

# Quarzglas

## Herausforderungen in der Optik

von Dr. Frank Nürnberg, Heraeus Quarzglas GmbH & Co KG – Photonics, frank.nuernberg@heraeus.com

### Wussten Sie schon, dass...

- jede internationale E-Mail, wenigstens in Teilen durch optische Fasern, die Quarzglas von Heraeus enthalten, gesendet wird?
- jeder Handy-Chip an irgendeinem Punkt seiner Entstehung mit Quarzglas von Heraeus in Berührung gekommen ist?
- Quarzglas von Heraeus ein Teil der ersten Mission auf dem Mond war? Reflektoren, die vor fast 50 Jahren dort platziert wurden, arbeiten heute noch.

Heraeus Quarzglas, mit dem Hauptsitz in Kleinostheim, stellt seit über 100 Jahren natürliches und synthetisches Quarzglas für ein weites Spektrum an Anwendungen her – Basismaterial für den Halbleiter-Markt, Lampenrohre für Speziallichtquellen, Vorformen für Telekommunikationsglasfasern und Spezialfasern für medizinische und industrielle Anwendungen. Ab 1934 fand Quarzglas erstmalig Verwendung in optischen Instrumenten. Das einzigartige Transmissionsverhalten im ultravioletten (<350nm) und infraroten (>800nm) Wellenlängenbereich macht Quarzglas zu dem optischen Material, wo andere Gläser aus dem Portfolio der über 120 optischen Gläser an ihre Grenzen stoßen.

Borosilikat, Kron- und Flintgläser zum Beispiel, die im Herstellprozess mit einer Vielzahl von Metalloxiden vermischt werden, besitzen einen Siliziumoxid Gehalt von 25-80%. Dies hat zur Folge, dass der Schmelzpunkt sinkt und dies die Materialverarbeitung vereinfacht. Amorphes, natürliches Quarzglas besitzt einen Siliziumoxid Gehalt von >99,997% und synthetisches Quarzglas von >99,9999%. Dies hat nicht nur einen Einfluss auf die Transmission zwischen 160-3500nm, sondern

macht es auch chemisch, mechanisch und thermisch außerordentlich stabil. Deshalb findet Quarzglas auch im Glasapparatebau weitläufige Anwendung. Aufgrund der niedrigen metallischen Verunreinigungen fertigen Glasbläser zum Beispiel daraus hochreine Prozessgefäße für den Halbleiter-Markt an.

Sobald jedoch optische Eigenschaften Voraussetzung für die Anwendung von Quarzglas sind, haben weitere Materialparameter wichtige Bedeutung. Sie unterscheiden sich nach Art der Nutzung der Lichtdurchlässigkeit und Lichtführung, z.B. durch Fenster, Linse, Prisma oder Lichtleiter. Wenn Quarzglas von Glasbläsern für optische Anwendungen verarbeitet wird, ist in der Regel die Transmission eine wichtige optische Eigenschaft, meist auch die einzige. Bei sonstigen optischen Anwendungen sind neben der Transmission aber auch die Homogenität der Brechungszahlverteilung, die spannungsinduzierte Polarisationsänderung sowie Blasen und Einschlüsse entscheidend.

Die wellenlängenabhängige Transmission durch ein optisches Element (s. Abbildung 1) wird durch das Verhältnis von der Austritts- zur Eintrittsintensität beschrieben. Man erkennt, dass es unterschiedliche Quarzgläser gibt, die variierendes Verhalten über den ganzen Wellenlängenbereich zeigen. Abhängig vom Herstellprozess des Quarzglases ergeben sich unterschiedliche Variationen [2], die die Transmission beeinflussen:

- (1) natürliches Quarzglas mit metallischen Verunreinigungen und niedrigem OH Gehalt, z.B. HOQ 310 oder Infrasil.
- (2) natürliches Quarzglas mit reduzierten metallischen Verunreinigungen und mittlerem OH Gehalt, z.B. Homosil 101 und Herasil 102.

