

# Moderne Ofentechnik für Glas und Quarze

Dr. Olaf Irretier, Frank Bartels

*Die besonderen Eigenschaften der Glas- und Quarzglaswerkstoffe wie Hochtemperatur- und Korrosionsbeständigkeit prädestinieren diese Werkstoffe für eine Vielzahl von Anwendungen. Ob als Tiegel, Boote oder Diffusionsrohre in der Halbleiterindustrie, als Preforms für Quarzfasern in der optotechnischen Industrie oder als Ummantelung in der Hochtemperaturtechnik für Infrarotstrahler, Glas- und Quarzglaswerkstoffe sind aus vielen Bereichen der modernen Technik nicht mehr wegzudenken.*

Verfahrensbedingt kommt dem Ofenbauer bei der Herstellung von Glas eine besondere Bedeutung zu, da der gesamte Herstellungs- und Verarbeitungsprozess unter erhöhten Temperaturen stattfindet. Aufgrund der Gefahr innerer Spannungen wird die Wärmebehandlung sehr langsam durchgeführt. Außerdem ist zu beachten, daß die Temperaturbeständigkeit und damit auch der Einsatzbereich dieser Materialien durch Verunreinigungen und Kontaminationen (Salze, Dämpfe, Stäube) bestimmt wird. Das Ziel einer Wärmebehandlung – und somit auch Anforderung an den Ofenbauer – ist die Gewährleistung einer optimalen Reinheit der Ofenatmosphäre.

Je nach Anwendung kommen Kammer-, Hauben- oder Herdwagenöfen mit normaler, neutraler oder auch reduzierender Atmosphäre zum Einsatz.

## Schmelzen

Die Herstellung bzw. das Schmelzen Technischer Gläser findet bei Temperaturen bis 1500 °C (Quarzglas 1700 °C) statt. Technisches Glas wird großindustriell überwiegend aus Kieselsäure sowie Natron und Kalk in brennstoffbeheizten Hafenoefen oder Glasschmelzwannen erschmolzen, die



Bild 1: Ofen zum Schmelzen von Glas Bild: Gero

zur Aufnahme des Glases mehrere hundert Liter große Wannen besitzen.

Die große Verbreitung von Bleisilikatgläsern liegt nicht nur an deren guten physikalisch-chemischen Eigenschaften, sondern auch am verhältnismäßig geringen Schmelzpunkt von etwa 750 °C. Borsilikatgläser weisen eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit auf. Die Schmelztemperatur dieser Gläser liegt oberhalb von 1000 °C.

In Bild 1 ist ein Ofen zum Schmelzen von Glas im Dauerbetrieb dargestellt. Der Ofen wird automatisch von oben über einen eingebauten Tiegel beschickt. Die Glasschmelze befindet sich in einem Tiegel und läuft als Schmelzfaden in ein darunter befindliches Auffanggefäß oder Form. Zum

Chargieren wird der Ofen auf eine standby-Temperatur von ca. 1000 °C abgekühlt, der Boden des Haubenoefens abgesenkt und der Tiegel entnommen.

## Sintern

Beim Sintern werden Glaspulver durch Trockenpressen zu Formteilen hergestellt und anschließend bei Temperaturen von 600 bis 700 °C gesintert. Das Sintern von Glasteilen bietet sich vor allem bei geometrisch komplex geformten Bauteilen an, die durch eine Heißverformung nicht oder nur schwer herzustellen sind.

Bild 2: Herdwagen-Luftumwälzofen „Nabertherm W 5000/A“



Wie bei sonst üblichen Verfahren der Pulvermetallurgie oder der Keramik, muß auch beim Glassintern das während der Verformung haltgebende Bindermaterial vor dem Sintervorgang aus dem Bauteil entfernt werden. Dies geschieht während der Aufheizphase durch einen steten Atmosphärenwechsel im Ofen.

