



Quarzglas für optische Anwendungen

Daten und Eigenschaften

Quarzglas für optische Anwendungen

Daten und Eigenschaften

Quarzglas ist ein ideales optisches Material für viele Anwendungen. Es kombiniert eine außergewöhnlich hohe Transmission über einen breiten Spektralbereich mit mehreren nützlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Für verschiedene Anwendungen kann jeweils eine andere Kombination dieser Eigenschaften wichtig sein. In den folgenden Abschnitten stellen wir diese Eigenschaften vor und erläutern, wie wir sie messen und spezifizieren.

Freie Apertur (CA)

Die freie Apertur wird normalerweise als Prozentsatz (%) der Abmessungen eines Bauteils angegeben. Alle angegebenen Eigenschaften beziehen sich auf die CA. Die CA ist der Anteil der optischen Komponente, durch den das Licht geht (mit einem gewissen Übermaß zur Fixierung und Vermeidung von Randeffekten). Unsere Produkte werden mit einer CA von 80% des Durchmessers oder der Kantenlänge für roh geformte Barren und 90% für bearbeitete Barren und Scheiben verkauft.

Transmission

Die wichtigste Eigenschaft für durchlässige Optiken ist die Transmission. Üblicherweise werden die Werte als interner Transmissionsgrad oder einschließlich der Oberflächenreflexionen, dem sogenannten Fresnel-Verlust, angegeben. Bei fertigen optischen Komponenten wird der Fresnel-Verlust in der Regel durch optische Beschichtungen (Antireflexionsbeschichtungen (AR)) reduziert. Wir geben typische Transmissionswerte für die verschiedenen Sorten in einem Transmissionsrechner an.

Absorption

Licht, das nicht durchgelassen oder reflektiert wird, wird entweder absorbiert oder gestreut. Bei hochreinem Quarzglas sind die ausgeprägtesten Absorptionsbanden auf die OH-Gruppen in der Quarzmatrix zurückzuführen (945 nm, 1245 nm, 1385 nm, 2210 nm, 2700-2800 nm). Daher ist es wichtig, den OH-Gehalt des Quarzglases zu kennen.

Andere Absorptionen, die auf Spuren von Verunreinigungen zurückzuführen sind, können im UV-Bereich oder, aufgrund ihrer größeren Länge, in optischen Fasern beobachtet werden. Bei Quarzglas, das aus natürlichem Rohmaterial hergestellt wird, kann aufgrund der geringeren Reinheit des Materials mehr Absorption beobachtet werden. Für einige Anwendungen ist die Absorption in einem bestimmten Wellenlängenbereich (typischerweise im UV) erwünscht. In diesem Fall wird die Quarzglasmatrix dotiert (z. B. mit Titandioxid oder Ceroxid).

Streuung

Die Streuung hat viele Komponenten. Die Glasmatrix selbst hat eine streuende Wirkung. Stärkere, aber lokal begrenzte Streuung ist auf Blasen und Einschlüsse zurückzuführen. Die Anzahl dieser Defekte hängt vom Prozess und dem verwendeten Rohmaterial ab. Für die Definition von Blasen wurden Normen festgelegt, wie z. B. die ISO 10110, die Blasenklassen definiert.

Eine andere Möglichkeit, die Anzahl der Blasen zu bestimmen, ist der Gesamtquerschnitt aller Blasen (in mm²). Dies ist der projizierte Querschnitt des Defekts.

Optische Homogenität

Lokale Varianz des Brechungsindex

Eine lokale Varianz des Brechungsindex bewirkt eine Veränderung der Lichtausbreitung. Dies wird in einer Ebene senkrecht zur Lichtausbreitung betrachtet, kann aber auch in der Tiefe erfolgen. Wenn die Variation in der senkrechten Ebene und in Lichtrichtung gering ist, wird das Material als 3D-Güteklasse bezeichnet (gekennzeichnet mit .

Typischerweise wird die Variation des Brechungsindex in symmetrische allmähliche Veränderungen und zufällige Fluktuationen sowie starke plötzliche Veränderungen (Schlieren genannt) unterschieden. Eine Möglichkeit, die optische Homogenität zu charakterisieren, ist die Verwendung der Zernike-Polynome. Die niedrigeren Zernikes sind leichter zu kompensieren als die höheren. Die Differenz der höchsten zur niedrigsten gemessenen Brechzahl ist ein erster Hinweis auf die optische Homogenität, aber da sie relativ leicht zu kompensieren ist, sind die höheren Zernike-Polynome für qualitativ hochwertigere Optiken wichtiger. Schlieren werden in Schlierenklassen nach ISO 10110 oder MIL-G-174B angegeben. Wir führen interferometrische Messungen für alle 2D- und 3D-Grade über die volle Apertur von max. 450 mm durch, oder mit Sub-Aperturen für größere Größen. Wir messen bei 632,8 nm und subtrahieren Tilt und Offset für den CA-Bereich wie oben definiert.

Spannungsinduzierte Doppelbrechung

Doppelbrechung bedeutet, dass die beiden Polarisationskomponenten des Lichts unterschiedliche Brechungsindizes erfahren und sich daher im Inneren des Materials unterschiedlich schnell ausbreiten, was zu einer Wellenfrontverzerrung und einer Änderung der Polarisationsseigenschaften des Lichts führt. Doppelbrechung wird als der Gangunterschied pro cm Lichtweg gemessen. Sie wird in nm/cm angegeben.