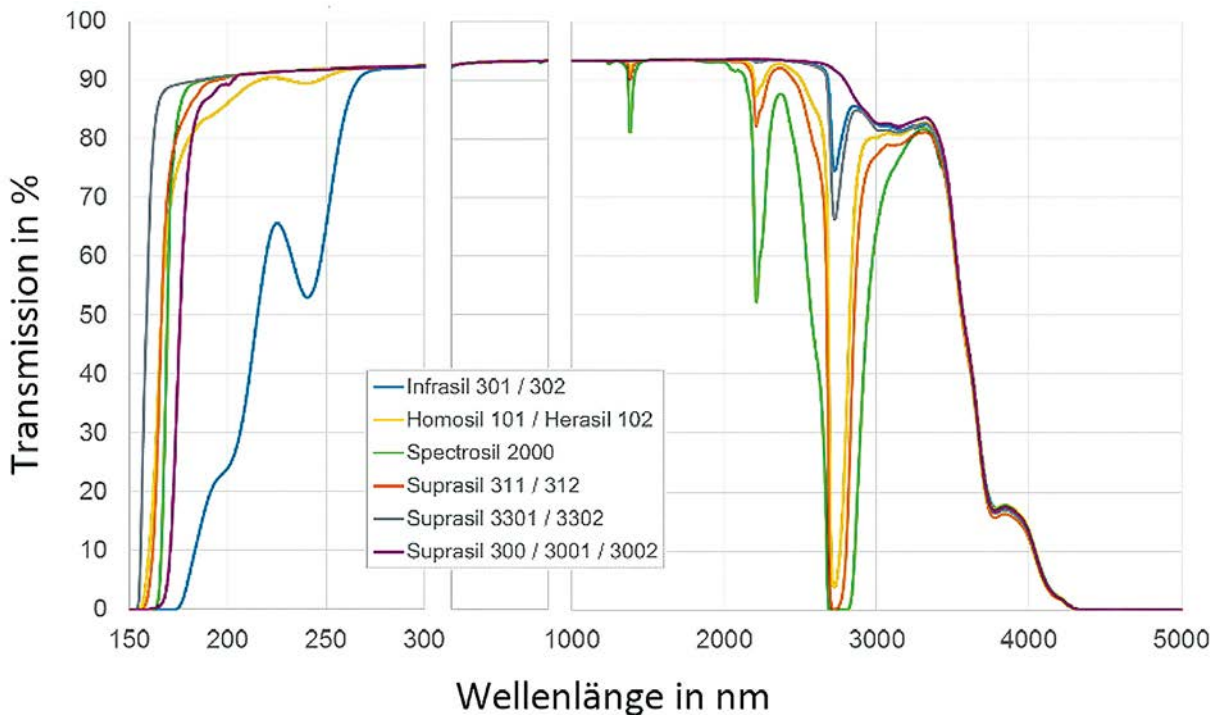


Abbildung 1: Transmission von 1cm dicken Proben der Variationen (1)-(4) inkl. Reflexionsverlusten an zwei polierten Oberflächen [1].

(3) synthetisch hochreines Quarzglas mit hohem OH Gehalt, z.B. Spectrosil 2000 oder Suprasil 1/2.

(4) synthetisch hochreines Quarzglas mit mittlerem und extrem niedrigen OH Gehalt, z.B. Suprasil 312/311, Suprasil 3301/3302 oder Suprasil 3001/3002/300

Quarzglas für den Infrarotbereich zeichnet minimalste, metallische Verunreinigungen und niedriger Hydroxyl Gehalt aus. Beide chemischen Bestandteile in der Glasstruktur führen dazu, dass Licht absorbiert wird und sich dadurch die optischen Eigenschaften ändern [3]. Bei Optiken für Hochenergieanwendungen, wie z.B. das Laserschneiden und –schweißen, führt Absorption dazu, dass sich die Temperatur des Materials erhöht, und der temperaturabhängige Brechungsindex Störungen der Fokussiereigenschaften der Optik im Laserkopf bewirkt. Durch optisches Quarzglas mit einem OH-Gehalt <1ppm ist es möglich den wachsenden Laserenergien gerecht zu werden.