Als Sinteröfen für die Glasherstellung kommen vor allem Umluftöfen zum Einsatz, die konstruktiv bedingt zu einem kontinuierlichen Atmosphärenaustausch führen. Außerdem weisen diese Öfen eine sehr gute Temperaturverteilung auf, so daß durch überhöhte Temperaturen bedingte Versprödungen und Abplatzungen vermieden werden können (Bild 2).

### Spannungsarmglühen, Tempern oder Köhlen

Um Glas (und Quarz) konventionell spanend bearbeiten zu können, müssen diese frei oder arm an inneren Spannungen (Eigenspannungen) sein. Dieser Zustand ist daher für die Herstellung technischer Bauteile und Halbzeuge unerläßlich.

Spannungen entstehen in Gläsern auf unterschiedliche Weise durch mechanische Belastungen oder durch schnelle und ungleichmäßige Abkühlung im und unterhalb des Gefrierbereiches, bei dem das unterkühlte flüssige Glas ungeordnet erstarrt und Spannungen erzeugt (Übergang vom stabilen Zustand des Glases in den

eingefrorenen Zustand). Mit dem Einfrieren des Glases ist kein Spannungsabbau durch plastisches Fließen mehr gegeben, so daß ein Abbau von Eigenspannungen nur bei erneutem Erhitzen oberhalb des Gefrierberei-

Dr.-Ing. Olaf Irretier (33) ist bei Nabertherm Leiter Marketing. Frank Bartels (35) leitet bei Nabertherm den Geschäftsbereich Glas und Keramik.

ches, einem entsprechend langen Halten unter homogener Temperaturverteilung und einer anschließend definierten Abkühlung stattfinden kann. Dieser Prozeß wird als Spannungsarmglühen, Tempern oder Köhlen von Glas bezeichnet.

Da Glas nach der Erstarrung in einem metastabilen, im Ungleichgewicht befindlichen Zustand vorliegt, hängen die physikalischen Eigenschaften von der Abkühlgeschwindigkeit ab. Der mit dem Köhlen einhergehende Entspannungsprozeß ist ein definierter Temperatur-Zeit-Verlauf:

- a) Langsames Aufheizen bis etwa 10 °C oberhalb der Kühltemperatur
- b) Gleichmäßige Durchwärmung und Entspannung des Glases
- c) Langsame Abkühlung durch den Gefrierbereich zur Vermeidung der Neubildung von Eigenspannungen
- d) Nach Erreichen der unteren Grenze des Gefrierbereiches wird die Abkühlgeschwindigkeit gegenüber c) verdoppelt
- e) Endabkühlung mit etwa 10facher Abkühlgeschwindigkeit gegenüber c)



Bild 3: Temperofen „Nabertherm Variotherm H250“

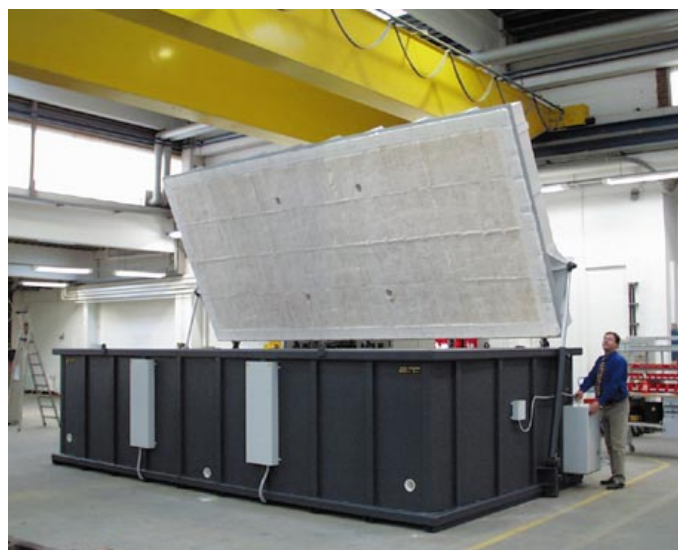


Bild 4: Kammer-Truhenofen zum Tempern großer Teile

Öfen zum Spannungsarmglühen, Tempern oder Kühlen sind in der Regel elektrisch oder brennstoffbeheizte Kammer-, Hauben- oder Herdwagenöfen. Diese Öfen werden bis zu Maximaltemperaturen von 900 °C (Glas) bzw. bis zu 1600 °C (Quarzglas) ausgelegt (Bild 3).

