

HVG-Mitteilung Nr. 2127

Temperaturmessungen an Glaspfropfen (IGF/AiF-Nr. 14390 N)

G. Bergmann, H. Müller-Simon, HVG, Offenbach

1. Einleitung und Ziele des Forschungsvorhabens

Lastwechsel an Feedern führen immer zu einer deutlichen Änderung der Temperatur- und zwangsläufig auch der Viskositätsverteilung an den Glaspfropfen. Sie müssen als direkte Ursache für Wandstärkeunterschiede angesehen werden. Das führt bei konstanter Festigkeit zu höheren Artikelgewichten und somit zu einem höheren Energie- und Rohstoffbedarf. Die Kenntnis der Temperatur- und Viskositätsverteilung stellt die Basis für jegliche thermische oder mechanische Einflussnahme auf die Glaspfropfen vor oder nach dem Scherenschnitt mit dem Zweck einer Anpassung an die artikelabhängigen Erfordernisse dar.

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt des ISC in Bronnbach und der HVG wurde ein schnelles, berührungsloses und genaues Messverfahren für die Tropfentemperatur mit der Möglichkeit zur Messung der axialen und radialen Temperaturverteilung entwickelt [1]. Im Folgenden werden die Ergebnisse des von der HVG durchgeführten Praxistests beschrieben.

2. Lösungsweg

Die in diesem Forschungsvorhaben entwickelte Messapparatur (Bild 1) beinhaltete ein Pyrometer und einen Referenzstrahler, der exakt gegenüber dem Pyrometer angeordnet war. Die Messwellenlänge des Pyrometers betrug $3,9\ \mu\text{m}$. Damit war die Ermittlung der Temperatur an der Tropfenoberfläche aus dem oberflächennahen Bereich möglich. Aufgabenstellung war die Bestimmung einer axialen und radialen Temperaturverteilung. Die Erfassung mehrerer Punkte längs des Tropfens ist im Rahmen des normalen Tropfenfalls in diesem Messsystem gegeben. Für die Ermittlung der radialen Temperaturverteilung wurde die Messausrüstung an einen Drehkranz montiert, welcher sich in 15° Winkelschritten radial verstellen ließ. Der Drehkranz war wiederum an einem Gestell montiert, welches in seinen Abmaßen speziell für die untersuchte Anlage angepasst war. Dieses Gestell war in 2 Richtungen verschiebbar und ermöglichte damit die Untersuchung aller Tropfen an den üblichen Mehrfachtropfenmaschinen. Für Doppeltropfenspeiser bedeutet dies eine Analyse von maximal 270° -Umfang der Tropfen, die sich zugewandten Tropfenseiten müssen ausgespart werden. Die Gesamtkonstruktion befand sich entsprechend des zur Verfügung stehenden Platzes vorteilhafterweise unter dem Tropfblech. Durch eine Rollenlagerung des gesamten Gestells in einem Schienensystem konnte die gesamte Anlage im Havariefall schnellstens aus dem Tropfenbereich gefahren werden.

Für jede Messung an einer Winkelposition wurden mindestens 10 aufeinander folgende Tropfen inklusive dem tropfenfreien Zeitraum (Erfassung des Referenzstrahlers) messtechnisch erfasst.