Im energiereichen UV Bereich stellt man jedoch fest, dass die IR Materialien nicht die beste Leistung zeigen. Chemische Bestandteile die im IR helfen, bewirken hier eine Transmissions-Reduzierung. Quarzgläser der Wahl in diesem Wellenlängenbereich sollten chemisch noch reiner sein und einen höheren OH Gehalt besitzen. Für spezielle UV Laseranwendungen, wie z.B. Systeme, die

bei 248nm bzw. 193nm betrieben werden, hat sich gezeigt, dass die UV-Beständigkeit durch einen weiteren chemischen Bestandteil, molekular gelöstem Wasserstoff, verbessert werden kann, um Transmissionsverluste zu verringern und eine Langlebigkeit der Optik sicherzustellen.

Heraeus bietet weltweit das breiteste Materialportfolio, kann somit anwendungsorientiert Quarzglas anbieten und durch zusätzliche Bearbeitungsprozesse weitere optische Eigenschaften optimieren.

Für optische Anwendungen ist neben der Transmission auch die Homogenität der Brechzahlverteilung des Materials sehr wichtig. Denn die Optik lässt sich beschreiben durch den Transport und die Veränderung von Licht. Gerade bei bildgebenden Prozessen oder bei der Fokussierung von Laserstrahlen ist es wichtig, dass die Ausbreitungsrichtung des Lichts nicht durch Materialfehler in seiner Optik beeinflusst wird. Das Maß für die Schwankung der Brechzahl im Quarzglas nennt man „optische Homogenität“. Ursachen für diese Schwankungen können der Gradient der chemischen Verteilung, Dichteveränderungen durch Temperaturkurven oder der Abkühlprozess bei der Herstellung des Rohmaterials sein. Mittels Interferometrie kann man die relative Verteilung der Brechzahl (PV Wert) oder lokale Störungen (Hochfrequenzstörungen) messen.