Synthetische Quarzglasrohre mit einer Reinheit von besser als 99,99 Gewichtsprozent SiO<sub>2</sub> für die optische Nachrichtenübertragung und die Halbleiterindustrie werden in speziellen, an die Länge der Quarzrohre angepaßte Kammeröfen getempert (Bild 4).

Siliziumcarbid-beheizte Öfen können je nach Isolieraufbau für Maximaltemperaturen von bis zu 1550 °C zum Tempern von Quarzglas ausgelegt werden (Bild 5). Durch den Einsatz



Bild 5: Temperofen für Quarzglas bis 1550 °C „Nabertherm Variotherm HC 665/S“

von Siliziumcarbid und eine Isolierung aus speicherarmen Fasermaterial erreicht der kalte Ofen sehr schnell seine Arbeitstemperatur. Zur schnelleren Kühlung können diese Öfen außerdem mit entsprechenden Gebläsen ausgestattet werden.

#### Verschmelzen oder Fusen

Das Verschmelzen oder Fusen von farbigen Flachgläsern wird in speziellen Fusingöfen bei Temperaturen bis 950 °C durchgeführt. Hierbei werden die Farbgläser übereinander gelegt

und bei entsprechender Ofentemperatur miteinander verschmolzen (Bild 6). Die so hergestellten Gläser werden im Möbelbereich für Türfüllungen, im Sanitärbereich und in der Leuchtenindustrie eingesetzt.

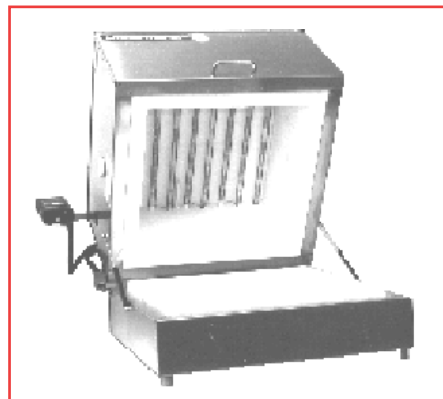


Bild 6: Fusingofen „Nabertherm H75/GS“

#### Beschichten und Brennen

Die Beschichtung und das Einbrennen von Gläsern benötigt Temperaturen bei Hohlgläsern von 580 °C und bei Flachgläsern von 630 °C und wird üblicherweise in Kammer- und Haubenöfen durchgeführt. Für diese Prozesse ist eine optimale Temperaturverteilung von ± 5 K oder besser notwendig, die durch eine mehrzonige Ofenregelung erreicht wird.

Beschichtungen mit Schmelzglas oder auch Emaille genannt, werden bei Temperaturen bis 1200 °C in wenigen Minuten in einer möglichst dünnen und geschlossenen Schicht auf ein der Regel metallisches Substratmaterial aufgeschmolzen. Die Emaillefarben bestehen aus Naturrohstoffen wie Quarz, Feldspat, Soda,

Borax und einer Reihe von Metalloxiden als Farbmittel (Bild 7).

Das Brennen von Glasmalerei, das der Verzierung von Flachgläsern dient, unterscheidet sich von der Kabinettmalerei, bei der kleinformatige Bilder auf



Bild 7: Herdwagenofen zum Emaillieren

monolithischen Schichten aufgemalt und bei Temperaturen bis 650 °C gebrannt werden. Die Glasfarben bestehen aus einem leichtschmelzenden bor- oder bleihaltigem Glas und den als Farbkörper eingesetzten Metalloxiden.