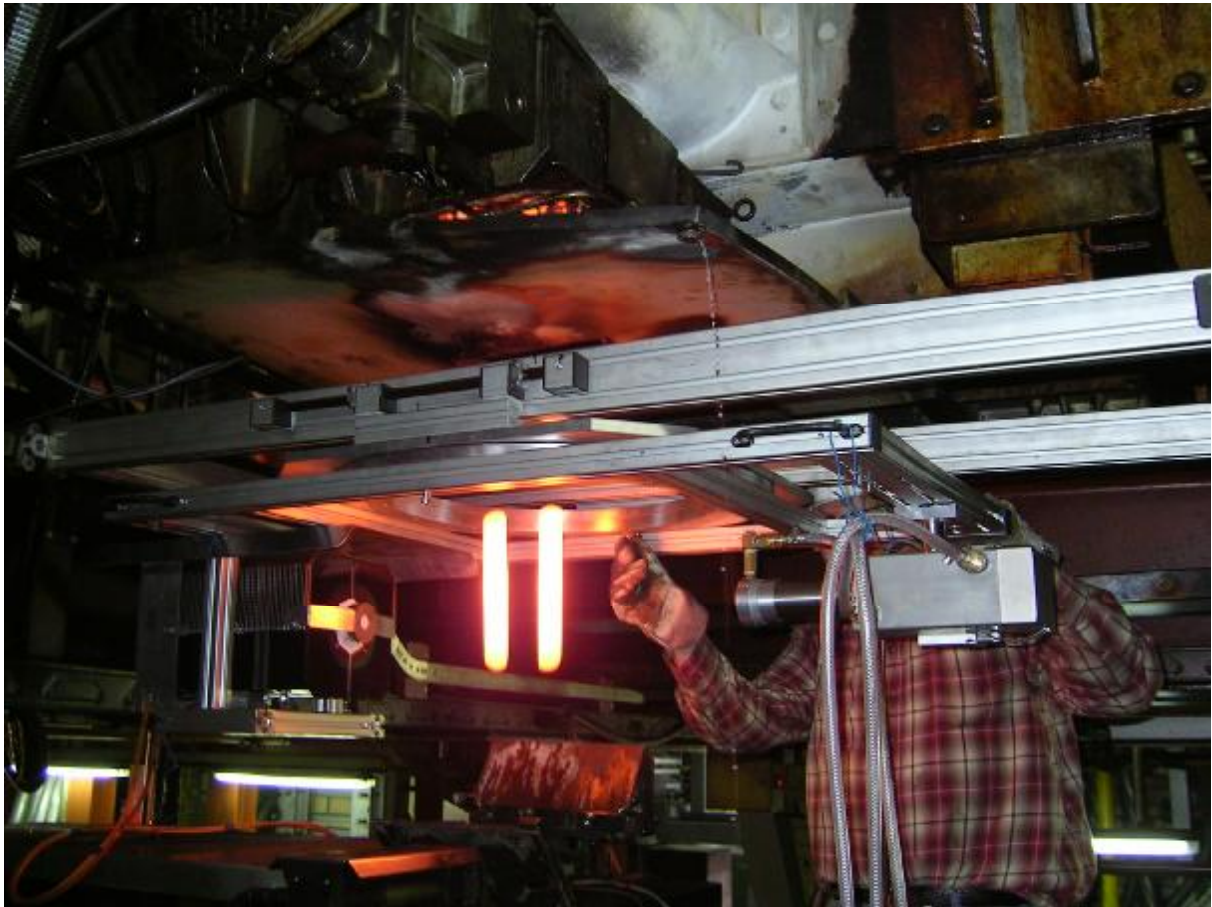


Bild 1: Messsystem im Einsatz.

Die Rohdaten wurden zunächst um die große Anzahl Messpunkte, in denen sich kein Tropfen im Sichtbereich des Pyrometers befindet reduziert. Nur jeweils 10 Messwerte vor Beginn des Signalanstiegs aufgrund der Tropfentemperatur und 10 Messwerte nach dem Abfall des Temperatursignals blieben aus Sicherheitsgründen erhalten. Zusätzlich wurden Fehlmessungen aufgrund erfolgter Schmierung im Maschinenbereich und aufgrund von größeren Flüssigkeitstropfen der Scherenkühl- emulsion entfernt. Da die Tropfen zeitlich aufeinander folgend das Messsystem passieren, musste im nächsten Aufbereitungsschritt eine Synchronisation der Messwerte bezüglich der Startzeit des relevanten Beobachtungszeitraumes erfolgen. Aus den zeitsynchronisierten Messungen wurde dann ein gemittelter Tropfen- temperaturverlauf berechnet. In diesem Temperaturverlauf wurden aus Übersichts- gründen 3 Bereiche (Zeitbereiche als Äquivalente zu Raumbereichen) für die Be- rechnungen der mittleren Temperaturen im oberen, im mittleren und unteren Trop- fenbereich ausgewählt. Die so bestimmten Mittelwerte wurden dann in einem Netz- diagramm als Tropfentemperaturabbild zusammengestellt.

