

## HVG-Mitteilung Nr. 2046

Automatische und objektive Messung der Restspannung in Glas

H. Katte, ilis gmbh, Erlangen

Posterbeitrag auf der DGG-Jahrestagung vom 26.-28.5.2003 in Leipzig

### 1. Einleitung

Die Bruchfestigkeit von Glas, insbesondere von gekrümmten Körpern wie Flaschen und anderen Hohlgläsern, wird stark von Eigenspannungen bestimmt, die im Wesentlichen vom Formgebungsprozess, der Kühlung und der Wandstärkenverteilung abhängen. Die ständige Prüfung der Restspannungen nach dem Abkühlprozess ist deshalb wichtiger Bestandteil der produktionsnahen Qualitätskontrolle. Die nach dem Durchstrahlverfahren arbeitende Vorrichtung „StrainMatic“ ermöglicht die automatische und objektive Messung der Eigenspannungen in Behältern und anderen Gläsern und begegnet den Nachteilen der bislang eingesetzten manuellen und daher subjektiven Verfahren.

### 2. Spannungsoptische Grundlagen

In den Behälterglashütten wird die Restspannung meist mit Hilfe von manuell bedienten Polariskopen oder Polarimetern geprüft, die nach dem Durchstrahlverfahren arbeiten. Bei Behältergläsern wird dabei vor allem der Bodenbereich untersucht, da hier in der Regel die höchsten Spannungen auftreten.

#### 2.1 Funktionsprinzip Polariskop

Ein Polariskop besteht im Wesentlichen aus einer Lichtquelle, die linear polarisiertes Licht erzeugt, mit dem das Glas durchleuchtet wird. Spannungen im Glas verursachen Doppelbrechung, die zu unterschiedlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichts im Glas führt. In diesem Fall ist das Licht nach dem Durchgang durch das Glas nicht mehr linear, sondern elliptisch polarisiert und weist einen Gangunterschied auf. Mit Hilfe eines zweiten Polarisators, der zum ersten gekreuzt angeordnet ist, kann dieser Effekt sichtbar gemacht und damit auf die im Glas enthaltenen Spannungen geschlossen werden.

Da Restspannungen nur verhältnismäßig geringe Gangunterschiede erzeugen, wird zusätzlich eine Vollwellenplatte (Rot 1. Ordnung) in den Lichtstrahl eingebracht, welche die Gangunterschiede in den sichtbaren Wellenlängenbereich verlagert und Spannungen durch Farbverschiebungen sichtbar macht. Die Quantifizierung erfolgt z.B. gemäß ASTM C-148 durch subjektiven Vergleich mit so genannten „Strain Discs“ (Glasscheiben mit definierten Eigenspannungen) und Zuordnung zu Tempernummern von 1 bis 10. Diese Art der Messung ist jedoch relativ grob und auf farblose oder nur schwach gefärbte Gläser beschränkt.

#### 2.2 Funktionsprinzip Polarimeter

Im Gegensatz zum Polariskop kommt das Polarimeter ohne Vergleichsstandard aus; die Spannung wird hier mit dem Verfahren nach Sénarmont bestimmt. Dazu wird statt der Vollwellenplatte eine Viertelwellenplatte verwendet, die elliptisch pola-

risiertes Licht wieder in linear polarisiertes Licht umwandelt (Bild 1). Dessen Polarisationssebene ist jedoch gegenüber der ursprünglichen Richtung um einen Winkel  $\alpha$  verdreht, der gemäß der spannungsoptischen Grundgleichung

$$\frac{\alpha}{180^\circ} = \frac{C}{\lambda} \int_0^d (\sigma_1 - \sigma_2) dz$$

proportional zur Differenz der Hauptspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  im betrachteten Punkt ist. Mit Hilfe eines drehbaren Analysators kann der Winkel  $\alpha$  bestimmt und in eine Tempernummer oder einen Gangunterschied umgerechnet werden.

