

Spannungsmessung

von Robert Wöfl

Glas ist im Allgemeinen ein amorpher und nicht doppelbrechender Werkstoff. Seine Moleküle liegen in einem Zustand vor, der in der Literatur als „Primärer“ Spannungszustand bezeichnet wird. Dieser Spannungszustand tritt jedoch nicht in Erscheinung, weil er sich in der gesamten Masse gleichmäßig in alle Richtungen verteilt.

Jedem Glasbläser ist es jedoch schon einmal passiert, dass durch eine Unachtsamkeit Spannungen in sein Werkstück gekommen sind, die es zu Bruch bringen.

Hier sollte darauf eingegangen werden, welche hauptsächlichsten Arten von Spannungen bei verschiedenen Arbeitsgängen entstehen, und wie diese mit Hilfe des allgemein eingesetzten Polarimeters (Polarisations-Spannungsmesser) interpretiert werden können.

Beim Erwärmen eines spannungsfreien Glasrohres entstehen in der Regel in der Außenhaut ungefährliche Druckspannungen, die, wenn Sie nicht über ein bestimmtes Maß hinausgehen, dem Werkstoff bzw. dem Glaskörper nicht schaden.

Spannungsarten:

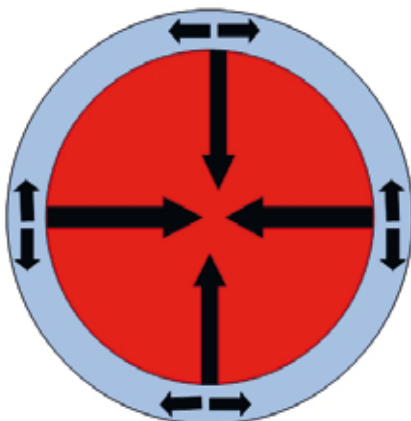
Druckspannung:

In allen Bereichen des Glaskörpers, die vorzeitig abgekühlt werden, in den Wandoberflächen und relativ dünnwandigen Zonen, entsteht Druckspannung.

Zugspannung:

In den Bereichen des Glaskörpers, die sich später abkühlen, in der Wandmitte oder in den Innenflächen, entsteht Zugspannung.

Spannungen im Glas



Beim Abkühlen einer Kugel erstarrt zuerst die Außenschicht und setzt dem Schrumpfungsbestreben des noch heißen Kerns eine Grenze. Das Innere der Kugel erstarrt also ohne dass sich sein verminderter Raumbedarf auswirken kann.

in der Außenschale entsteht eine
tangentele Druckspannung
(vorzeitige Abkühlung)

im Kern entsteht eine
radiale Zugspannung
(verzögerte Abkühlung)

Temporäre Spannung

Temporäre Spannungen entstehen durch Temperaturunterschiede unter der Transformationstemperatur und gleichen sich bei Raumtemperatur wieder aus.

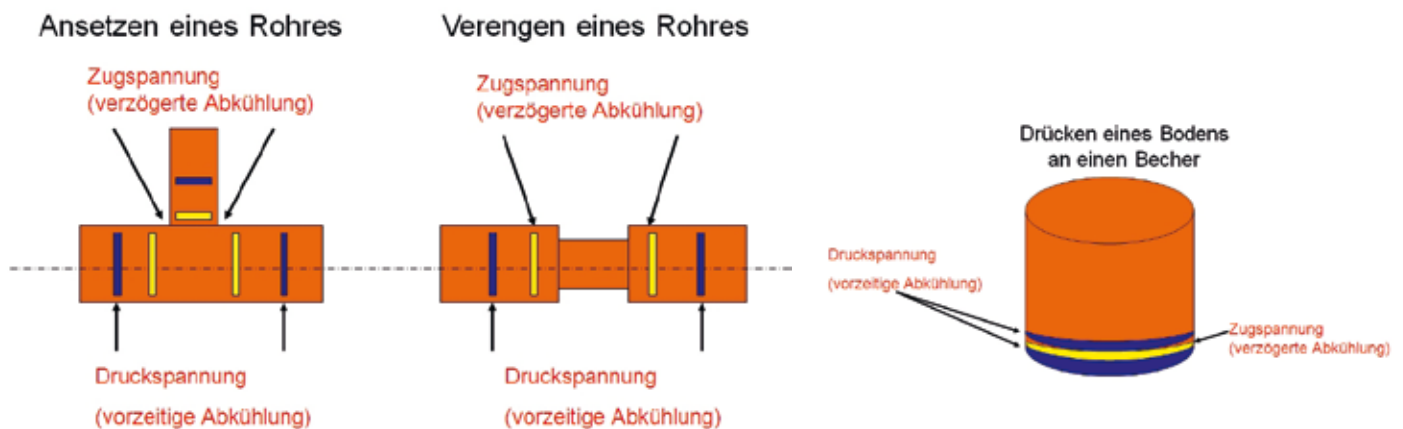
Permanente Spannung

Permanente Spannungen können durch Überhitzung im Glas über Transformationstemperatur entstehen, z.B. im Gebrauch, durch Abschreckung aus dem zähflüssigen Zustand oder bei der Herstellung. Diese Spannungen bleiben im Glas eingefroren, werden sie nicht durch einen gezielten Kühlprozess beseitigt.

