Strich-Punkt-Strich Linie (nach ISO 128) neben der Teilkontur liegend angegeben.



Example of specifying optically coated surfaces.

Labelling of Coatings

The performance requirements of a coating are stated only for a few parameters directly in the drawing.

The following symbols are used:

- τ : Permeance of radiant fluxes
- ρ : Reflection of radiant fluxes
- α : Absorption of radiant fluxes
- Λ : Optically coated surfaces

The description of the optical characteristic is done in a box (see figure). If functional coatings are applied to cement layers it has to be stated whether the specification applies before or after cementing.

For protective layers a broad dash-dot-dash line (according to ISO 128) is drawn next to the outlined part.

Praktisches Beispiel

Nach Einführung in die theoretischen Grundlagen zur Spezifizierung von Laseroptiken wird eine plankonvexe AR-Linse nach DIN ISO 10110 ausführlich erörtert. Bitte beachten Sie hierzu die Zeichnung auf der Seite 19.

Technische Zeichnung

Das hervorstechende Element der Spezifikation in der Zeichnung ist die Maßzeichnung. Die Linse ist einmal im Maßstab 1:1 und um den Faktor 4 vergrößert dargestellt.

Concrete Example

After an introduction to the theoretical principles of specifying laser optics a plano-convex AR lens is discussed in detail according to DIN ISO 10110. Please note also the drawing on page 19.

Technical Drawing

The noticeable element of the specification in the drawing is the scale drawing. The lens is drawn to a scale of 1:1 and again magnified by a factor of 4.

Mittendicke und Durchmesser

Als oberstes Maß erscheint die Randdicke von 2.49 mm. Da der Wert in Klammern gesetzt ist, bedeutet dies, dass Maß und Toleranz bereits aus anderen Maßangaben hervorgehen. In diesem Fall aus der unter der Linse vermerkten Mittendicke von 4.9 ± 0.2 mm und dem Krümmungsradius.

Der Durchmesser ist auf der planen Seite der Linse angegeben. Er beträgt demnach 15 mm mit einem Kleinstmaß von 14.8 mm.

Generell werden Mittendicke und Durchmesser immer mit Toleranzen angegeben.

Oberfläche

In der Zeichnung ist die Oberflächengüte mit „P4“ symbolisiert. Aus Tabelle von Seite 15 ist ersichtlich, dass die polierte Oberfläche weniger als 3 Mikrodefekten pro 10 mm Abtastlänge aufweisen muss.

Beschichtung

Spezifikationen bezüglich den AR-Schichten sind im Kästchen rechts unten neben der Zeichnung vorzufinden. Demnach darf Licht der Wellenlänge $\lambda = 1064$ nm maximal zu 0.2 % pro Fläche reflektiert werden.

An dieser Stelle müsste ein eventuell gewünschter Einfallswinkel vermerkt werden, wenn er sich von 0° unterscheiden soll. Eine fehlende Angabe wird immer als 0° interpretiert. Unter diesen Angaben werden gegebenenfalls die Anforderungen für Wisch- und Kratzfestigkeit nach MIL-Normen angegeben.

MIL-48497A gibt Richtlinien an, wie Substrate auf ihre Abriebsfestigkeit zu prüfen sind. Zum Beispiel können Abriebtests mit Radiergummi durchgeführt werden. Zusätzlich enthält die MIL-675-C Auskünfte über Verfahren, Optiken auf Haftfestigkeit und Feuchtigkeitsbeständigkeit zu untersuchen.

Materialeigenschaften

Die Materialeigenschaften des Glases sind rechts und links eingerahmt von den entsprechenden Substratangaben bzgl. Krümmungsradius, Prüfbereich und Oberflächengenauigkeit.

Center Thickness and Diameter

The measurement on top is the edge thickness of 2.49 mm. The value is closed off by parentheses; this means that size and tolerance are determined using other dimensions. In this case, they are determined by the center thickness of 4.9 ± 0.2 mm (stated below the lens) and the radius of curvature.

The diameter is given on the plane side of the lens and measures 15 mm with a minimum size of 14.8 mm.

Generally, center thickness and diameter are stated with tolerances.

Surface

In the drawing the surface quality is symbolized by “P4”. It follows from the table on page 15 that the polished surface must have less than three microdefects per 10 mm of measuring length.