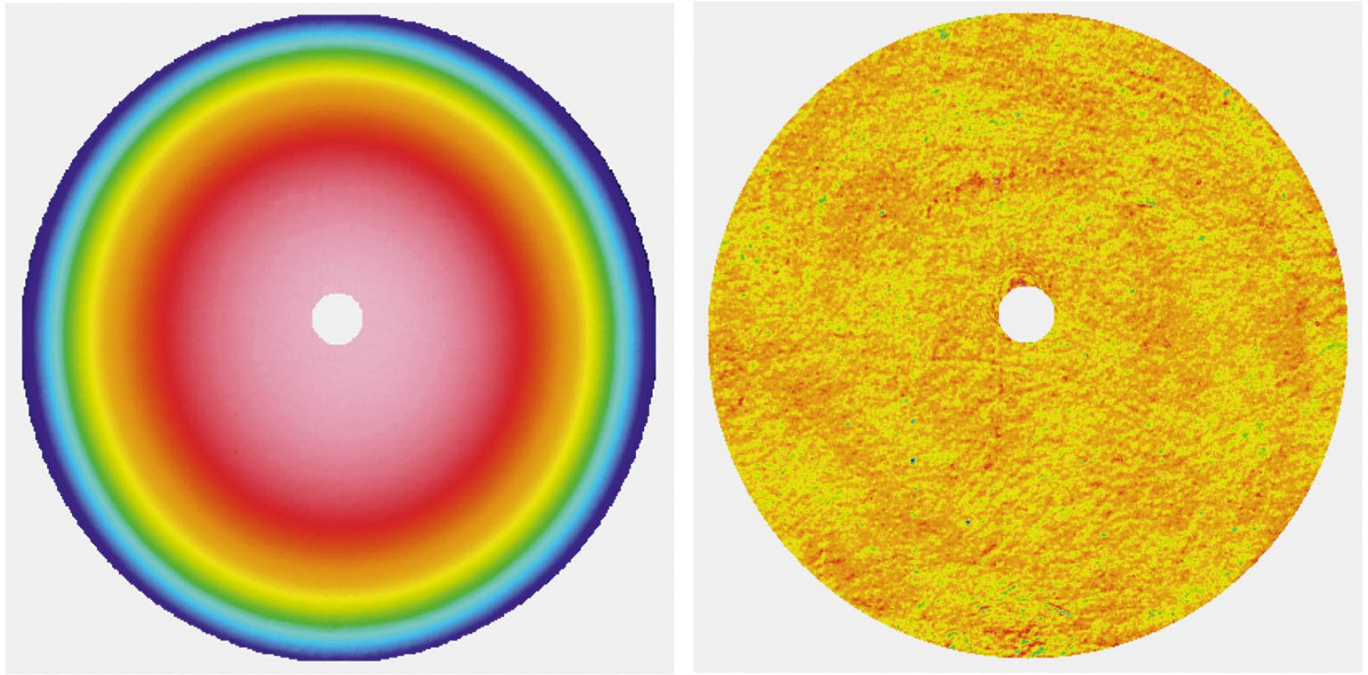


Abbildung 2: Typische Messung der Optische Homogenität – links: PV Wert, rechts: keine lokale Störungen vorhanden in der Homogenität vorhanden.

Abbildung 2 zeigt eine typische Messung der optischen Homogenität an einer Quarzglasplatte sowie das nicht Vorhandensein von lokalen Störungen in der Brechzahl. Einzig unter allen Quarzglas Herstellern verwendet Heraeus einen patentierten Prozess, der es ermöglicht nach der Rohmaterialherstellung durch einen weiteren Prozessschritt (dem sog. „Homogenisieren“) Quarzglas bezüglich seiner Brechzahlverteilung zu verbessern. Als Ergebnis erhält man ein radialsymmetrisches Homogenitätsprofil und lokale Störungen werden vermieden, wie Abbildung 2 zeigt.

Eine weitere optische Eigenschaft, die eine Optik stark verändern kann, ist die spannungsinduzierte Polarisationsänderung. Spannungen im Quarzglas, hervorgerufen durch Temperaturunterschiede während des Abkühlprozess oder durch nachträgliche mechanische Bearbeitung, bewirken, dass die Polarisation des Lichts bei dem Durchgang durch das Quarzglas beeinflusst wird und sich damit eine wichtige Eigenschaft des Lichts ändern kann. Zusätzlich kann man die eingebrachte Spannung jedoch auch als Risikofaktor für Glasbruch sehen, welcher im Glasapparatebau von großer Bedeutung ist. Entspannungsätzen sowie Temperprozesse (kontrolliertes Erwärmen und Abkühlen) ermöglicht es, die Spannungswerte im Quarzglas zu reduzieren.

Wenn aus unterschiedlichen Quarzglaskomponenten durch Zusammensetzen ein Prozessgefäß entsteht, das in der Spektroskopie Anwendung findet, muss vom

Glasbläser gewährleistet werden, dass entlang der Funktionsrichtung fehlerlose Lichttransmission möglich ist. Luftblasen würden hier einen großen Einfluss auf das Messergebnis nehmen. Der Einfluss von Blasen und Einschlüssen bei optischen Anwendungen ist aber bei weitem größer. Blasen auf Spiegeloberflächen verändern die Reflektivität, Blasen in Linsen und Fenstern bewirken eine Ablenkung des Lichts und in Hochenergie-Lasersystemen kann die Beständigkeit bzw. Lebensdauer drastisch reduziert werden. Ein weiterer Vorteil des oben beschriebenen Homogenisierungsprozesses ist es, die Größe und Menge von Blasen in Quarzglas auf ein Minimum zu reduzieren. Damit lässt sich reproduzierbar Quarzglas herstellen, das nachweislich keine Blasen/Einschlüsse aufweist, selbst wenn man mit einer Genauigkeit bis 10µm prüft. Somit ist alles vorbereitet, um den nächsten Generationen von Hochleistungslasern das passende optische Material zur Verfügung stellen zu können.

