

## HVG-Mitteilung Nr. 2098

Zur Wärmebilanz einer IS-Maschine – Einflüsse des Rinnensystems auf die Tropfen

O. Burkhardt, Georg-Simon-Ohm Fachhochschule, Nürnberg

Vortrag im Fachausschuss IV der DGG am 13. Oktober 2005 in Würzburg

### 1. Einleitung

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde eine Wärmebilanz einer IS-Maschine, die 12 Stationen besitzt und Braunglas verarbeitete, aufgestellt. Ziel dieser Arbeit war es vorhandene Bilanzen, die mittels Kalorimeter aufgestellt wurden, zu verifizieren. Dafür stand ein Einkanalpyrometer IGA5 (Messbereich: 1,45 bis 1,8  $\mu\text{m}$ ) zur Verfügung. Da das Pyrometer nicht direkt die Temperatur des Glastropfens misst, sondern eine Summenwärmestrahlung, die über alle Schichten heraus aus dem Inneren des Glastropfens emittiert werden, wird hier der Begriff der Quasi-Tropfentemperatur eingeführt, der den pyrometrisch ermittelten Temperaturwert beschreibt.

Die Wärmebilanz startet bei der Glasmasse im Feederkanal und endet bei den Kübel auf der Fertigform-Seite, kurz bevor die Form schließt. Aufgrund des Wellenlängenbereiches des Pyrometers war es nicht möglich das fertige Produkt pyrometrisch zu vermessen. Zusätzlich werden die Einflüsse des Rinnensystems auf die Quasi-Tropfentemperatur dargestellt.

### 2. Experimentelles

Die Messungen wurden an der IS-Maschine 2/1 in Bad Wurzach durchgeführt. Diese Maschine steht an der rechten Außenseite im Werk 2 mit relativ viel Freiraum. Die Vorformseite liegt in Richtung der Außenwand, gegenüber der Fertigformseite befindet sich die Fertigformseite der Maschine 2/2. Der Federkanal kommt senkrecht zur Maschine an. Der Kühllofen befindet sich in Richtung der Station 1. An der Maschine wurden 0,5 l Bierflaschen (NRW) mit einem Tropfensollgewicht von 378 g bei einer Schnittzahl von 255 Schnitt/min im Blas-Blas-Prozess hergestellt. Es waren alle 12 Stationen in Betrieb. Die Formenkühlluft betrug 35 °C bei einem Druck von ca. 200 mbar. Das verwendete Rinnensystem ist aus Grauguss und von der Firma Emhart-Glass.

Es wurde die Temperatur der Glasmasse im Feederkanal am Thermoelement abgelesen. Im weiteren Verlauf wurde die Quasi-Temperatur des Glases bzw. der Glasposten mittels Pyrometer vor dem Schnitt, nach dem Schnitt, nach dem Scoop und nachdem der Glasposten das Rinnensystem verlassen hat ermittelt. Zusätzlich wurden die Quasi-Temperaturen der Kübel auf der Vorform-Seite und auf der Fertigform-Seite, kurz bevor diese schließt, gemessen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Spezifische Wärme

Es wurde ein mittlerer  $c_p$ -Wert von 1,25 J/g K vorgestellt. Dieser ist mittels Kalorimeter und Pyrometer erstellt worden. Durch die kalorimetrischen Messungen kann die integrale Glastemperatur nach