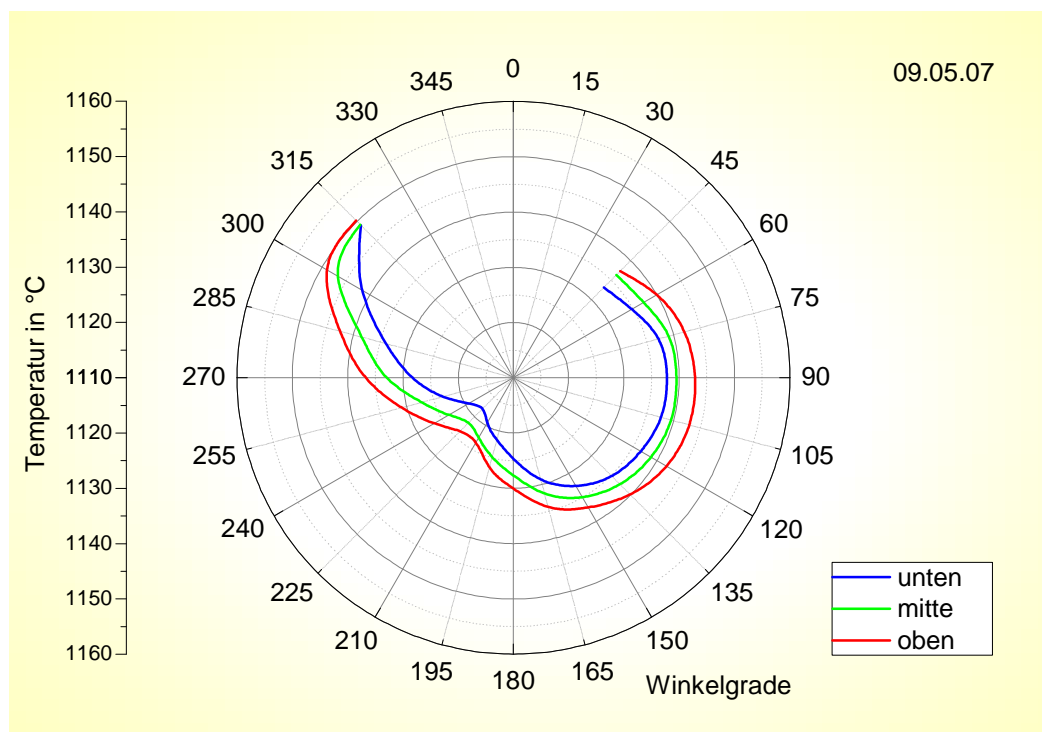


Bild 2: Ergebnisbeispiel einer Messung über 270° in 15° Winkelschritten.

3. Messungen unter industriellen Bedingungen

Im Rahmen des Projektes erfolgten die Messungen an einer Braunglas verarbeitenden 10-Stationen-IS-Maschine mit Doppeltropfen. Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

- § Untersuchung des Einflusses der Messachsenabweichung des Pyrometers,
- § Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Einzelmessungen,
- § Untersuchung des Einflusses der Referenzstrahlertemperatur auf das Messsignal der Tropfentemperaturmessung,
- § Umfangsmessungen an äußeren Tropfen,
- § Umfangsmessungen an äußeren Tropfen vor und nach einem Umbau,
- § Umfangsmessung am äußeren Tropfen nach einer Solltemperaturerhöhung im Feederkanal,
- § Vergleichende Messung von äußerem und innerem Tropfen.

Geringe absichtliche Verschiebungen bei gut symmetrischer Tropfenform aus der Messachse von bis zu je 5 mm führten bei der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Tropfengröße nur zu sehr geringen Abweichungen der Temperaturwerte (Bild 3). Die überwiegende Anzahl der Glasposten weist eine nicht axialsymmetrische Tropfenform auf. Damit verbunden sind jedoch teilweise extreme Schwankungen bezüglich der Tropfenlage im Sichtfeld des Pyrometers. Dies erschwert die Auswertung der Messdaten und deren Vergleichbarkeit außerordentlich.

Die Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Messungen zielte darauf ab, sicherzustellen, dass bei normalen Betriebsbedingungen die aufeinander folgende Messung bei allen 19 Messwinkeln der Versuchsanlage vergleichbar sind (Bild 4).