Die mehr als 100jährige Erfahrung in der Quarzglasherstellung ermöglicht es Heraeus, optisches Quarzglas zuverlässig mit konstanten, optischen Eigenschaften herzustellen und auf Anwendungen explizit anzupassen. 2017 ging der Physiknobelpreis an die experimentelle Entdeckung der Gravitationswellen, die vor über 100 Jahren von Albert Einstein vorhergesagt wurden. Mit Hilfe des Laser-Interferometers LIGO (USA) [4] wurden Weglängenänderungen von 10-18m nachgewiesen. Hierfür waren Quarzglasoptiken notwendig, die abso-

lut homogen in der Brechzahl sind und den geringsten Transmissionsverlust (und Absorption) haben. Das VISTA Teleskop [5] in Chile untersucht den Sternenhimmel im Infrarotbereich. Das Kamerasystem im Durchmesser von fast 1 Meter muss hierfür für Wellenlängen im Infraroten bestmöglich durchlässig sein. Laser-Fusion-Projekte wie die National Ignition Facility (USA) [6] oder Laser Megajoule (Frankreich) [7] versuchen aus der Verschmelzung von Heliumkernen durch Laserbestrahlung eine Alterna-

tive zur Kernspaltung zu entwickeln. All dies wird durch Quarzglasoptiken, die im Infraroten und Ultravioletten Wellenlängenbereich bestmögliche Leistungen zeigen, ermöglicht.

All diese Beispiele zeigen, dass heutige Quarzgläser nicht mehr aus Industrie und Wissenschaft wegzudenken sind. Umso wichtiger ist es, die Herausforderungen an die optischen Eigenschaften stetig zu verbessern, um zukünftige Entwicklungen unterstützen zu können.

[1] mehr im Transmissionsrechner unter [www.heraeus-quarzglas.de/Quarzglaswissenglossar](http://www.heraeus-quarzglas.de/Quarzglaswissenglossar)

[2] mehr im Datenblatt unter [www.heraeus-quarzglas.de/Download](http://www.heraeus-quarzglas.de/Download)

[3] Nürnberg, F. und Kühn, B., Proc. SPIE 9632, 96321R (2015).

[4] Abbott B.P und weitere, Physical Review Letter 116, 061102 (2016); oder mehr unter [www.ligo.org](http://www.ligo.org)

[5] mehr unter [www.eso.org/public/germany/teles-instr/paranal-observatory/surveytelescopes/vista/](http://www.eso.org/public/germany/teles-instr/paranal-observatory/surveytelescopes/vista/)

[6] mehr unter <https://lasers.llnl.gov>

[7] mehr unter <http://www-lmj.cea.fr>

Anzeige

## WERKZEUGE, MASCHINEN, ZUBEHÖR & GLAS



### Fusingöfen, Exzentrerschleifer, Sägen etc.

die TGK bietet alles an Werkzeugen und Maschinen an, was das Gestalter Herz höher schlagen lässt.

- Tellerschleifer
- Bandschleifer
- Graviergeräte
- Werkzeuge
- Fusingöfen
- Lötgeräte

Wir freuen uns auf Ihre Anfrage



TGK GmbH

Helleforthstraße 18-20

D-33758 Schloß Holte-Stukenbrock

fon +49.(0)5207 . 9128-0

fax +49.(0)5207 . 9128-40

mail: [tgk@tgk.de](mailto:tgk@tgk.de)

web: [www.tgk.de](http://www.tgk.de)

Wir DRUCKEN auf GLAS...[www.druckenaufglas.de](http://www.druckenaufglas.de)

Provetto  
Gruppe