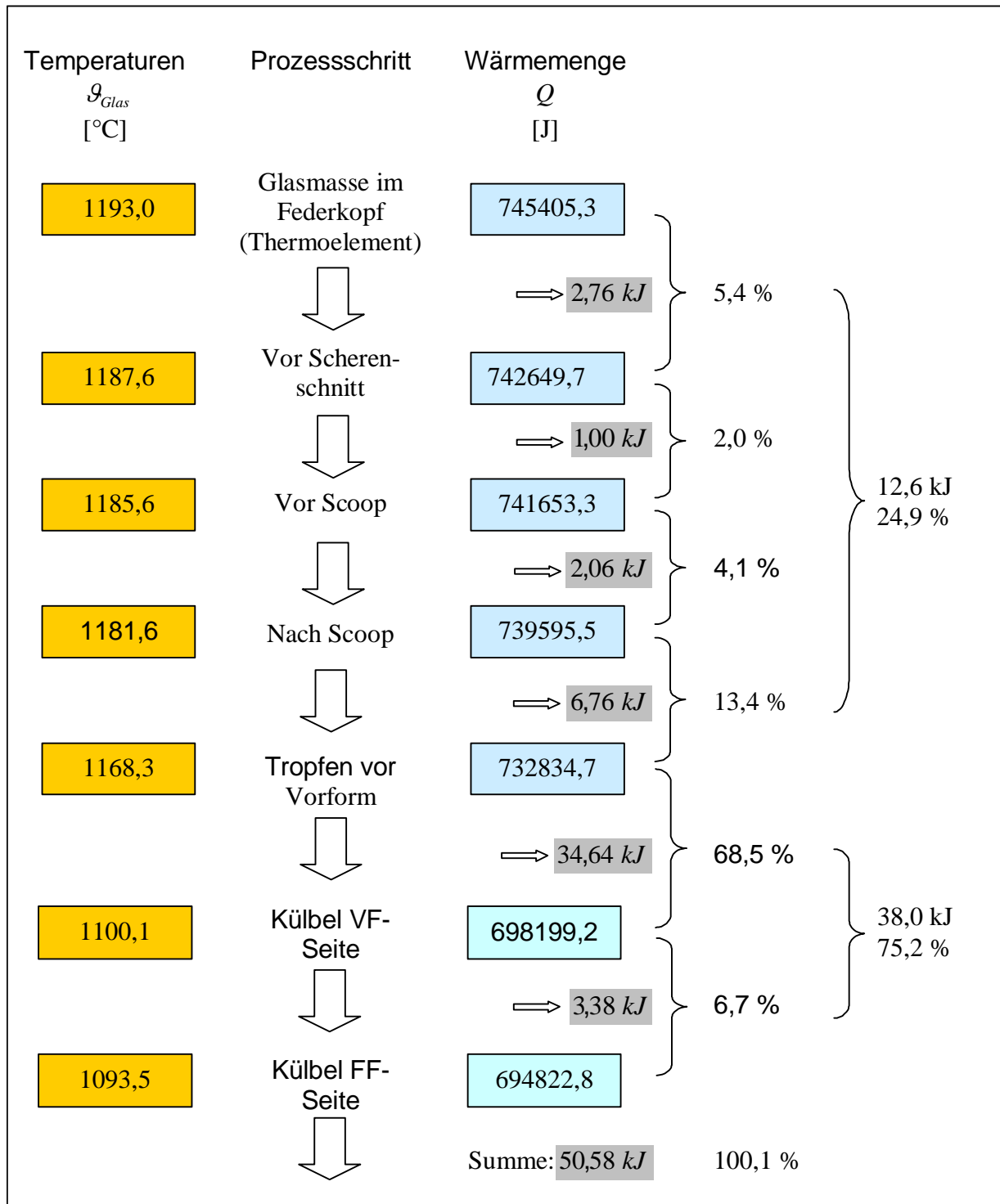


Bild 1: Wärmebilanz von der Glasmasse im Feeder bis zum Kübel (FF).

$$\vartheta_{Glas} = \vartheta_{Misch} + \frac{(\vartheta_{Misch} - \vartheta_{H_2O}) \cdot (m_{H_2O} + w) \cdot c_{p_{H_2O}}}{m_{Glas} \cdot c_{p_{Glas}}} \quad (1)$$