Fluoreszenz

Die Emission von Licht unter Beleuchtung von (typischerweise UV-) Licht mit einer höheren Energie (kürzeren Wellenlänge). Der Ursprung der Fluoreszenz sind Defekte in der SiO₂-Matrix oder metallische Verunreinigungen. Wir prüfen unsere Produkte mit einer 8 W Hg-Lampe (254 nm und UG 5 Filter) und adaptierten Augen.

Spezifikation der Heraeus Materialsorten

Optische Spezifikation

Optische Spezifikation

	Schlierenklasse nach ISO 10110	Brechzahlhomogenität PV-Wert [ppm]	Spannungsdoppel- brechung [nm/cm]	Fluoreszenz	OH-Gehalt [ppm]
Synthetisches Quarzglas					
Suprasil® 311	2/-;5	≤ 3	≤ 5	frei	~ 200
Suprasil® 312	2/-;5	≤ 4	≤ 5	frei	~ 200
Suprasil® 313	2/-;5	n. sp.*	≤ 5	frei	~ 200
Suprasil® 3001	2/-;5	≤ 4	≤ 5	leicht blau	≤ 1
Suprasil® 3002	2/-;5	≤ 10	≤ 5	leicht blau	≤ 1
Suprasil® 300	2/-;SW30 †	n. sp.	≤ 5	leicht blau	≤ 1
Suprasil® 3301	2/-;5	≤ 2	≤ 2	frei	~ 15
Suprasil® 3302	2/-;5	≤ 3	≤ 3	frei	~ 15
Suprasil® 1	2/-;5	≤ 5	≤ 5	frei	~ 750
Suprasil® 2 Grade A	2/-;5	≤ 5	≤ 5	frei	~ 750
Suprasil® 2 Grade B	2/-;5	≤ 10	≤ 5	frei	500 – 800
Suprasil® 1 ArF / KrF	2/-;5	≤ 5	≤ 5	frei	~ 750
Suprasil® 2 ArF / KrF	2/-;5	≤ 5	≤ 5	frei	~ 750
Suprasil® UVL	2/-;5	≤ 10	≤ 5	frei	~ 1100
Spectrosil® 2000	2/-;5	≤ 10	≤ 5	frei	~ 1100
Natürliches Quarzglas					
Infrasil® 301	2/-;5	≤ 5	≤ 5	blau-violett	≤ 8
Infrasil® 302	2/-;5	≤ 6	≤ 5	blau-violett	≤ 8
HOQ® 310	n. sp.	n. sp.	≤ 10	blau-violett	~ 30

* typisch ≤ 10 ppm | † nach ISO 12123

Alle Spezifikationen gelten für die freie Apertur. Sofern nicht anders vereinbart, beträgt der CA unserer roh geformten Barren 80 % der geometrischen Abmessung und für oberflächenbearbeitete Teile 90 %. Für Größen über 450 mm können individuelle Spezifikationen gelten.

- Suprasil 1 ArF/KrF, Suprasil 2 ArF/KrF und Suprasil UVL enthalten H₂, um die Absorption unter UV-Bestrahlung zu minimieren.
- ArF- und KrF-Sorten werden auf Transmission bei spez. Wellenlängen gemessen. Bitte lesen Sie dazu das Kapitel Transmission.

Spezifikation der Heraeus Materialsorten

Blasenspezifikation

Blasenspezifikation

	< 10 kg	10 - 20 kg	20 - 30 kg	< 50 kg	< 75 kg	< 110 kg
Synthetisches Quarzglas						
Suprasil® 311	1 × 0,063			auf Anfrage		
Suprasil® 312	1 × 0,063				1 × 0,1	
Suprasil® 313	1 × 0,1	2 × 0,16			4 × 0,16	5 × 0,16
Suprasil® 3001	1 × 0,063			auf Anfrage		
Suprasil® 3002	1 × 0,063				1 × 0,1	
Suprasil® 300	1 × 0,1	2 × 0,16			3 × 0,16	4 × 0,16
Suprasil® 3301	1 × 0,063			auf Anfrage		
Suprasil® 3302	1 × 0,063				1 × 0,1	
Suprasil® 1	1 × 0,063	auf Anfrage				
Suprasil® 2 Grade A	1 × 0,063				1 × 0,1	
Suprasil® 2 Grade B	1 × 0,063		1 × 0,1		2 × 0,1	
Suprasil® 1 ArF / KrF	1 × 0,063	auf Anfrage				
Suprasil® 2 ArF / KrF	1 × 0,063				1 × 0,1	
Suprasil® UVL	1 × 0,063			1 × 0,1	3 × 0,16	
Spectrosil® 2000	1 × 0,063			1 × 0,1	3 × 0,16	
Natürliches Quarzglas						
Infrasil® 301	1 × 0,16			auf Anfrage		
Infrasil® 302	1 × 0,4	2 × 0,4		3 × 0,4		4 × 0,4
HOQ® 310	2 × 1,0	3 × 1,0	4 × 1,0	5 × 1,0	6 × 1,0	9 × 1,0

