

Dezember 1950

H V G - Mitteilung Nr. 557

Temperatur und Zähigkeit des Glases während seiner Verarbeitung zu
Hohlgefäßen

Der Zeitablauf der Verarbeitungsvorgänge in automatischen Blasemaschinen hat sich aus praktischen Erfahrungen ergeben; die theoretischen Grundlagen für die Formgebung fehlen fast völlig. Als einer der ersten Versuche, die technisch-physikalischen Voraussetzungen der Hohlglasverarbeitung kennen zu lernen, ist eine Arbeit von BOOW und TURNER anzusehen, welche in 5 Teilen in den Jahren 1942 bis 1945 im J.Soc.Glass Technol.¹⁾ erschien.

Von einer derartigen Arbeit kann nicht erwartet werden, daß sie fertige Erkenntnisse liefert, die auf die Maschinenkonstruktionen unmittelbar Anwendung finden können. Trotzdem wird sie auch der Fachmann der Glasverarbeitung mit Interesse lesen, da sie sein Arbeitsgebiet von einer bisher unbekanntem Seite her beleuchtet.

Die Verfasser gehen von dem Gedanken aus, daß das Glas auf seinem Weg durch die Verarbeitungsmaschine einen bestimmten Zähigkeitsbereich durchläuft, in dem es eine Formgebung zuläßt. Gegen Ende dieses Verarbeitungsreiches muß eine ausreichende Gestaltfestigkeit vorhanden sein, die es ermöglicht, das nunmehr fertiggestellte Stück aus der Form zu entfernen, ohne daß sich seine Abmessungen ändern. Man rechnet für den Formvorgang mit einem Zähigkeitsbereich von 10^6 bis etwa 10^8 Poisen. Die Verfasser stellten sich die Aufgabe, die Zähigkeitsbereiche festzulegen, die den einzelnen Teilen des Formgebungsvorganges zugeordnet sind, und die Abhängigkeit des Zähigkeitsverlaufes in der Maschine von der Zeit zu ermitteln.