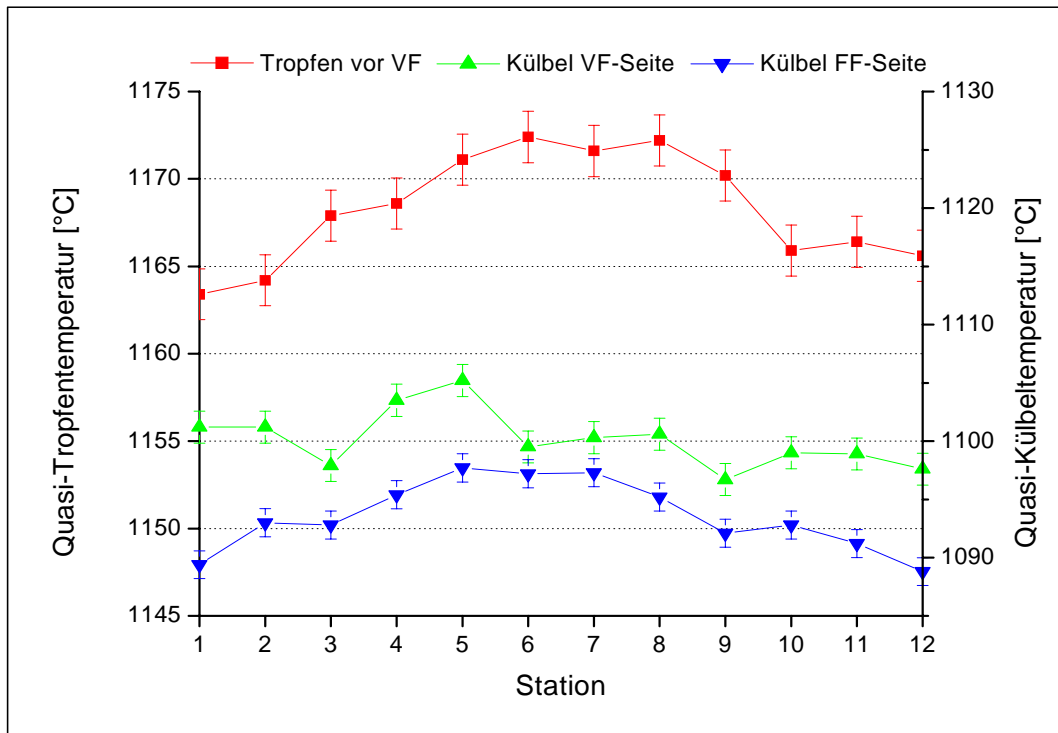


Bild 2: Quasi-Tropfentemperatur und Quasi-Kübeltemperatur der einzelnen Stationen.

ermittelt werden. Hierin bedeuten  $\vartheta_{Misch}$  die Mischtemperatur des Wassers mit dem Glas,  $\vartheta_{H_2O}$  die Wassertemperatur kurz bevor der Glasposten in das Kalorimeter fällt,  $m_{H_2O}$  die Masse des Wassers,  $c_{p_{H_2O}}$  die spezifische Wärme von Wasser,  $m_{Glas}$  die Masse des Glases und  $c_{p_{Glas}}$  den Wärmewert des Glaspostens. Da in diesem Fall die Glastemperatur  $\vartheta_{Glas}$  pyrometrisch ermittelt wird und demnach bekannt ist, wird die Gleichung 1 zu

$$\overline{c_{p_{Glas}}} = \frac{(\vartheta_{Misch} - \vartheta_{H_2O}) \cdot (m_{H_2O} + w) \cdot c_{p_{H_2O}}}{m_{Glas} \cdot (\vartheta_{Glas} - \vartheta_{Misch})} \quad (2)$$

umgestellt. Es wird ein Wert von  $\overline{c_p} = 1,25 \text{ J/g} \cdot \text{K}$  ermittelt. Wobei hier die Mischtemperatur des Wassers mit dem Glas im Kalorimeter ca.  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  betrug und die Quasi-Tropfentemperatur mit ca.  $1183 \text{ }^\circ\text{C}$  pyrometrisch ermittelt wurde. Also ist der  $c_p$ -Wert ein Mittelwert im Temperaturintervall von  $33$  bis  $1183 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.2 Wärmebilanz

Für die Wärmebilanz wurde gemäß der Zusammensetzung ein „wahrer“  $c_p$ -Wert nach Sharp, Moore im Temperaturintervall  $1000 \dots 1200 \text{ }^\circ\text{C}$  von  $c_p = 1,345 \text{ J/g K}$  errechnet. Die Wärmebilanz zeigt, dass der Glaspfropfen  $12,6 \text{ kJ}$  verliert, bis er schließlich in die Vorform gelangt. Der größte Anteil mit  $6,76 \text{ kJ}$  ist dem Rinnensystem zuzuschreiben. Weitere  $34,64 \text{ kJ}$  werden dem Glas bei der Kübelbildung entzogen.

### 3.3 Einfluss der Rinnen auf die Glasposten

Der Glastropfen gleitet in der Rinne zu den einzelnen Stationen. Hierbei wird ihm Wärme entzogen bzw. gibt der Tropfen Wärme an die Umgebung ab. Dies hat zur Folge, dass ein Temperaturprofil über die Stationen hin zu erkennen ist. In Bild 2 wird erkennbar, dass die Quasi-Tropfentemperatur vor der Vorform ein Maximum an den mittleren Stationen bildet. Dieses Temperaturprofil ist auch am Kübel auf der Fertigformseite wieder zu finden. Die Ursachen für diesen Temperaturverlauf sind die verschiedenen Anströmverhältnisse des Tropfens, der Kontakt zwischen Rinne und Glastropfen, die Laufzeit der Tropfen in der Rinne und die Gewichte sowie der Länge der Rinnen. Welchen Einfluss die Rinnengewichte sowie deren Länge auf den Tropfen hat, soll im Folgenden geklärt werden.