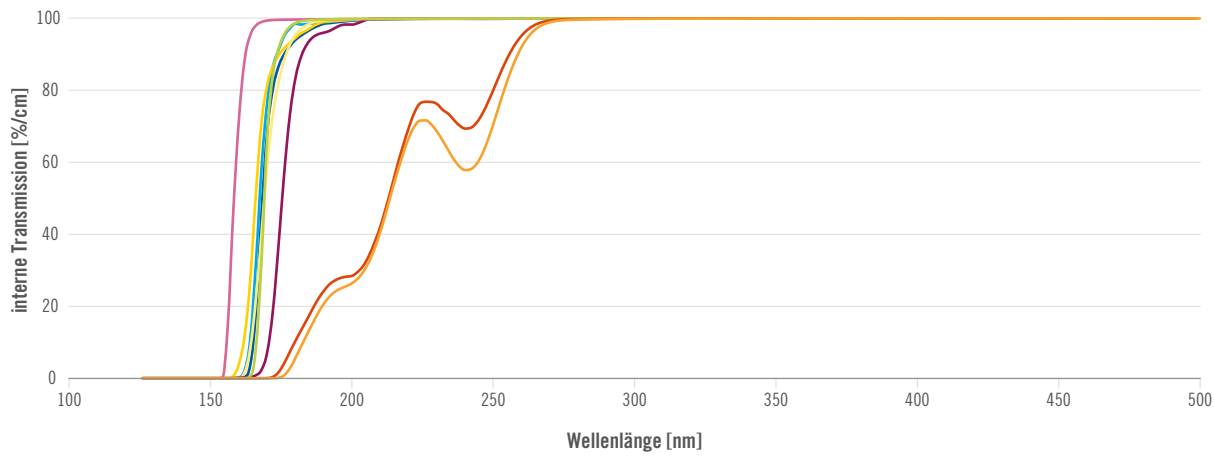
Die von Blasen verdeckte Fläche kann aus ISO 10110 abgeleitet werden. Es gilt die Akkumulationsregel. Blasen, die kleiner als 0,063 mm sind, werden nicht gezählt. Strengere Blasenspezifikation auf Anfrage.

Optische Eigenschaften

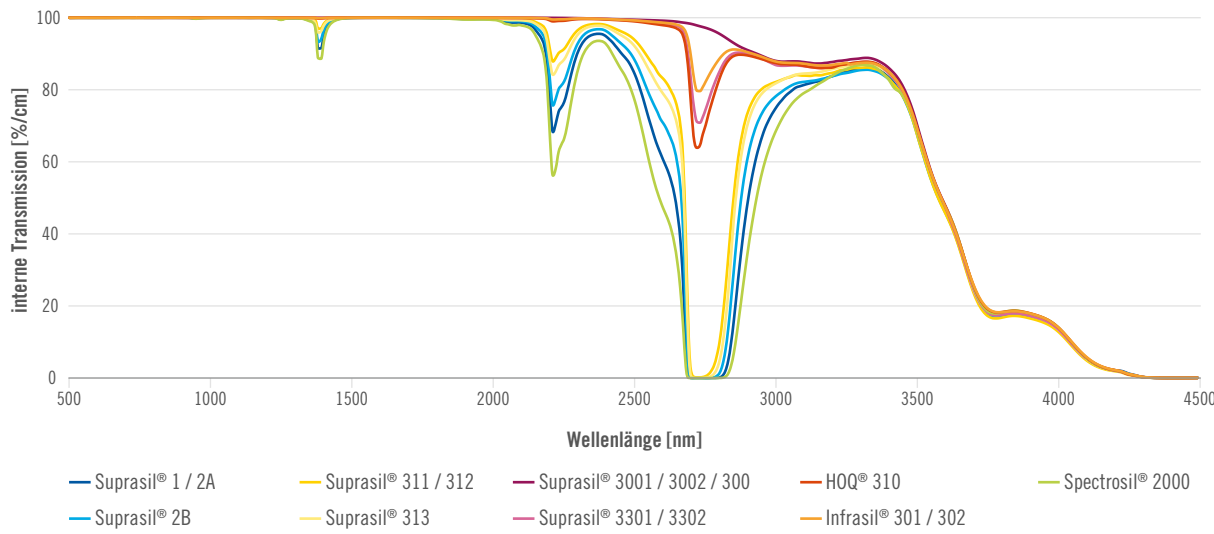
Transmission

Typische interne Transmission (bei 10 mm Materialstärke)

UV-Transmission



NIR-Transmission



Wellenlänge [nm]	Suprasil (typisch) [%/cm]	Suprasil ArF [%/cm]	Suprasil KrF [%/cm]
193,4	98,5	≥ 99,3	–
248,4	99,5	≥ 99,8	≥ 99,8
266,0	99,9	≥ 99,9	≥ 99,9

Optische Eigenschaften

Dispersion

Dispersion

Sellmeier-Gleichung

$$n^2(\lambda) - 1 = \frac{B_1 \times \lambda^2}{(\lambda^2 - C_1)} + \frac{B_2 \times \lambda^2}{(\lambda^2 - C_2)} + \frac{B_3 \times \lambda^2}{(\lambda^2 - C_3)}$$