Wenn sich allerdings temporäre mit permanenten Spannungen in einem beispielsweise ungenügend oder nicht entspannten Werkstück überlagern, führt gewöhnlich die Zugspannung zum Bruch.

Torsions- und Scherspannungen werden in diesem Artikel nicht betrachtet!

Entstehung von Spannungskonzentrationen bei diversen Arbeitsgängen!



Die Glasspannungen lassen sich auf direkte Weise am durchsichtigen, vorgespannten Bauteil beobachten. Opa-ke undurchsichtige Gläser sind mit dieser Methode nicht messbar. Grundlage ist die Doppelbrechung des Glases, das unter mechanischer Spannung steht und im polarisierten Licht Interferenzerscheinungen zeigt. Das linear polarisierte Licht spaltet sich in einen schnelleren und einen langsameren Teilstrahl. Die Differenz dieser Teilstrahlgeschwindigkeiten ist der Gangunterschied (= U_1 , der in nm (nanometer, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) gemessen und auf 1 cm Glasdicke bezogen wird. Zug- und Druckspannungen werden mit Hilfe eines geraden, spannungslosen Glasstabes (Eichstab) gemessen, der im Winkel von 45° zur Polarisationssebene des Analysators in das Gesichtsfeld gebracht und etwas um seine Achse gebogen wird: an der konkaven Seite der Biegung entstehen Druckspannungen, an der konvexen Seite Zugspannungen. Bei axialer Zugspannungsrichtung, parallel mit der optischen Achse der eingeschalteten Verzögerungsscheibe, wird der Gangunterschied vom Grundgangunterschied subtrahiert. Bei Druckspannungen wird bei gleichen Bedingungen dagegen addiert. Beide Größen sind jedoch in ihrer absoluten Größe (nm/cm) gleich. Das gespannte Glas weist je nach der Größe der Spannungen charakteristische Farben auf. Bei ideal entspanntem Glas ist der Gangunterschied 0 nm/cm , es gibt keine Farbänderung. Bei der Verwendung von „weißem“ Licht, d.h. Tages- oder Glühlampenlicht, würden jedoch in einem schwarzen Gesichtsfeld erst bei verhältnismäßig großen Spannungen im Glas größere Gangunterschiede feststellbar sein. Aus diesem Grund schiebt man zwischen die gekreuzten Polarisatoren eine Verzögerungsscheibe ein, die bei Verwendung eines Gipsplättchens Violettrot 1. Ordnung (= $\lambda/4$ Plättchen), einen dauernden Gangunterschied von 565 nm erzeugt, das Gesichtsfeld erscheint violettrot. Man kann auch andere Verzögerungsscheiben, z.B. ein Kristallplättchen Rot 1. Ordnung mit einem Gangunterschied von 530 nm einschalten, die Kenntnis des verwendeten Plättchens im Spannungsprüfer ist bei genaueren Farbenbeurteilungen wichtig. Durch diesen optischen Trick erreicht man eine bessere Erkennbarkeit auch geringerer Glasspannungen, der Gangunterschied 565 nm ist dann der Grundgangunterschied, zu dem die im Gerät am gespannten Glasprüfling ermittelten Gangunterschiede (= U_2) addiert oder subtrahiert werden. Ein, durch das gespannte Glas hervorgerufener Gangunterschied, zeigt einen Farbumschlag vom violetten Gesichtsfeld in Richtung Blau oder Orange. Je nachdem, ob Addition oder Subtraktion vorliegt.