#### 3.3.1 Spezifische Gewichte der Rinnen

Für die Ermittlung der spezifischen Gewichte wird sowohl das Gewicht der einzelnen Rinnensegmente als auch die Gleitlänge der Tropfen in der Rinne festgestellt. Durch Division des Gewichtes durch die Gleitlänge des Glastropfens wird das spezifische Gewicht errechnet.

$$m_{\text{spez.}} = \frac{m_{\text{Rinne}}}{l_{\text{Rinne}}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] \quad (3)$$

In Bild 3 kann eine Art gegenläufige Korrelation zwischen der Quasi-Tropfentemperatur und den spezifischen Gewichten erkannt werden. Demnach könnte hier durch Anpassung der spezifischen Gewichte, d.h. Gewichtsänderung bei gleich bleibender Länge, das Profil der Quasi-Tropfentemperatur der einzelnen Stationen geändert werden. Des Weiteren kann die Quasi-Tropfentemperatur der einzelnen Stationen dadurch geändert werden, dass der Tropfen eine Drehbewegung in der Rinne durchführt, wie im Folgenden gezeigt wird.

#### 3.3.2 Einflüsse der Rinnen bei drehenden Glastropfen

Bei einem Versuch, bei dem der Glastropfen eine Drehbewegung in der Rinne durchführt, konnte beobachtet werden, dass sich die Quasi-Tropfentemperatur ändert. Hierfür wurde die Mittelrinne so ausgerichtet, dass der Tropfen nach dem Verlassen des Scoops nicht mittig in die Mittelrinne fällt, wie es im „normalen“ Betrieb der Fall ist. Dadurch erhält der Tropfen an der höher werdenden Mittelrinnenwandung einen Drall, den er bis zum Deflector beibehält. Im Extremfall kann es sogar passieren, dass der Tropfen durch den Kontakt mit der Wandung von der Rinne abhebt und nach einer gewissen Länge wieder in der Rinne landet. Wie sich die Drehung bzw. der Flug des Tropfens in bzw. über der Mittelrinne auf die Quasi-Tropfentemperatur auswirkt, wird in Bild 4 am Beispiel von Station 2 veranschaulicht.

Es wird eine Temperaturdifferenz bis zu 10 K an Station 2 sichtbar. Der blaue Verlauf (▼) repräsentiert den „normalen“ Betrieb, bei dem der Tropfen einseitig in der Mittelrinne rutscht. Der grüne Peak (▲) stellt die Quasi-Tropfentemperatur dar, bei dem der Tropfen eine Drehbewegung durchführt. Der rote Peak (■) beschreibt die Quasi-Tropfentemperatur des Glastropfens, bei dem er eine Flugbahn oberhalb der Mittelrinne an Station 2 aufweist und nach ca. 1,5 m wieder in der Rinne landet.