	Natürliches Quarzglas	Synthetisches Quarzglas	Synthetisches Quarzglas mit OH < 1 ppm
Sellmeier Konstanten*			
B1	6,70528671E-01	6,72472034E-01	6,73693289E-01
B2	4,33889824E-01	4,31646851E-01	4,31173589E-01
B3	9,09353456E-01	8,85914296E-01	9,05320925E-01
C1	4,48160190E-03	4,50684530E-03	4,50899296E-03
C2	1,32966549E-02	1,33090179E-02	1,33349842E-02
C3	9,94989893E+01	9,67375952E+01	9,92216527E+01
Teildispersionen			
nF-nC	0,00676	0,00677	0,00677
nF'-nC'	0,00680	0,00680	0,00681
Abbe-Konstanten			
Vd	67,8	67,8	67,8
Ve	67,7	67,6	67,6

* 185 – 2326 nm, 22 °C, 1013,25 bar N₂

Optische Eigenschaften

Brechungsindex

Brechungsindex

λ [nm]		Natürliches Quarzglas	Synthetisches Quarzglas	Synthetisches Quarzglas mit OH < 1 ppm
193,40	ArF	1,5603	1,5602	1,5607
248,40	KrF	1,5085	1,5084	1,5087
280,40		1,4942	1,4941	1,4944
296,73		1,4889	1,4888	1,4891
312,57		1,4846	1,4845	1,4848
334,15		1,4799	1,4798	1,4801
355,00		1,4762	1,4761	1,4764
365,01	n _i	1,4747	1,4746	1,4749
404,66	n _h	1,4697	1,4696	1,4699
435,83	n _g	1,4668	1,4667	1,4670
479,99		1,4636	1,4635	1,4638
486,13	n _F	1,4632	1,4631	1,4634
532,00		1,4608	1,4607	1,4610
546,07	n _e	1,4602	1,4601	1,4604
587,56	n _d	1,4586	1,4585	1,4587
589,29		1,4585	1,4584	1,4587
632,80	HeNe	1,4571	1,4570	1,4573
643,85		1,4568	1,4567	1,4570
656,27	n _c	1,4565	1,4564	1,4566
706,52		1,4553	1,4552	1,4554
852,11	n _s	1,4526	1,4525	1,4527
1013,98		1,4504	1,4502	1,4505
1064,00	Nd:YAG	1,4497	1,4496	1,4499
1529,58		1,4444	1,4443	1,4446
1970,00		1,4387	1,4385	1,4388
2325,42		1,4331	1,4329	1,4333

bei 22 °C, 1013,25 bar N₂

Optische Eigenschaften

Brechungsindex

Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex

$$\frac{dn_{abs}(\lambda,T)}{dT} = \frac{n^2(\lambda,T_0) - 1}{2 \times n(\lambda,T_0)} \times \left(D_0 + 2 \times D_1 \times \Delta T + 3 \times D_2 \times \Delta T^2 + \frac{E_0 + 2 \times E_1 \times \Delta T}{\lambda^2 - \lambda_{TK}^2} \right)$$

Definitionen:

T ₀	Referenztemperatur (20 °C)	T	Temperatur [°C]
ΔT	Temperaturdifferenz gegenüber T ₀	D ₀ , D ₁ , D ₂ ,	Konstanten je nach Glasart
λ	Vakuummwellenlänge [μm]	E ₀ , E ₁ , λ _{TK}	

	Infrasil® 301	HOQ® 310	Suprasil® 1	Suprasil® 311	Suprasil® 3001	Spectrosil® 2000
D0	2,19E-05	2,22E-05	2,15E-05	2,18E-05	2,09E-05	2,13E-05
D1	2,50E-08	2,05E-08	2,44E-08	2,45E-08	2,39E-08	2,90E-08
D2	-1,52E-11	-5,01E-11	-3,69E-11	-2,72E-11	1,07E-11	5,53E-11
E0	3,19E-07	2,94E-07	3,78E-07	2,31E-07	3,67E-07	3,24E-07
E1	4,34E-10	3,14E-10	5,02E-10	2,21E-10	4,28E-10	1,11E-10
λ _{TK}	0,167	0,190	0,122	0,235	0,145	0,148