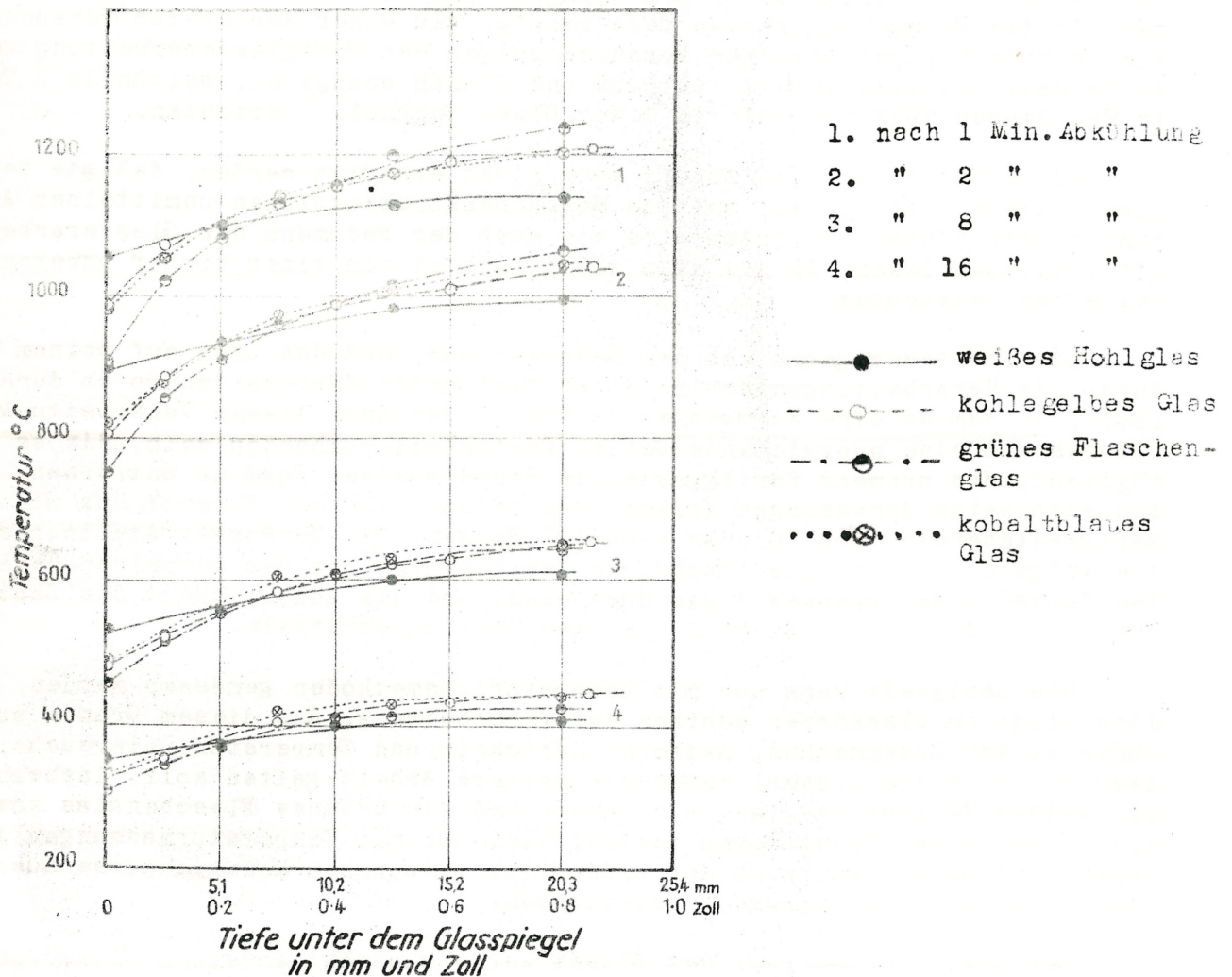
Die Zähigkeit kann nur mit Laboratoriumsmethoden gemessen werden, jedoch nicht am Glaskörper während der Verarbeitung. Aus diesem Grunde wurde zunächst der Zusammenhang zwischen Zähigkeit und Temperatur untersucht, und zwar für alle die Gläser, denen die weitere Arbeit gelten soll, insbesondere ein weißes Verpackungsglas, ein grünes und ein braunes Flaschenglas sowie ein blaues Glas. Im weiteren Verlaufe wird nur mit Temperaturmessungen gearbeitet und unter Benutzung der anfänglich gewonnenen Meßergebnisse aus der Temperatur auf die Zähigkeit geschlossen.

Der Abkühlungsverlauf des Glases wurde zunächst an einem Glaskörper mit einer freien Oberfläche untersucht derart, daß ein Platintiegel, der die Glasmasse enthielt, erhitzt und zur Abkühlung in einen Isolierstein ge-

¹⁾ The viscosity and working characteristics of glass. Part I - V.
BOOW, James und TURNER, W.E.S. J.Soc.Glass Technol. Part. I: 26 (1942) S.215-237; II: 27 (1943) S.94-112; III: 27 (1943) S.207-237 (Ref.Glas-techn.Ber. 22 (1949) S.265); IV: 29 (1945) S.199-232; V: 29 (1945) S.233-249.

stellt wurde. Man kann mit einer gewissen Annäherung annehmen, daß die Wärmeabgabe vorwiegend nach oben gerichtet sein wird. Die Messung der Temperaturkurven in verschiedenen Tiefen ergab das unterschiedliche Abstrahlungsverhalten der einzelnen Glasarten, insbesondere die bekannten Erscheinungen der oberflächlichen Abkühlung wenig durchlässiger Gläser. Die Temperaturkurven im Glas, welche auf diese Weise gefunden wurden, zeigt die nachstehende Abbildung.