Coating

Specifications regarding the AR layers can be found in the box on the lower right next to the drawing. According to these specifications the reflection per surface must not exceed 0.2 % for light with a wavelength of $\lambda = 1064$ nm.

At this location a possibly requested angle of incidence has to be stated if it differs from 0° . A missing statement will always be interpreted as 0° . Below these declarations the requirements for wipe and scratch resistance according to MIL specs are given if necessary.

MIL-48497A has guidelines on how substrates are to be tested for abrasion resistance. Such tests can, for example, be performed with an eraser. In addition, MIL-675-C has procedures on how to test optics for their adhesiveness and moisture resistance.

Material Properties

The material properties of the glass are flanked on the left and right by the substrate properties regarding radius of curvature, test range, and surface accuracy.

Die linke Spalte („linke Fläche“) stellt in der ersten Zeile den Krümmungsradius der Linsenoberfläche mit dem Zeichen „∞“ dar, was eine plane Oberfläche charakterisiert.

Bei der „rechten Fläche“ ist der Krümmungsradius mit $R = 12.91$ mm CX (für konvex) mit Toleranz angegeben.

Der Prüfbereich bzw. optisch wirksame Durchmesser, mit dem Symbol \varnothing_e dargestellt, beträgt bei beiden Seiten der beschichteten Oberfläche 85 %.

Schutzfase

Unter der darauffolgenden Zeile ist eine Angabe über die Schutzfase zu finden, die in beiden Fällen unter 45° 0.2 mm bis 0.4 mm breit sein muss.

Passfehler (Formtreue)

Im Anschluss findet eine Spezifikation der Passfehler (Kennziffer „3“) statt. Der Pfeilhöhenfehler für plane Flächen beträgt 0.2 Interferenzringe ($= \lambda/10$). (0.2) gibt die maximal erlaubte Unregelmäßigkeit zu 0.2 Interferenzringen ($= \lambda/10$) an.

The left column (“left surface“) states the radius of curvature of the lens surface in the first row with the symbol “∞“, which denotes a plane surface.

For the “right surface“ the radius of curvature is stated as $R = 12.91$ mm CX (for convex) with tolerance.

The test range (or optically effective diameter) is denoted by the symbol \varnothing_e and measures 85 % of the coated surface for both sides.

Protective Chamfer

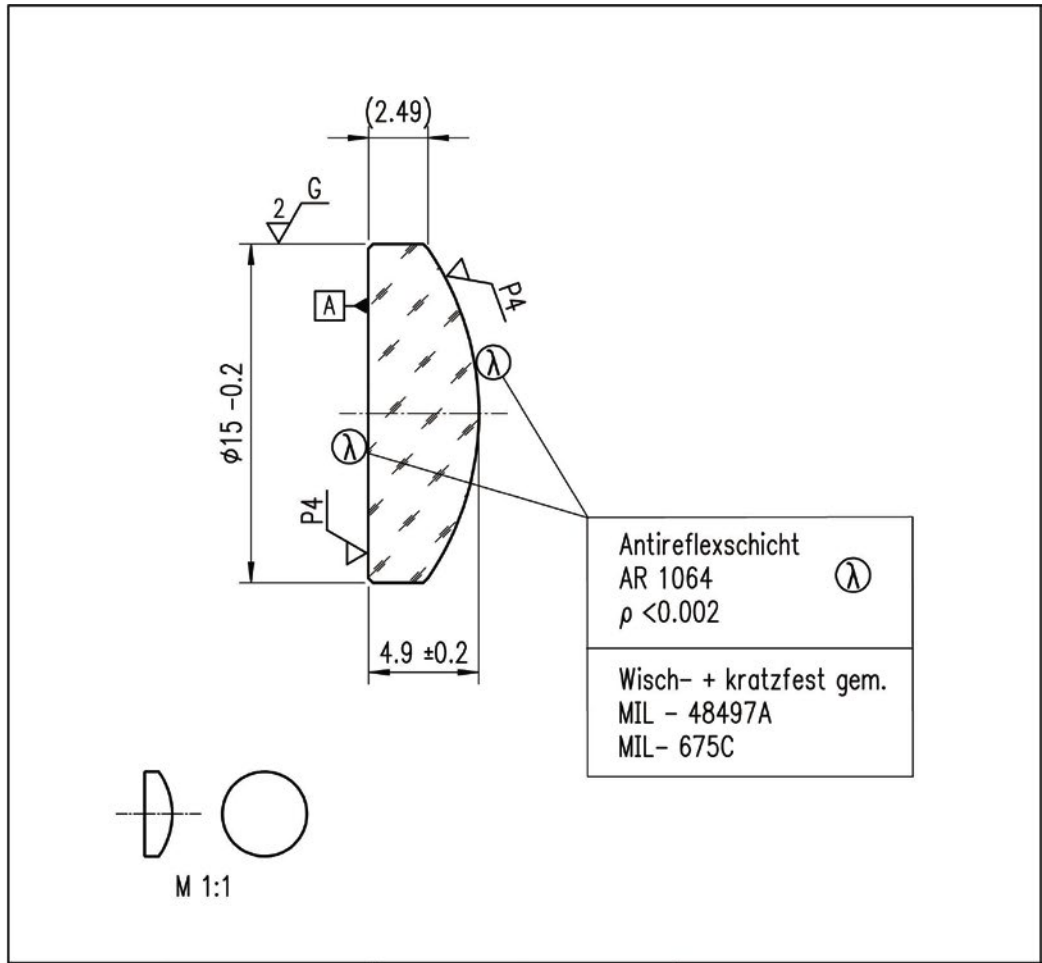
Below the following line a statement regarding the protective chamfer can be found. In both cases its width has to measure between 0.2 mm and 0.4 mm at an angle of 45° .