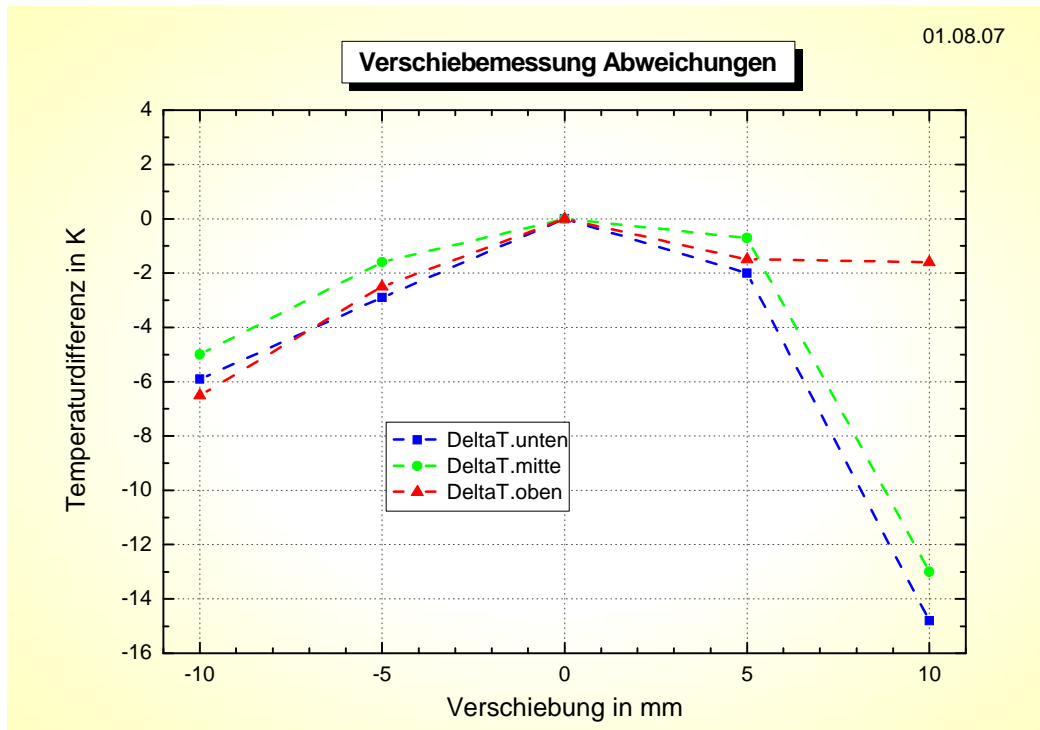


Bild 3: Temperaturdifferenzen bei absichtlichem Verschieben aus der Messachse.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Änderungen im Bereich einiger Minuten hinreichend klein sind, so dass die in dieser Zeit gemessene Temperaturverteilung dem aktuellen Betriebszustand zugeordnet werden kann.