Abb.1: Änderung der Temperatur von weißem und farbigem Glas mit der Schichtdicke in Abhängigkeit von der Kühlzeit



Ähnliche Messungen wurden in anderem Zusammenhang von HALLE, R., PRESTON, E. und TURNER, W.E.S., durchgeführt (J.Soc.Glass Technol. 23 (1939) S-171-196. Ref.Glastechn.Ber. 17 (1939) S.311).

Im Anschluß daran wurden Temperaturen im Verlauf des Verarbeitungsprozesses gemessen, zunächst bei Handarbeit, dann in voll- und halbautomatischen Hohlglasmaschinen. Die Temperaturen wurden vorwiegend mit Thermoelement bestimmt, welches an die Glasmasse angelegt wurde (Anlege-

Pyrometer) oder ins Innere des Glaspostens bzw. Gefäßes eingedrückt war. Außerdem wurden Messungen mit optischem Pyrometer vorgenommen sowie kalorimetrische Messungen durch Einlegen des heißen Glasstückes in ein Gefäß mit Wasser und Bestimmung der Temperaturerhöhung. Bei den Thermo-Element-Messungen an den Glasposten wurden, wie zu erwarten ist, erhebliche Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenseite gefunden, während die optische Messung bekanntlich nicht die Maximaltemperatur erbringt, sondern einen Mittelwert, der von den Strahlungseigenschaften des Glases abhängt. Die kalorimetrische Messung schließlich ergibt bei sorgfältiger Durchführung die Mitteltemperatur, die der Wärmeverteilung im Posten entspricht.

Die Ergebnisse der einzelnen Meßverfahren sind demnach nur im beschränkten Maße miteinander vergleichbar. Über die Bedeutung, die ihnen zuzumessen ist, drückt sich die Veröffentlichung nicht immer eindeutig aus, an einzelnen Stellen werden Schlüsse gezogen, die etwas weit gehen, z.B. wenn versucht wird, mit diesen Messungen die spezifischen Wärmen zu kontrollieren.

Der große Wert der Arbeit liegt in der erstmaligen Messung des Temperatur- und Zähigkeitsverlaufes in Glas und Maschinen. Bei dem sehr großen Umfang des Gebietes kann eine erste Arbeit nicht viel mehr erbringen als durch tastenden Versuch Aufklärung zu schaffen. Die Vorgänge sind besonders dadurch verwickelt, daß die Wärmeverteilung im Glas von sehr vielen Faktoren abhängt, insbesondere seine Strahlungseigenschaften von der Wärmeabgabe an die Umgebung. Es gelang den Bearbeitern, die Temperaturverteilung an einem Glasposten bei Handarbeit an einigen Punkten zu messen. Die Temperaturverteilung an den Kùbeln innerhalb von Formen ist jedoch ungleich schwieriger und wurde nicht ernstlich meßtechnisch in Angriff genommen.

Über die Ergebnisse der Untersuchungen, die sich auf viele verschiedenartige Gläser erstreckten, geben am besten einige typische Zahlentafeln und Diagramme Auskunft.

Zunächst wird über die Messungen bei Handarbeit berichtet. Ein Glasmacher wurde dazu angeleitet, genau im Takt zu arbeiten. Der zeitliche Abstand der Einzelvorgänge wurde festgehalten und dann Temperaturmessungen in Glasposten von 29 und 88 g Gewicht, die sich am Anfangeisen befanden, vorgenommen, sowie an Flaschen von 117 und 234 g. Einige Ergebnisse, und zwar für ein Bleikristallglas, folgen.