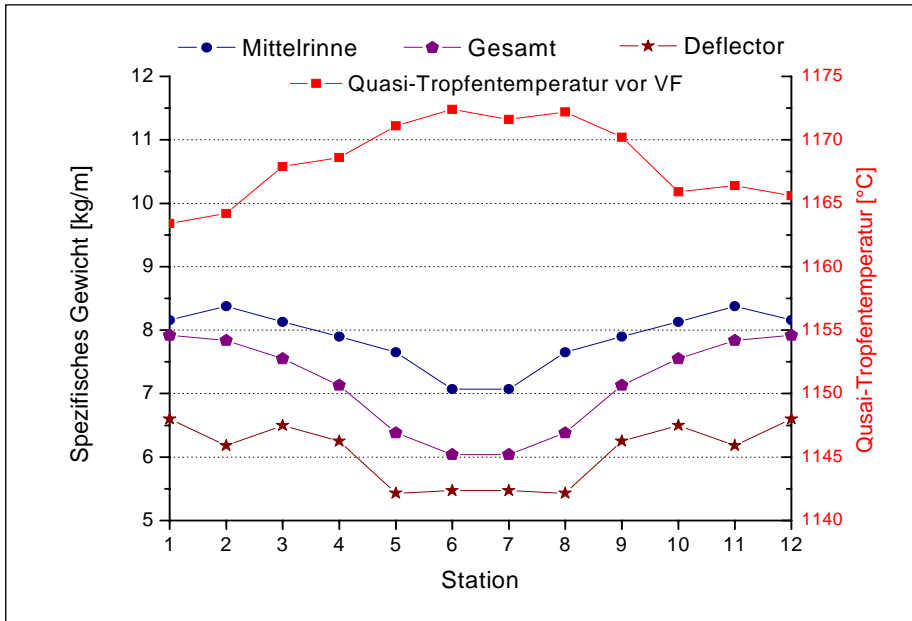


Bild 3: Spezifische Gewichte der Rinnensegmente bzw. des Rinnensystems + Quasi-Tropfentemperatur vor der Vorform.

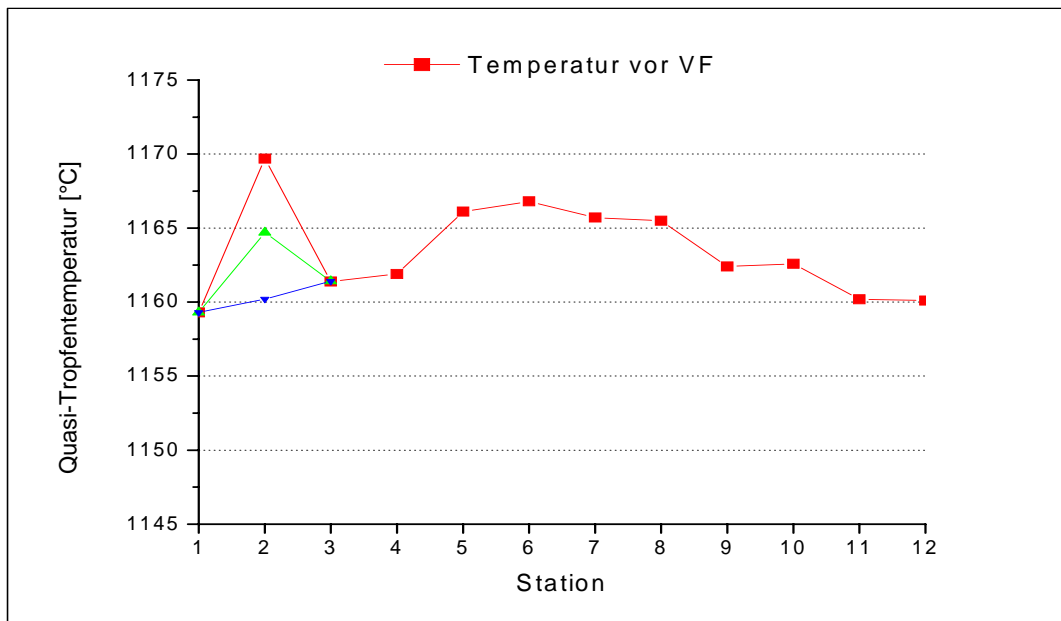


Bild 4: Glastropfen führt Drehbewegung in der Mittelrinne an Station 2 durch.

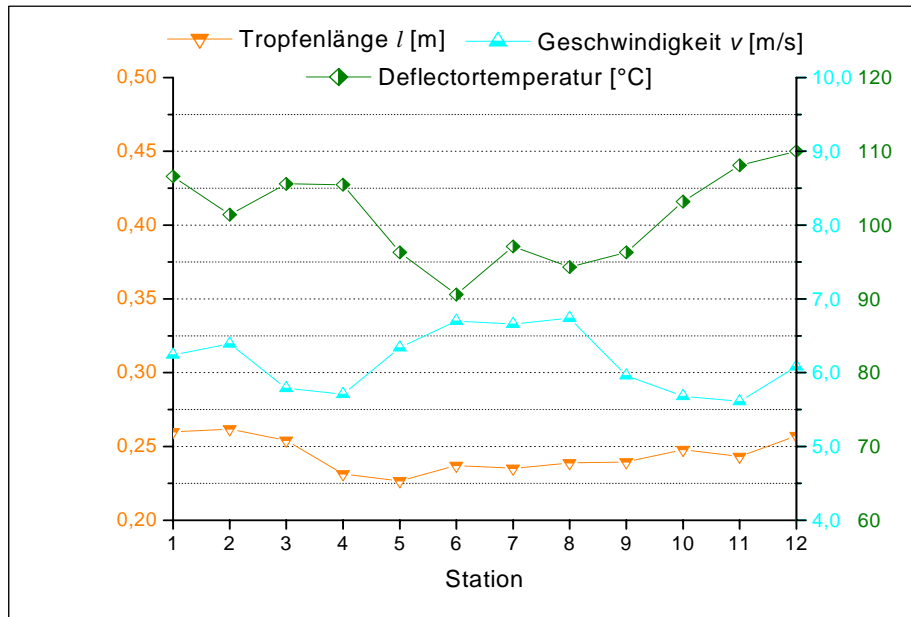


Bild 5: Zusammenhang Deflectortemperatur, Tropfengeschwindigkeit und Tropfenlänge.