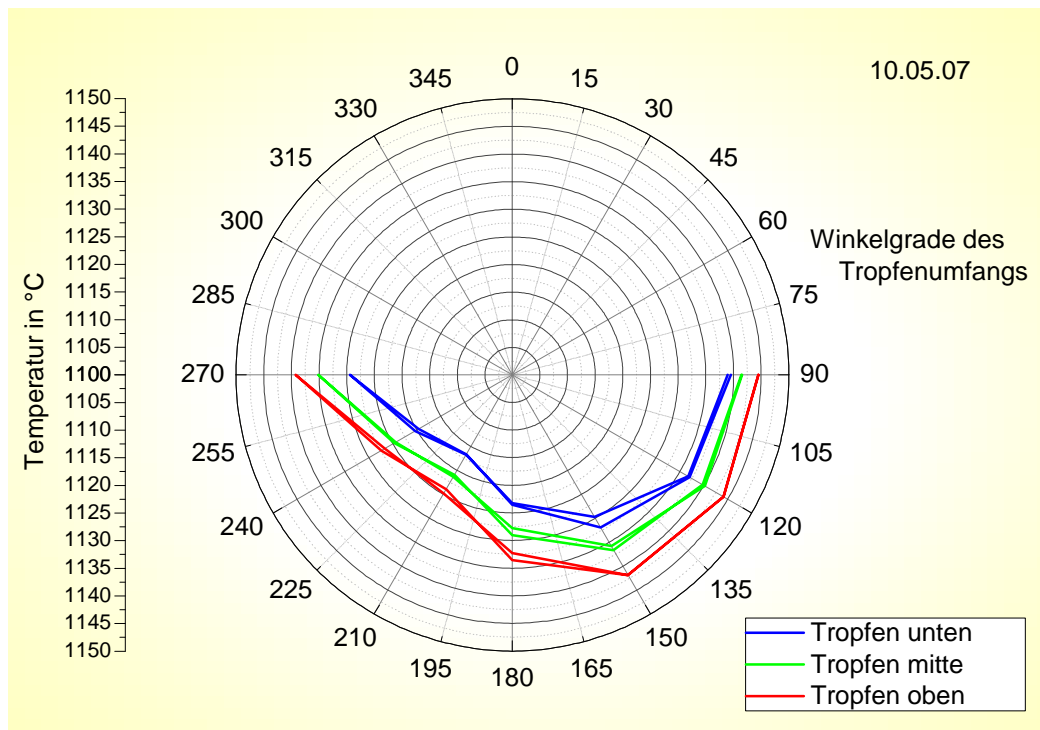


Bild 4: Reproduzierbarkeitsmessung.

Die Ermittlung der Tropfentemperatur bei verschiedenen Temperaturen des Referenzstrahlers zeigte eine zu erwartende Absenkung der Anstiegszeit bei Erhöhung der Referenzstrahlertemperatur mit Verbesserung der Messgenauigkeit. Auf die Untersuchungen und Auswertungen hat dies aber nur bedingt Einfluss, da die unmittelbaren Anfangs- und Endbereiche der Tropfen aufgrund ihrer Geometrie ohnehin nicht für pyrometrische Temperaturmessungen geeignet sind. Die geringe Messunsicherheit von $\pm 0,7$ K kann die Qualität der Messung der Tropfentemperatur verbessern.

Die gemessenen Temperaturverteilungen weichen zum Teil deutlich von der üblicherweise angestrebten gleichmäßigen Verteilung ab (Tabelle 1). Es wurden radiale Temperaturdifferenzen von bis zu 23 K und axiale Temperaturunterschiede von bis zu 32 K gemessen. Betrachtet man die dabei entstehenden Viskositätsunterschiede in den Tropfen ergeben sich im oberen Tropfenbereich Unterschiede von 26% - 30 %, im unteren Bereich von 22% - 34 % und axial zwischen niedrigster Temperatur des unteren Bereiches und höchster Temperatur des oberen Bereiches etwa 25 % - 31%.

Messwinkel	45	75	105	135	165	195	225	255	285
T_{oben} in °C	1129,4	1135,1	1136,6	1139,1	1141,3	1137,5	1131,8	1137,3	1148,2
T_{mitte} in °C	1124,7	1134,2	1135,6	1137,6	1140,0	1138	1131,7	1135,2	1145,5
T_{unten} in °C	1124,3	1128,0	1130,5	1132,6	1137,3	1135,4	1127,7	1132,7	1132,7

Tabelle 1: Beispiel der axialen Temperaturunterschiede einer Messung.

Umbauten an Maschinen im Rahmen von Artikelwechseln sind immer mit Tonnageänderungen am Feeder und oft Tropfingrößenwechsel verbunden. Damit wird das Gesamtsystem Feeder-Glas einer massiven Änderung strömungsmechanischer und thermischer Kenngrößen unterworfen. Die Einstellung eines neuen Gleichgewichtes braucht Zeit, die zusätzlich auch durch die weiteren angeschlossenen und veränderten Feedersysteme bestimmt wird. In einem weiteren Teilbereich der hier dargestellten Untersuchungen wurden deshalb Tropfentemperaturentwicklungen nach Umbauten untersucht. Ein Beispiel einer geringen Belastungsänderung ist in Bild 5 dargestellt.

Bereits bei dieser Belastungsänderung des Systems wird die Verschiebung der radialen Temperaturverteilung am Außentropfen sichtbar. Das Maximum der gemessenen Temperaturen wandert vom Bereich um 105° weiter in den Bereich um 165°, d.h. in diesem Fall in Richtung der äußeren Maschinenseite. Besonders im Endbereich der Messung ab 225° wird deutlich, dass der untere Tropfenbereich erst im Laufe der Zeit in Form und Temperatur stabile Verhältnisse entwickelt. Damit wird vorstellbar, wie sich größere Änderungen des Tropfengewichts und der Tropfengröße auf die Temperaturverteilung auswirken müssen.