Surface Figure Error

Afterwards, the surface figure errors (code number “3“) are specified. The sagitta error for a plane surface is 0.2 interference fringes ($= \lambda/10$), while (0.2) denotes the maximum permissible irregularity at 0.2 interference fringes ($= \lambda/10$).

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patentierung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.

Copying of this document, and giving it to others and the use or communication of the contents thereof, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of the grant or the registration of a utility model or design.



		Linke Fläche		Materialangaben		Rechte Fläche		
		R	∞	Q1		R	12.91 CX $\pm 0.5\%$	
		ϕ_e	85%	$n_e = 1.46004 \pm 0.001$		ϕ_e	85%	
		Schutzfase	0.2 - 0.4	$\nu_e = 67.68 \pm 0.8\%$		Schutzfase	0.2 - 0.4	
			3 / 0.2 (0.2 / -)	0 / -			3 / - (0.2 / -)	
			4 / -	1 / 3x0.025			4 / 3'	
			5 / 2x0.025; C4x0.40; E0.1	2 / 5; 5			5 / 2x0.025; C4x0.40; E0.1	
			6 / 1 GW/cm ² (10 ns)				6 / 1 GW/cm ² (10 ns)	
Für diese Unterlagen behalten wir uns alle Rechte vor		Angaben nach ISO 10110				alle Maße in mm		Maßstab 4:1 (1:1)
		Zust.	Änderung	Datum	Name	Benennung		Plankonvexlinse
CAD						Zeichnungsnr. PLCX-15.0/12.9Q1	Blatt 1 von 1 Bl.	
DIN A4								

Zentriertoleranz

Eine Angabe über die Zentriertoleranz (Kennziffer „4“) wird auf der linken Fläche nicht gemacht, da diese Fläche als Bezugsfläche dient. Zu erkennen ist dies an dem schwarzen Bezugsdreieck mit dem Kästchen „A“. Das Lot, das zur Bezugsfläche gefällt wird (Strich-Punkt-Strich-Linie), dient als Bezugsachse für die Zentriertoleranz der rechten Linsenfläche. Demnach ist für die sphärische Fläche ein maximaler Kippwinkel von drei Bogenminuten zugelassen.

Oberflächenfehler

In der nächsten Zeile werden bei beiden Flächen die Spezifikationen bzgl. den Oberflächenfehlern angegeben. Hierbei steht 2×0.025 für maximal zwei Oberflächenfehler mit maximal zulässiger Fläche bei Stufenzahl 0.025. Der Belagfehler ergibt sich zu maximal vier Fehlern mit maximal zulässiger Fläche bei Stufenzahl 0.40. Die maximal erlaubte Ausdehnung der Aussprünge vom physikalischen Rand wird zu 0.1 mm angegeben.