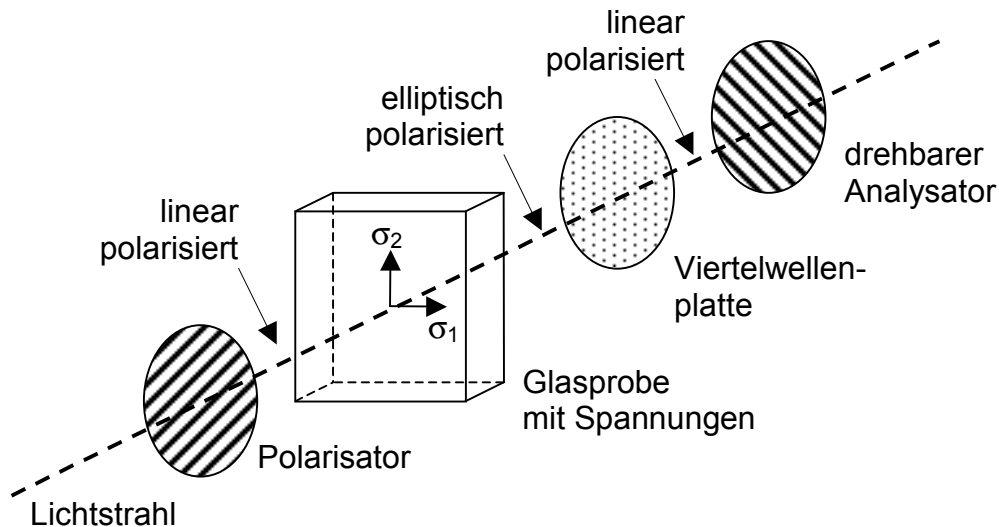


Bild 1: Grundprinzip eines Polarimeters zur Messung der Membran-Eigenspannungen nach dem Durchstrahlungsverfahren

### 3. Nachteile der herkömmlichen Verfahren

Beiden Verfahren sind drei wichtige Nachteile gemein:

- Erstens können im Durchstrahlungsverfahren nur Spannungen bestimmt werden, die in Richtungen verlaufen, welche  $45^\circ$  zur Polarisationssebene geneigt sind. Da die Spannungen z.B. im Bodenbereich einer Flasche in der Regel vom Mittelpunkt zum Rand sowie quer dazu verlaufen, kann die Spannung nur in vier schmalen Bereichen gemessen werden (in der Regel entlang der vertikalen und horizontalen Achse). Der Behälter muss daher von Hand solange bewegt werden, bis der Ort der höchsten Spannung mit einer dieser Stellen deckungsgleich ist. Erst dann kann eine Beurteilung der Spannung durch Vergleich mit Standards (Polariskop) oder Drehen des Analysators (Polarimeter) erfolgen.
- Zweitens ist eine objektive Beurteilung von sehr kleinen oder stark gefärbten Gläsern mit den beschriebenen Geräten schwierig. Insbesondere wenn die Mündung im Verhältnis zum Boden sehr klein ist und damit den Blick auf den

Boden versperrt, ist eine zerstörungsfreie Prüfung nicht mehr möglich. Das betrifft insbesondere Behälter für pharmazeutische und kosmetische Produkte.

- Drittens bleibt die Glasdicke bei der Messung meist unberücksichtigt. Eine Normierung des gemessenen Gangunterschiedes in nm/cm oder N/mm<sup>2</sup> (MPa) ist zwar nachträglich möglich, jedoch wird meist nur ein fester Wert für den gesamten Boden- oder Wandbereich verwendet. Folglich können Gebiete mit hoher Glasstärke aber niedrigen Spannungen Gebiete mit niedriger Glasstärke und hohen Spannungen überdecken.

Die manuellen Messmethoden sind also mit einer großen Unsicherheit des Messwertes behaftet und können nur von geschultem und erfahrenem Personal zuverlässig eingesetzt werden.

#### **4. Automatische und objektive Spannungsmessung mit StrainMatic**

Das von der ilis gmbh entwickelte Messgerät „StrainMatic“ automatisiert und objektiviert die Spannungsmessung an Behältern und technischen Gläsern und beseitigt die aufgezeigten Nachteile.

Kern der Vorrichtung ist ein Bildverarbeitungssystem, mit dem das Spannungsbild aufgenommen und in einem Rechner automatisch verarbeitet wird. Im Unterschied zu herkömmlichen Verfahren wird dabei nicht nur ein einzelner Punkt, sondern der gesamte Messbereich betrachtet. Bei Behältergläsern wird hierzu der Boden in mehrere Sektoren unterteilt, zum Beispiel im Abstand von 10°. Für jeden Sektor wird jeweils ein Spannungsverlauf ermittelt und in einer zweidimensionalen Darstellung angezeigt. Die verschiedenen Spannungsstufen werden farbcodiert dargestellt und von der Software automatisch in die folgenden Einheiten umgerechnet:

- Polarisationswinkel (°),
- scheinbare und reale Tempernnummer (1 bis 10),
- optischer Gangunterschied (nm),
- normierter optischer Gangunterschied (nm/cm) und
- normierte Spannung (MPa).

Die Verteilung der Glasdicke über den Messbereich kann in der Software als Dickenprofil hinterlegt werden und wird bei der Berechnung der realen Tempernnummer, des normierten Gangunterschiedes und der Spannung automatisch berücksichtigt.