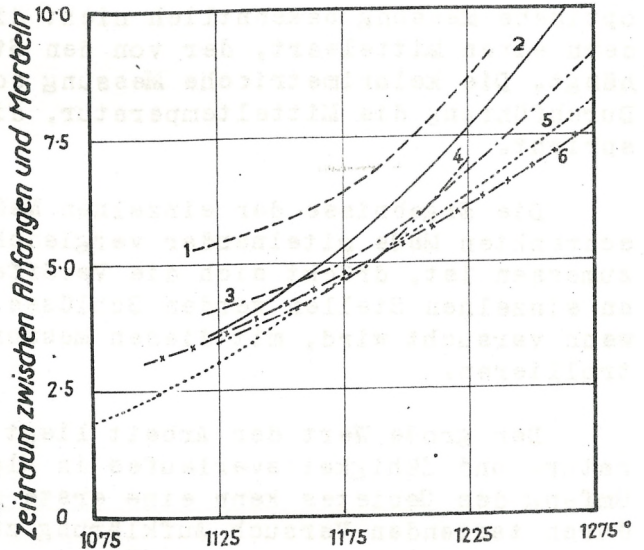
Tafel 1: Zeitbedarf für verschiedene Bearbeitungsstufen von 29 g Posten in Abhängigkeit von der Temperatur (Bleikristallglas)

Arbeitsgang	Temperatur der Glasoberfläche beim Anfängen		
	1125 °C	1175 °C	1225 °C
Anfängen	4,4	3,9	3,5
Pause	5,4	6,4	8,6
Marbeln	8,6	9,1	9,4
Summe	18,4	19,4	21,5

Abb.2: Einfluß der Anfangstemperatur auf den Zeitraum zwischen Anfangen und Marbeln für 29 g Kübel

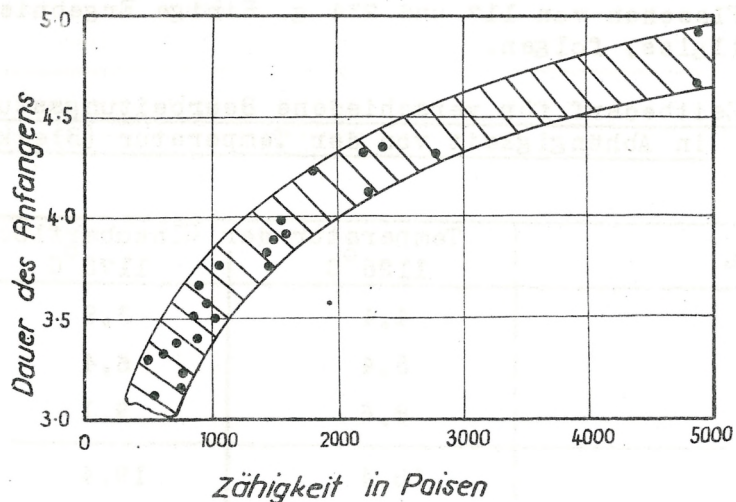
Die Ziffern bezeichnen verschiedene Glasarten, nämlich:

- 1. Bleikristallglas -----
- 2. Weißhohlglas _____
- 3. Kobaltblaues Glas - - - - -
- 4. Braunglas
(Eisen-Braunstein) - · - · -
- 5. Kohlegelbes Glas ········
- 6. Grünes Flaschenglas - x - x -