gültig für die jeweiligen unhomogenisierten und 2D-Sorten

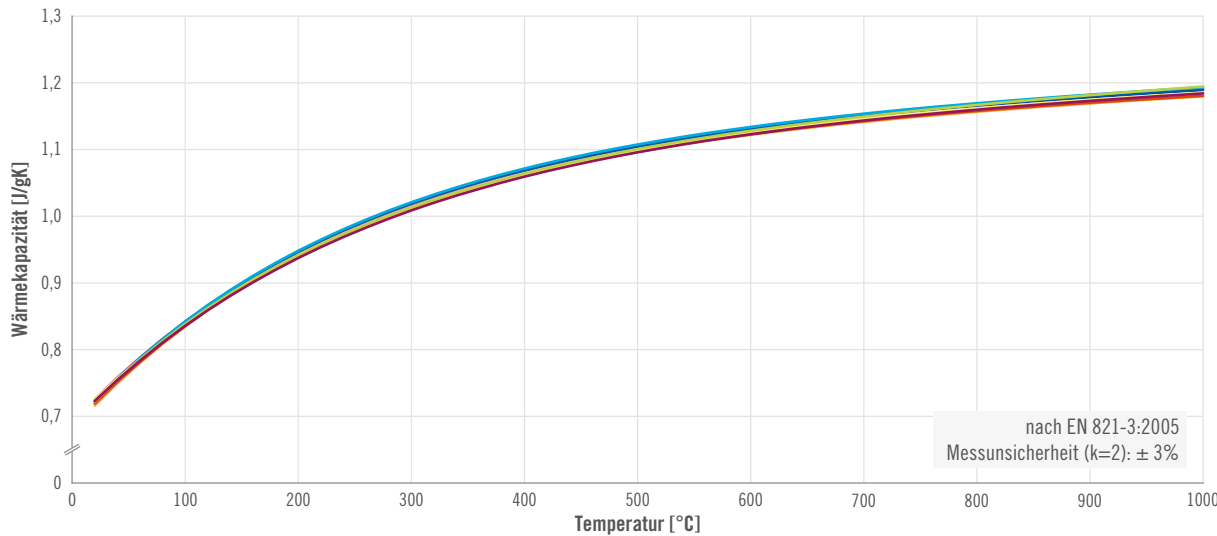
Relativer Temperaturkoeffizient der Brechungsindizes (Änderung gegenüber der umgebenden Luft)

λ [nm]	Natürliches Quarzglas		Synthetisches Quarzglas		Synthetisches Quarzglas mit OH < 1 ppm	
	0...20°C	20...40°C	0...20°C	20...40°C	0...20°C	20...40°C
365,0	11,3	11,5	11,1	11,4	11,0	11,2
404,7	10,9	11,1	10,7	11,0	10,6	10,8
435,8	10,7	10,9	10,5	10,8	10,4	10,6
480,0	10,5	10,7	10,3	10,5	10,2	10,4
546,1	10,3	10,5	10,1	10,3	9,9	10,1
587,6	10,2	10,4	10,0	10,2	9,8	10,0
632,8	10,1	10,3	9,9	10,1	9,7	9,9
643,8	10,1	10,3	9,9	10,1	9,7	9,9
852,1	9,9	10,0	9,7	9,9	9,5	9,7
1014,0	9,8	9,9	9,6	9,8	9,4	9,6
1064,0	9,8	9,9	9,6	9,8	9,4	9,6