Temperaturmessungen an Glaspfropfen (IGF/AiF 14390 N)

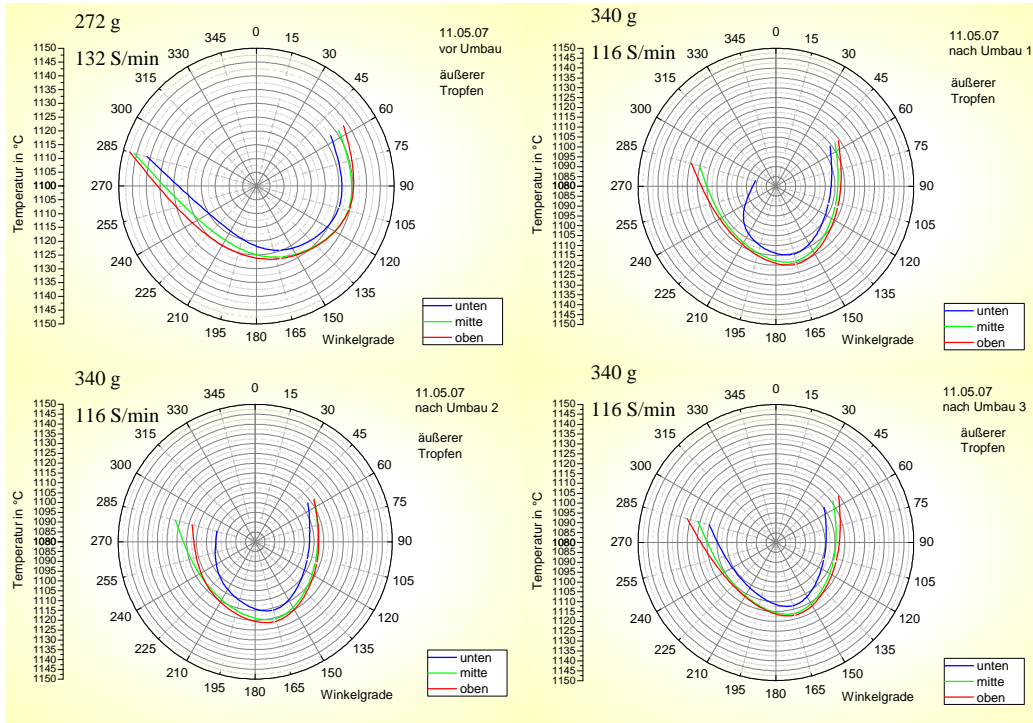


Bild 5: Umbaumessung (Feederbelastung 2,15t/h auf 2,37t/h)

Während einer Messung wurden die Effekte einer manuellen Änderung der Solltemperatur in der letzten Zone des Feederkanals vor der Speiserschüssel untersucht (Bild 6).