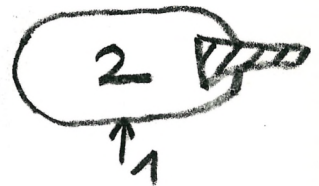
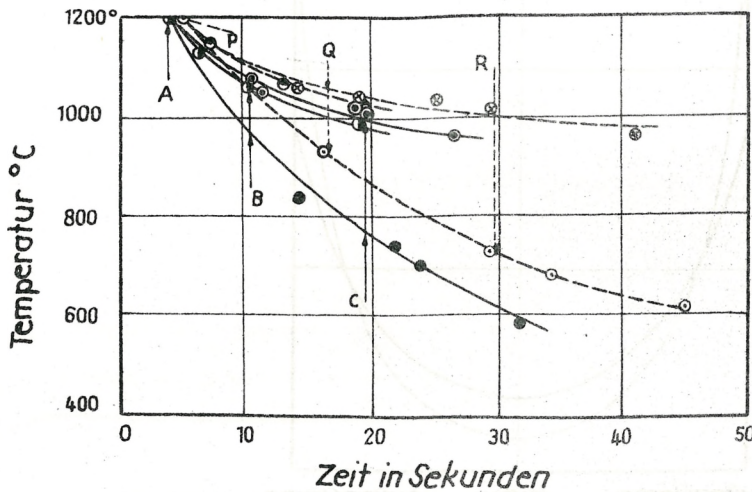
Die bekannte Tatsache, daß das Aufnehmen von Glasposten eine bestimmte Zähigkeit voraussetzt, wird wohl erstmalig zahlenmäßig in der Kurve wiedergegeben, welche Abb.3 bringt. Die Kurve bzw. der Kurvenbereich darf allerdings nicht über die Zeichnung hinaus extrapoliert werden, denn bei allzu niedrigen Zähigkeiten gelingt es nicht mehr, das Glas anzufangen.





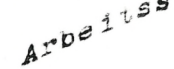

Abb.3: Einfluß der Zähigkeit bei der Temperatur des Anfangens auf die Zeit, die zum Aufnehmen eines 29 g Kübels nötig ist



Eine Zusammenstellung der verschiedenen Temperaturmessungen an Glasposten von 29 und 88 g bringt, wieder für Bleikristallglas, die Abb. 4. Sie gibt an, wie an den einzelnen Stellen die Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit zurückging und läßt zugleich das Temperaturgefälle im Glasposten erkennen.

Abb.4: Temperaturen, die während der Vorbereitung von 29 und 88 g schwerem Posten aus Bleikristallglas gemessen wurden

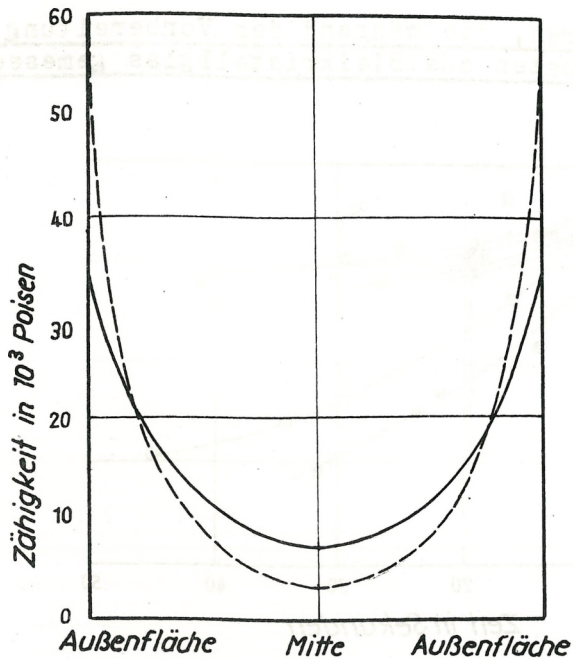


-  Oberflächentemperatur von 29 g Posten an Stelle 1
-  Optisch gemessene Temperatur an 29 g Posten
-  Innentemperatur von 29 g Posten an Stelle 2
-  Oberflächentemperatur von 88 g Posten an Stelle 1
-  Optisch gemessene Temperatur an 88 g Posten
-  Innentemperatur von 88 g Posten an Stelle 2

Arbeitsstufe für:	<u>29 g Posten</u>	<u>88 g Posten</u>	
	A	P	Ende des Anfangens
	B	Q	Beginn des Marbelns
	C	R	Ende des Marbelns