### 3.4. Zusammenhang zwischen Deflectortemperatur, Tropfengeschwindigkeit und Tropfenlänge

Für den Zusammenhang zwischen der Deflectortemperatur, der Tropfengeschwindigkeit und der Tropfenlänge, wurden die Temperaturen der Deflectoren mit einem Einkanalpyrometer (Messbereich:  $8...13 \mu m$ ) gemessen. Zur Feststellung der Tropfengeschwindigkeit und Länge wurde der Speed-Gop benutzt, der mittels Wärmesensoren, die einen definierten Abstand zueinander haben, die Zeitdifferenzen misst und daraus einen Geschwindigkeits- und Längenwert errechnet.

Es ist zu erkennen, dass die Deflectortemperatur zu den mittleren Stationen hin geringer wird. Dies ist auf die verschiedenen Längen der Deflectoren und die damit verbundenen Oberflächen zurückzuführen, da eine größere Oberfläche eines längeren Deflectors mehr Energie abgibt und schneller abkühlt, als ein kürzerer es tut. Ferner haben aufgrund des Aufbaus der Maschine die Deflectoren der äußeren Stationen einen engeren Kontakt mit den Tropfen als die Inneren, da weniger Platz für die Krümmung der Deflectoren zur Verfügung steht und somit die Tropfen durch die entstehende Zentrifugalkraft stärker in den Deflector gepresst werden.

Eine Geschwindigkeitsabhängigkeit der Tropfen von der Rinnentemperatur lässt sich ebenfalls erkennen. Es scheint, je höher die Rinnentemperatur ist, desto langsamer ist der Tropfen in der Rinne. Für die Länge des Tropfens kann erkannt werden, dass mit zunehmender Rinnentemperatur die Tropfen verlängert werden. Dies ist jedoch weniger stark ausgeprägt, da sich lediglich eine Längendifferenz von ca.  $3,5 \text{ cm}$  zwischen den äußeren und inneren Stationen einstellt. Somit kann hierfür die Gesamtaussage gemacht werden, dass je höher die Rinnentemperatur ist, desto geringer ist die Geschwindigkeit der Glastropfen bei zunehmender Länge.

#### 4. Zusammenfassung

Zunächst wurde ein mittlerer  $c_p$ -Wert von  $1,25 J/g \cdot K$  vorgestellt, der durch pyrometrische und kalorimetrische Messungen empirisch ermittelt wurde. Dieser Wert gilt für das Temperaturintervall  $33...1183 ^\circ C$ . Die für die Wärmebilanz errechnete spezifische „wahre“ Wärme ist gemäß der Zusammensetzung mit  $1,345 J/g \cdot K$  nach Sharp und Moore errechnet worden.

Die Wärmebilanz der IS-Maschine brachte hervor, dass dem Tropfen bei der Külbelformung  $34,64 kJ$  entzogen werden. Des Weiteren verliert der Tropfen  $6,76 kJ$  bis er schließlich in die Vorform gelangt. Hierbei kann der größte Teil des Verlustes dem Rinnensystem zugeschrieben werden.

Es wurde gezeigt, dass die Quasi-Tropfentemperatur vor der Vorform einen Unterschied von  $10 K$  zwischen den inneren und den äußeren Stationen aufweist und am Kübel auf der Fertigformseite wiederzufinden ist. Über die Anpassung der spezifischen Gewichte des Rinnensystems könnte dieser Unterschied minimiert werden. Ebenso kann der Unterschied verringert werden, indem der Glastropfen in der Mittelrinne eine Drehbewegung durchführt.

Ferner wurde ein Zusammenhang zwischen der Deflectortemperatur, der Tropfengeschwindigkeit und der Tropfenlänge festgestellt. Hier kann die Aussage gemacht werden, je höher die Deflectortemperatur ist, desto geringer ist die Geschwindigkeit der Glastropfen bei zunehmender Länge.