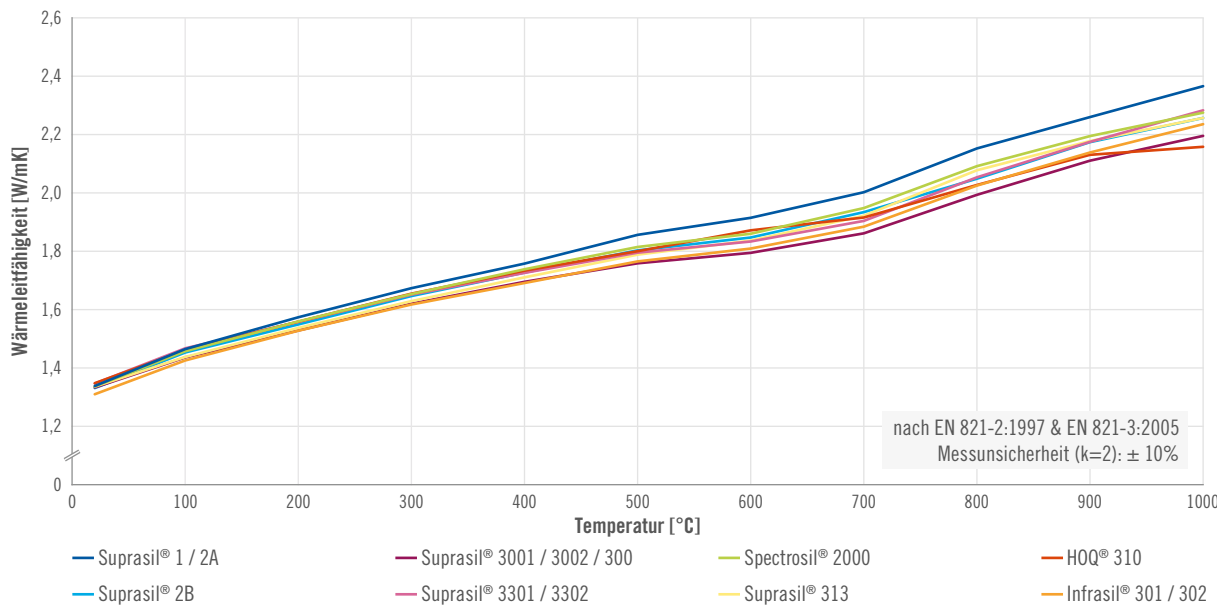
Thermische Eigenschaften

Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit

Wärmekapazität



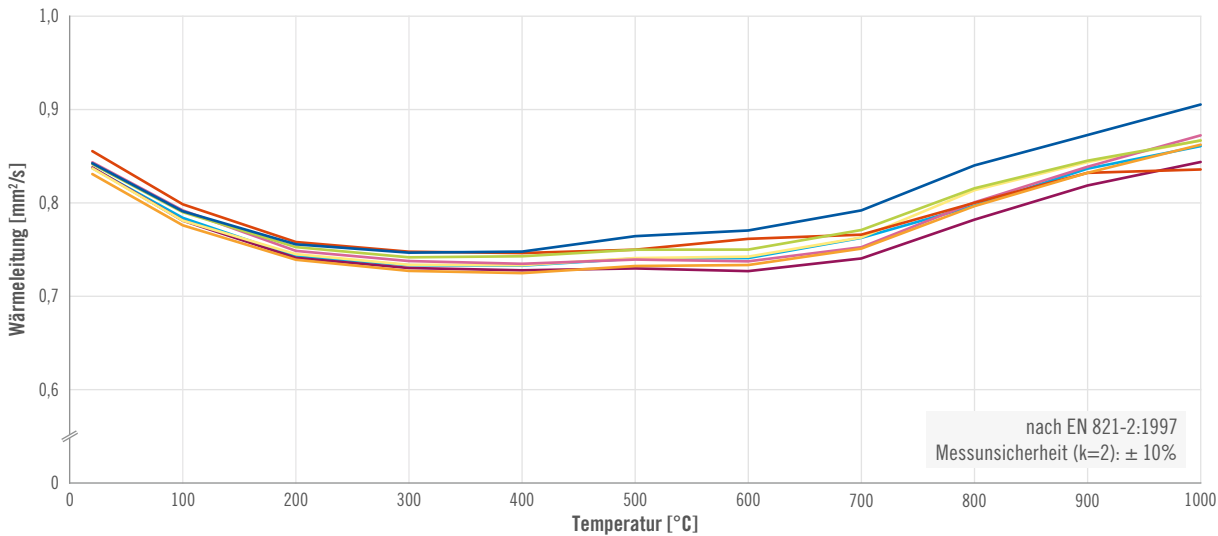
Wärmeleitfähigkeit



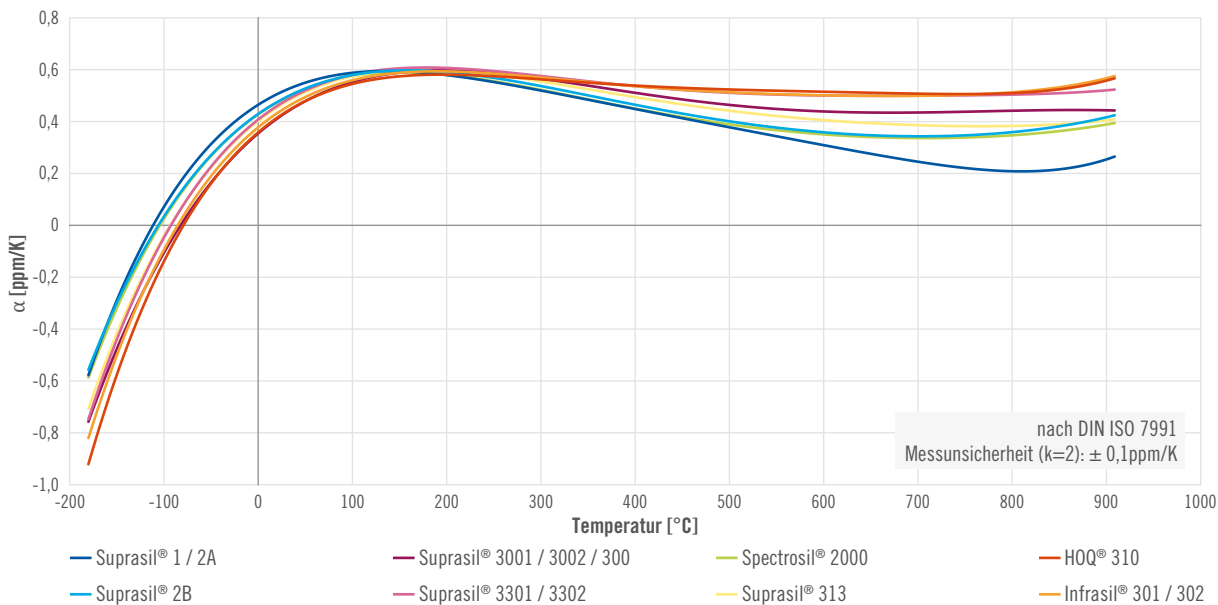
Thermische Eigenschaften

Wärmeleitung, Wärmeausdehnung