Als Messergebnisse werden die Maximalwerte über den gesamten Messbereich ausgegeben und automatisch mit definierbaren Grenzwerten verglichen, so dass am Ende der Messung eine Gut/Schlecht-Aussage steht. Alle Parameter und Messergebnisse werden artikelbezogen in einer internen Datenbank gespeichert, auf die über das Firmen-Netzwerk zugegriffen werden kann. Gerät und Software sind auch durch ungeschultes Personal einfach und sicher zu bedienen. Die Umstellung zwischen verschiedenen Artikeln und die Messung selbst erfolgen auf Knopfdruck vollautomatisch.

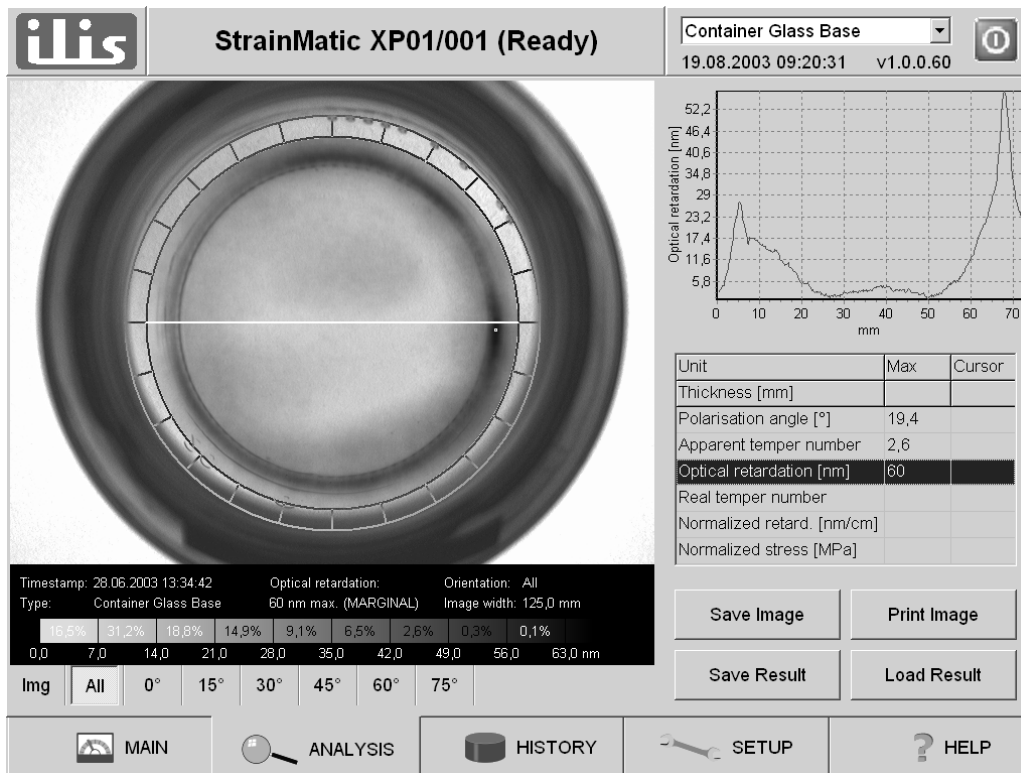


Bild 2: Bedienoberfläche der StrainMatic.

Bild 2 zeigt die Bedienoberfläche der StrainMatic. Das Messergebnis-Bild zeigt die Spannungsverteilung in einem Behälterglasboden. Der Punkt mit der größten Spannung ist mit einem kleinen weißen Quadrat gekennzeichnet. Der Spannungsverlauf entlang der weißen horizontalen Linie ist im Diagramm rechts aufgetragen. Ein Beispiel für eine Spannungsverteilung in der Seitenwand einer Flasche zeigt Bild 3. Bild 4 gibt die in einem Glasrohrendstück gemessene Spannungsverteilung wieder. Die durch das Umformen induzierten Spannungen sind deutlich als dunkle Ringe sichtbar.

Die Anpassung an unterschiedliche Behältergrößen und -formen erfolgt durch verstellbare Abstände und wechselbare Objektive, so dass selbst kleinste pharmazeutische Behälter genau vermessen werden können. Die Glasfarbe hat keinen Einfluss auf die Messergebnisse; Weiß-, Braun- und Grünglas können mit den gleichen Einstellungen vermessen werden. Für Schwarzglas, das mit den herkömmlichen Verfahren nicht geprüft werden konnte, ist eine spezielle Version verfügbar.