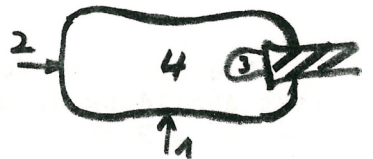
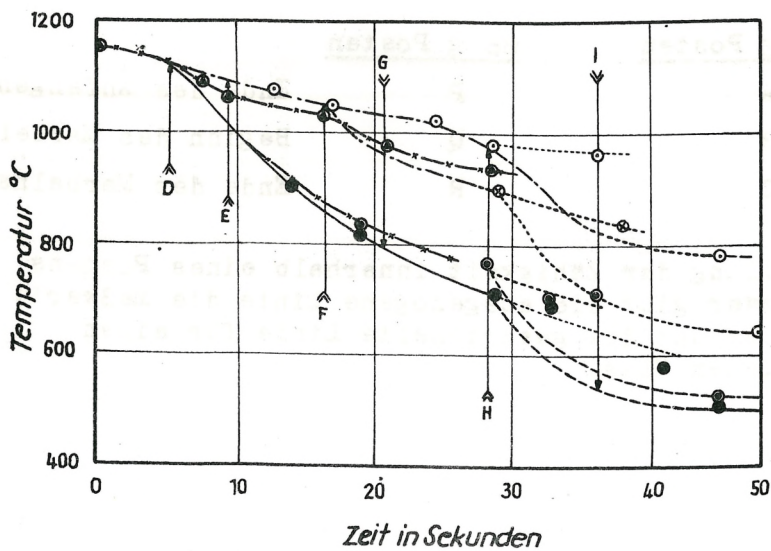
Die örtliche Verteilung der Zähigkeit innerhalb eines Postens zeigt Abbildung 5, und zwar gibt die ausgezogene Linie die Meßwerte für einen 88 g Posten Weißglas und die gestrichelte Linie für einen 88 g Posten aus kobaltblauem Glas.

Abb.5: Zähigkeitsunterschiede in der Masse von farblosem und farbigem Glas beim Beginn des Marbelns



Die Messungen des Temperaturverlaufs in Abhängigkeit von der Zeit wurden ausgedehnt auf den gesamten Arbeitsvorgang. Das Ergebnis wird für das Beispiel einer 117 g Flasche aus Weißhohlglas in Abb.6 gegeben.

Abb.6: Temperatur an verschiedenen Stellen des Glases während der Herstellung von 117 g Flaschen aus farblosem Glas



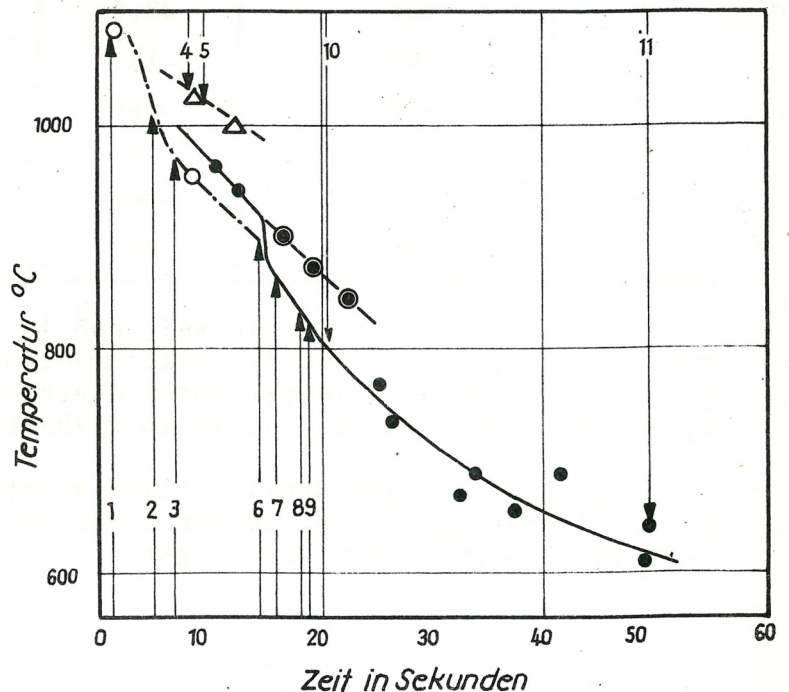
- Oberflächen-temperatur an Stelle 1 an der Seite des Postens
- x●—x— Oberflächen-temperatur an Stelle 2 an der Spitze des Postens bzw. am Boden der Flasche
- ...⊗...— Oberflächen-temperatur an Stelle 3 des Postens
- x—⊙—x— Optisch an der heißesten Stelle gemessene Temperatur
- , —⊙—, — Mit Thermoelement an der heißesten Stelle (4) gemessene Temperatur
- Temperaturverlauf, wenn der normale Arbeitsgang unterbrochen wurde und das Glas zwecks Temperaturmessung auf der Marbelplatte liegen blieb und dabei abkühlen konnte.