Wärmeleitung



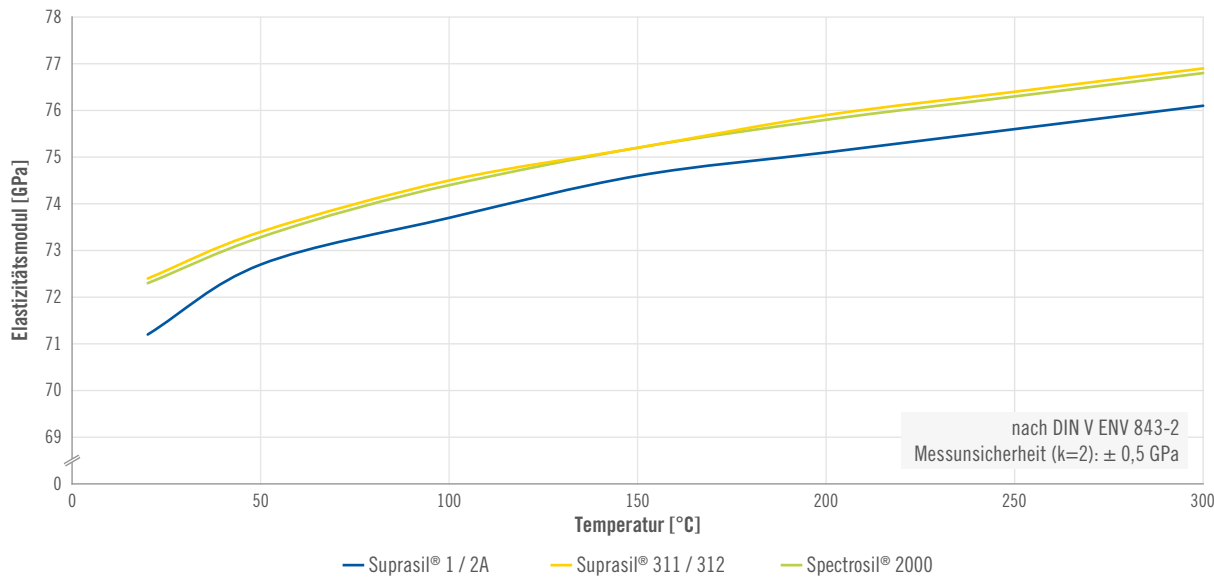
Wärmeausdehnung



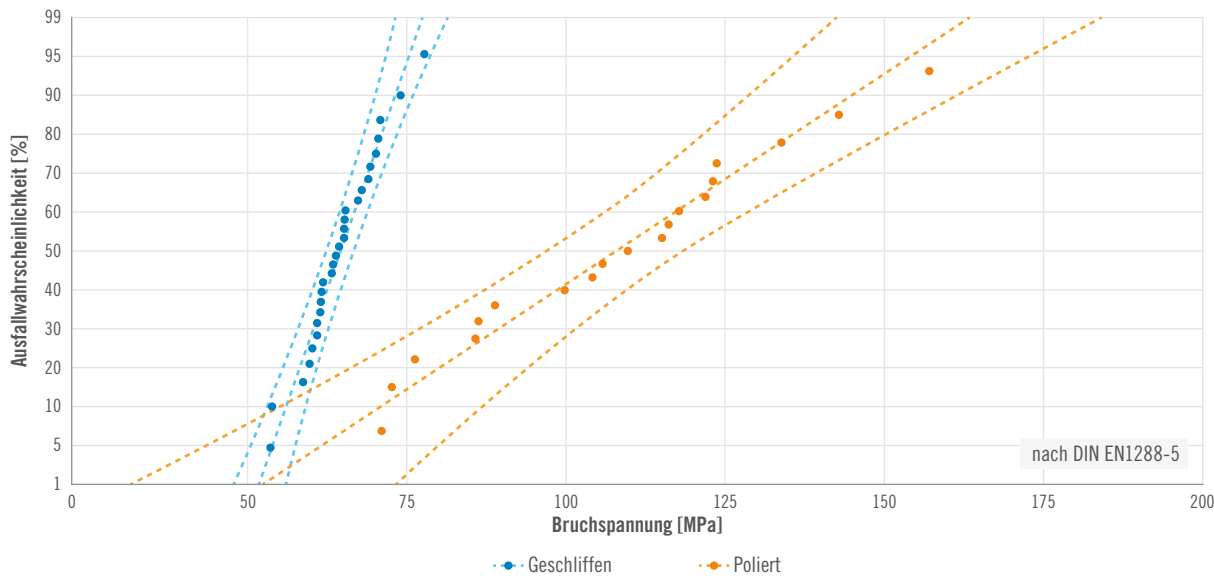
Mechanische Eigenschaften

Elastizitätsmodul, Weibull-Verteilung

Elastizitätsmodul



Weibull-Verteilung



Weitere mechanische Eigenschaften (bei Raumtemperatur)