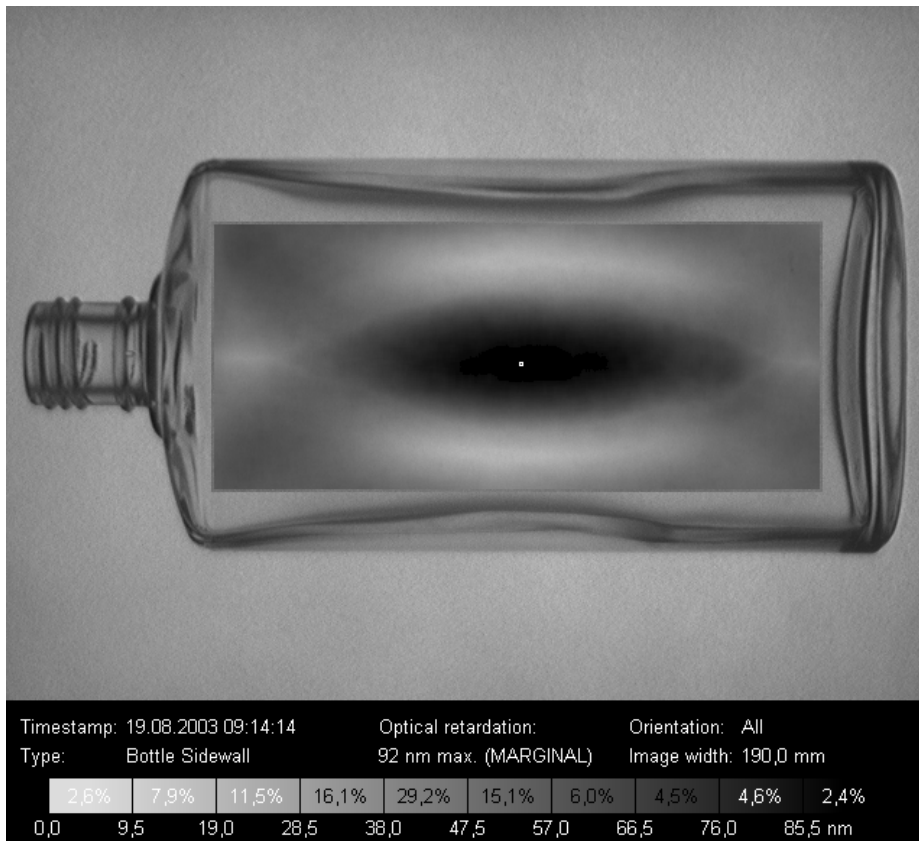


Bild 3: Gemessene Spannungsverteilung in einer Flaschenwand.

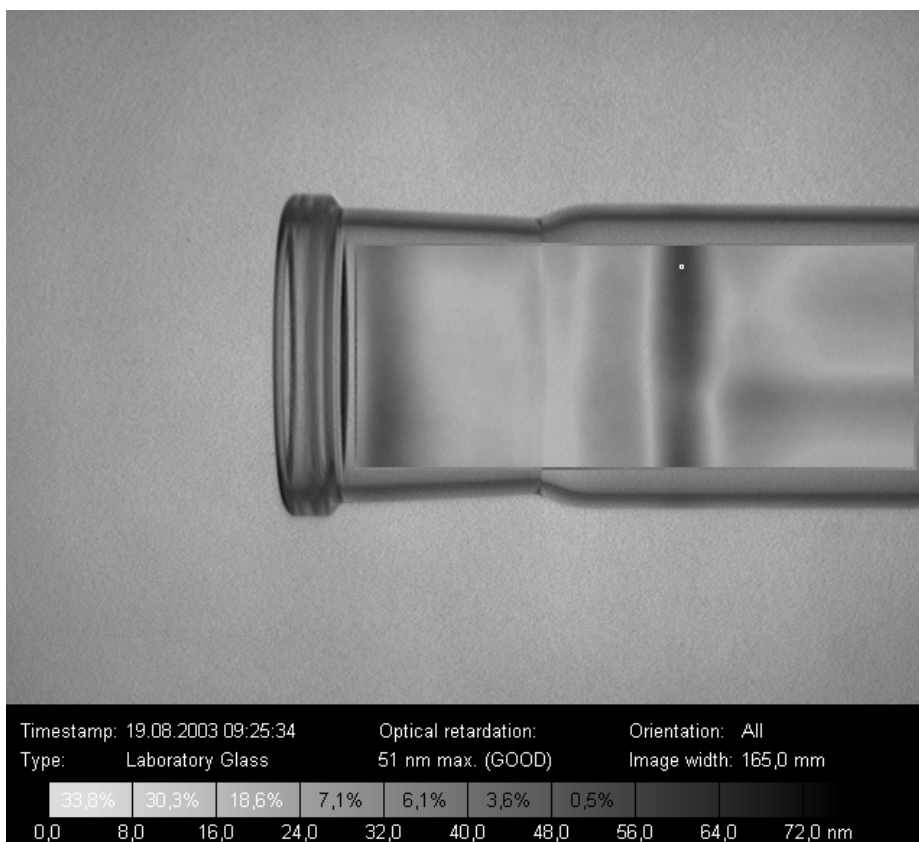


Bild 4: Gemessene Spannungsverteilung in einem Glasrohrendstück.