Wirkungsweise des optischen Spannungsprüfers

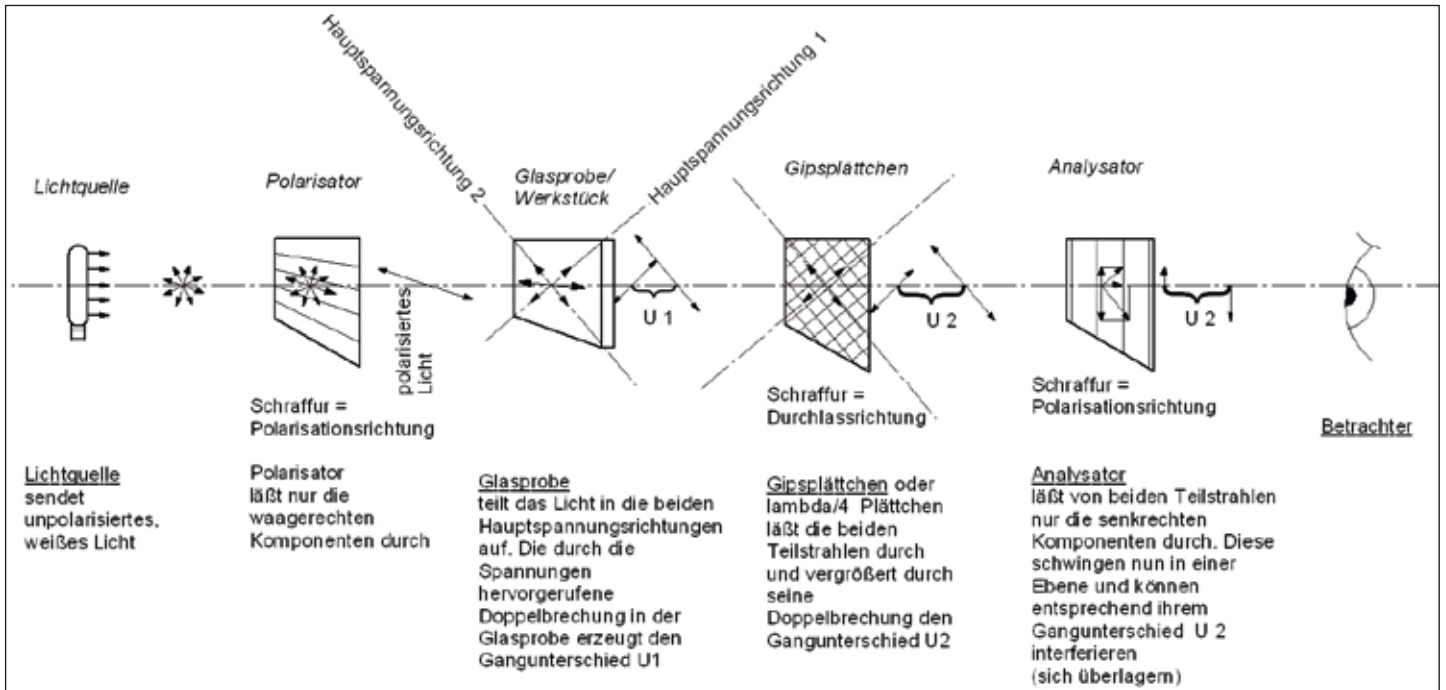


Abb. 1

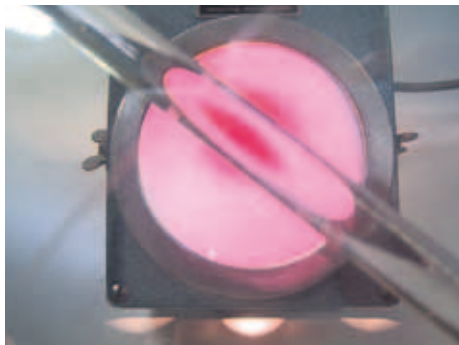


Abb. 2



Abb. 3

Als Spannungsprüfer wird in Glasbläsereien vielfach das Modell der Fa. Arnold verwendet (Abb. 1). Dieses Modell arbeitet nach oben dargestellter Prinzipskizze.

Sobald eine Glasprobe (hier ein spannungsloser Massivstab) im Winkel von 45° zur Polarisationsebene des Analysators in das Gesichtsfeld gebracht und gedrückt wird entsteht eine Spannungsdoppelbrechung, die sich auf der konkaven Seite, hier blau, darstellen = Druckspannung, auf der konvexen Seite entsteht Zugspannung, hier in orangefarbener Färbung (Abb. 2 und 3).

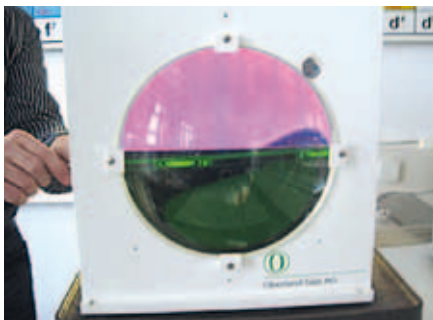


Abb. 4

Bei größeren Glasapparaturen verwenden wir den Spannungsprüfer Typ Oberland