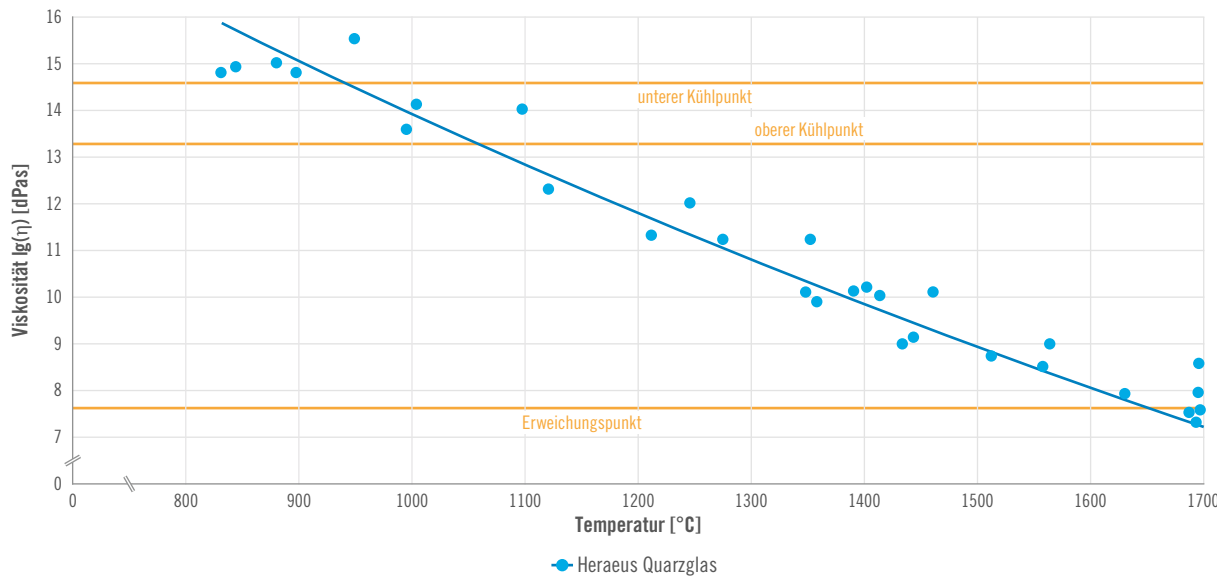
Elastizitätsmodul	72 GPa	Dichte	2,2 g/cm³
Schubmodul	31 GPa	Knoop Härte	565 HK 0,1/20
Poissonzahl	0,16	Schallgeschwindigkeit (longitudinal)	5900 – 5940 m/s

nach ASTM C1259 – 21 & DIN EN 4545-1:2018

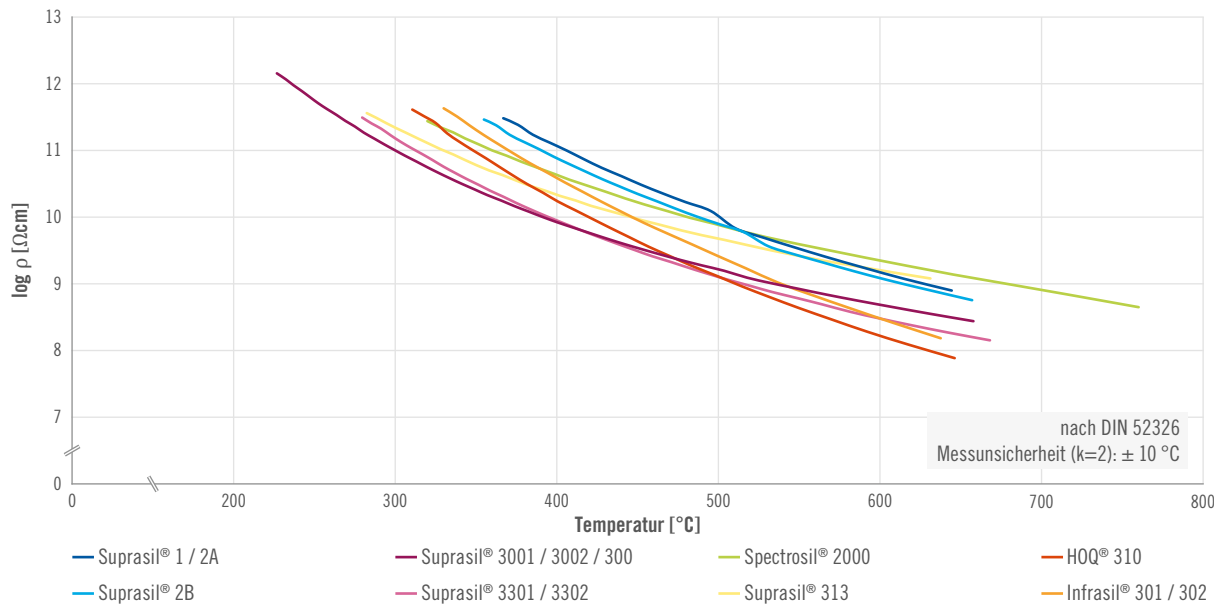
Mechanische Eigenschaften

Viskosität

Viskosität



Elektrischer Widerstand



Chemische Beständigkeit

	Natürliches Quarzglas	Synthetisches Quarzglas
Laugenbeständigkeitsklasse	A1	A1
Säurebeständigkeitsklasse	S1W	S1W

Laugenbeständigkeitsklassen nach ISO 695

- A1: geringer Angriff
- A2: mäßiger Angriff
- A3: starker Angriff

Säureklassen für Glas nach DIN 12116

- S1W: Säurebeständig
- S2W: schwach säurelöslich
- S3W: mäßig säurelöslich
- S4W: stark säurelöslich

Typische metallische Verunreinigungen

Synthetische Materialien	< 300 ppb
Natürliche Materialien	< 50 ppm



Wissenschaftliche Apparaturen und Industrieanlagen AG
Im Ifang 8, CH-8307 Effretikon
Renato Innocente
Tel. +41 44 317 57 20
E-Mail: r.innocente@wisag.ch

www.wisag.ch