Zerstörschwelle

Ziffer „6“ gibt die Zerstörschwelle an, die auf 1 GW/cm^2 festgesetzt ist. Das eingeklammerte (10 ns) zeigt, dass die Zerstörschwelle auf gepulsten 10 ns Laserbetrieb bezogen ist.

Rohmaterial

Die erste Zeile der mittleren Spalte gibt an, um welches Rohmaterial es sich handelt. In diesem Fall ist es Quarz „Q1“ (Herstellerbezeichnung). Darauf folgt der Brechungsindex n_e bei der e-Linie des Quecksilbers ($\lambda = 546.07 \text{ nm}$). Dieser beträgt 1.46004 ± 0.001 .

Optische Dispersion

Die optische Dispersion der Linse wird über die Abbe'sche Zahl v_e definiert. Sie beträgt in diesem Beispiel $67.68 \pm 0.8 \%$.

Eine Aussage für die Spannungsdoppelbrechung („0“) wird nicht gemacht. Dafür sagt $1/3 \times 0.025$ aus, dass drei Blasen bei einer maximalen Stufenzahl von 0.025 zulässig sind.

Centering Tolerance

A specification of the centering tolerance (code number “4”) is not given for the left surface since it acts as a reference surface. This can be recognized by the black reference triangle with the box “A”. The reference surface normal (dash-dot-dash line) serves as a reference axis for the centering tolerance of the right lens surface. According to this, the maximum permissible wedge angle for the spherical surface is three arc minutes.

Surface quality

In the next line the specifications of the surface imperfections are stated for both sides. Here 2×0.025 refers to a maximum of two surface imperfections with a maximum permissible size of 0.025. For coating imperfections a maximum of four imperfections with a maximum permissible size of 0.40 are allowed. The maximum permissible protrusion of edge chips from the physical edge is stated as 0.1 mm.

Damage Threshold

The digit “6” states the damage threshold as being 1 GW/cm^2 . The value in parentheses, i.e. (10 ns), indicates that the damage threshold refers to pulsed laser operation at 10 ns.

Raw Material

The first row of the middle column indicates the type of raw material. In this case it is quartz “Q1” (name given by the manufacturer). It is followed by the index of refraction n_e at the e line of mercury ($\lambda = 546.07 \text{ nm}$) which is 1.46004 ± 0.001 .

Optical Dispersion

The optical dispersion of the lens is defined using the Abbe number v_e . In this example it is $67.68 \pm 0.8 \%$.

A statement regarding strain-induced double refraction (“0”) is not made. $1/3 \times 0.025$, on the other hand, indicates that three bubbles with a maximum size of 0.025 are permitted.

Inhomogenitäten

Die Spezifikation für Inhomogenitäten in Bauteilen liegt bei den verwendeten hochwertigen Materialien in der Regel immer in der höchsten Inhomogenitätsklasse 5. Somit beträgt die maximal zulässige Abweichung der Brechzahl $\pm 0.5 \times 10^{-6}$.

Schlierenklasse

Die letzte Zeile der mittleren Spalte gibt Auskunft über die Schlierenklasse, die in diesem Fall „5“ beträgt. Folglich muss in diesem Bauteil eine extreme Schlierenfreiheit vorliegen. Die Einschränkung für Schlieren > 30 nm entfällt.

Weitere Spezifikationen

Manchmal werden vom Anwender auch Daten zur Linsenform wie Hauptebenenlage, Schnittweiten etc. benötigt. Sie werden dann rechts oben auf dem Spezifikationsblatt gesondert aufgelistet.

Inhomogeneities

Because of the use of high quality material, the specification of inhomogeneities in substrates usually falls in the highest inhomogeneity class 5. Therefore the maximum permissible deviation from the refractive index is $\pm 0.5 \times 10^{-6}$.

Striae Class

The last row of the middle column states the striae class which, in this case, is “5”. As a result the substrate has to be extremely free of stria. The limitation of striae > 30 nm becomes irrelevant.

Additional Specifications

Sometimes the user also needs data regarding the lens shape such as position of the primary plane, back focal lengths, etc. In this case they are listed separately in the upper right corner of the specification sheet.