Arbeitsstufen:	D	Ende des Anfangens
	E	Beginn des Marbelns
	F	Ende des Marbelns
	G	Ende des Vorblasens
	H	Einführung des Kübels in die Form
	I	Entnahme der fertigen Flasche aus der Form

Im Anschluß an die Messungen bei Handarbeit wurden entsprechende Untersuchungen an voll- und halbahomatischen Maschinen vorgenommen. Untersucht wurden: Lynch 10, Lynch LA, Hartford-Preßblasmaschine und eine automatische Presse. Aus der Fülle der gegebenen Zahlen, die sich wieder auf Arbeitstakte und ihre Dauer sowie die Temperaturen und Viskositäten erstrecken, sei lediglich als Beispiel die Abb. 7 gegeben.

Abb. 7: Temperaturmessungen während der Herstellung eines Crémétopfes von 85 - 92 g Gewicht auf einer Lynch LA-Maschine

- Kalorimetrische Messung
- ⊙— Kalorimetrische Messung von Glas, das vor dem Aufblasen aus der Fertigform genommen wurde
- ...○...— Optische Messung
- ...△...— Thermoelement-Messung



- Arbeitsgänge: 1 Abschneiden des Tropfens
 2 Beginn der KÜbelbildung
 3 Ende der KÜbelbildung
 4 Beginn der Übergabe an die Fertigform
 5 Ende der Übergabe an die Fertigform
 6 Fertigblasen Station 1
 7 Verlassen der Station 1
 8 Fertigblasen Station 2
 9 Verlassen der Station 2
 10 Öffnen der Fertigform
 11 Einlegen in den Bandkühlofen

Die Zeiten ergeben sich aus der Abszisse von Bild 7.

Ergebnisse der optischen Temperaturmessung an Tropfen, die von Hartford-Speisern an Flaschenblasemaschinen übergeben wurden, enthält Tafel 2.

Tafel 2: Temperatur und Zähigkeit von Tropfen an Hartford-Speisern

Glasfarbe	Gew.d. Gegenstand. g	Produktion Stück/min.	Opt. gem. Temper. °C	Log.d. Zähigkeit (Poisen)
Weiß	67	18,5	1062	3,72
"	78	34,5	1128	3,37
"	85	33	1102 - 1133	3,35 - 3,5
"	85	17	1059 - 1068	3,68 - 3,74
"	486	22,5	1076	3,6
"	500	11	1068	3,69
"	512	5,5	1009	4,05
Braun	100	16	1104	3,43
"	216	26	1096	3,47
"	404	25	1090	3,51

Besonders hervorgehoben sei, daß in Form einer Tabelle die früher von verschiedenen Fachleuten beim Arbeitsbeginn und z.T. während der Verarbeitung gemessenen Temperaturen übersichtlich zusammengestellt sind. Es würde zu weit führen, diese zu wiederholen.

Den Abschluß der Arbeit bilden entsprechende Messungen an drei automatischen Maschinen, welche außer der Glastemperatur z.T. auch die Form-Temperaturen berücksichtigen.