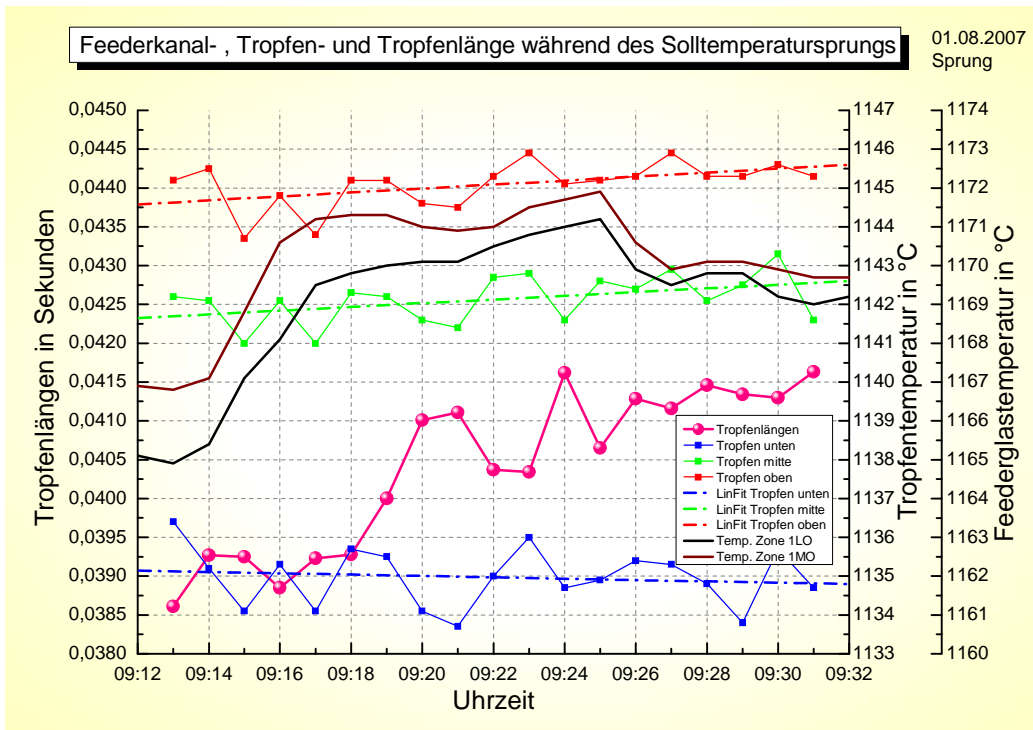


Bild 6: Solltemperaturerhöhung und Auswirkungen auf die Tropfen.

Diese Solltemperaturerhöhung um 5 K führte zu 2 Beobachtungen. Die Tropfenlänge änderte sich sehr schnell. Eine Temperaturerhöhung war zunächst kaum messbar. Gegen Ende des Versuchs manifestierte sich die Temperaturänderung mit ca 1 K Temperaturerhöhung (dies entspricht etwa 0,07 % Veränderung bezogen auf die Ausgangstemperatur). Die dadurch verursachte Viskositätsänderung betrug etwa 1 %. Dies zeigt deutlich, dass eine Erhöhung des Energieeintrags in den Speiserkanal sehr viel schneller und damit zunächst stärker in der Erniedrigung der Viskosität sichtbar wird, als in einer direkt messbaren Temperaturerhöhung (Bild 6).

Dies ist durchaus verständlich, da eine Erhöhung des Energieeintrags über die Flammen auch zu einer Verschiebung der Wärmeverlustgrößen führt, die erst nach langer Zeit ein neues Gleichgewicht finden. Entsprechend des exponentiellen Zusammenhangs zwischen der Temperatur und der Viskosität wirkt sich die Energieerhöhung stärker auf die Viskosität aus.

4. Zusammenfassung

Die überwiegende Anzahl der Glasposten weist eine nicht axialsymmetrische Tropfenform auf. Damit verbunden sind teilweise extreme Schwankungen bezüglich der Tropfenlage im Sichtfeld des Pyrometers. Dies erschwert die Auswertung der Messdaten und deren Vergleichbarkeit außerordentlich.

Dennoch ist es möglich, über einen Umfangsbereich von etwa 270 ° bei einem Doppeltropfenspeiser Temperaturen des oberflächennahen Bereichs sehr genau zu messen. Durch die Möglichkeit der Drehung des Messsystems um die beobachteten Tropfen kann eine Verteilung der Temperaturen axial und radial, also im zugänglichen Oberflächenbereich ermittelt werden. Mit Hilfe dieser Apparatur ist es durchaus denkbar, gezielt nach den Ursachen der gemessenen Temperaturunterschiede zu suchen. So ist es dann möglich, zielführende Eingriffsmöglichkeiten auf die Temperatur- bzw. Viskositätsverteilung vor und nach der Tropfenbildung zu nutzen bzw. zu schaffen. Sie bieten die Basis zu einer Stabilisierung der Produktion und somit zu geringeren Produktionskosten.

Dieses gemeinsame Forschungsvorhaben des Fraunhofer ISC in Bronnbach und der HVG in Offenbach wurde durch die IGF/AiF finanziert. Wir danken dem Bundesministerium für die Finanzierung, der beteiligten HVG-Mitgliedshütte für die umfangreiche aktive Unterstützung und allen weiteren Beteiligten.

5. Literatur

- [1] Lochner, K.; Raether, F.: Verfahren zur präzisen Viskositätsregelung am Glastropfen. dgg journal 6 (2007) 2, 40.