Der Infrarot-Wechseltischofen „Ceramothers IR 504/90“ in Bild 8 wird zum Dekorieren von Glas bei einer Arbeitstemperatur von etwa 570 °C eingesetzt. Die Beheizung erfolgt über spezielle Infrarot-Heizstäbe und Reflektoren im Ofenraum. Die Faserisolierung in Verbindung mit der Infrarotbeheizung resultiert in außerordentlich kurzen Zykluszeiten. Beim Dekorieren von Porzellan erreichen Anwender mit diesem Ofen zur Zeit



Bild 8: Infrarot-Wechseltischofen „Ceramothers IR 504/90“

bis zu sechs Brennzyklen in einer 9-Stunden-Schicht. Dieses Modell eignet sich daher besonders für die Herstellung von Kleinserien mit wechselnden Brenntemperaturen. Hersteller von Porzellan, die große Serien in Tunnel- oder Rollenöfen brennen, können Kleinserien mit diesem Ofenkonzept herstellen und so auf die Schwankungen des Marktes flexibel und wirtschaftlich reagieren.

### Biegen und Senken

Das Biegen von Glas, d. h. die Heißverformung von Flachglas über eine Schamotte oder Metallbiegeform, dessen Oberfläche mit feinem Trennmittel überzogen ist, findet in einem elektrisch oder brennstoffbeheizten Biegeofen bei etwa 700 °C statt. Kleinere Scheiben oder schwache Tafeln werden in einer ausgesparten Wölbung gesenkt. Große Glasscheiben werden über einer konvexen Form gebogen. Beim Glasbiegen sollte der Biegevorgang nur durch die Schwerkraft des Glases erfolgen, andernfalls würden Eigenspannungen im Werkstoff und Abdrücke auf der Oberfläche entstehen.

Großtechnisch setzen glasbearbeitende Betriebe Haubenöfen mit Volumen von mehreren tausend Litern zum Wölben und Biegen von Flachglas ein (Bild 9). Öfen dieser Art werden aus konstruktiven und wirtschaftlichen Gründen mit Fasermaterial ausgekleidet. Die Haube ist in der Regel beheizt, der Tisch des Ofens ist in Wannenform für Ausformarbeiten am Glas gemauert.

Optische Gläser und Uhrengehäuse werden beispielsweise durch Senken von Flachgläsern hergestellt. Hierzu wird das Glas auf den Rand einer Form gelegt. Durch Erhitzen beginnt das Glas zu fließen und sich der entsprechenden Geometrie der Form anzupassen (Bild 10).



Bild 9: Glasbiegeofen für großindustrielle Anwendungen

### Verarbeitung

Die Verarbeitung technischer Gläser geschieht aufgrund ihrer Material- und Anwendungsvielfalt auf unterschiedlichste Weise durch Blasen, Pressen, Ziehen oder Walzen. Die Erweichungstemperatur von Gläsern liegt bei ca. 500 °C, die der Quarze bei etwa 1200 °C, so daß ein Erwärmen der Gläser oberhalb dieser Temperaturen erfolgen muß. Anschließend werden diese in Kammer- oder Herdwagenöfen getempert oder gekühlt (Bild 11).

### Wichtig: homogene Wärmebehandlung

Ofen- und Wärmebehandlungstechniken kommen bei Herstellung und Verarbeitung von Glas und Quarz in vielschichtiger Weise zum Einsatz. Da sich Eigenspannungen bei Glas- und Quarzbauteilen im Vergleich zu anderen Werkstoffgruppen besonders störend auswirken, ist eine temperaturgenaue und über den Bauteilquerschnitt homogene Wärmebehandlung besonders wichtig. □



Bild 10: Glasbiegeofen für optische Gläser  
Bild: Gero



Bild 11: Umluft-Kammerofen zum entspannen von Brillengläsern  
Bilder 2–9, 11: Nabertherm