

# High Temperature Thermometry Laborbericht

Emanuel Mondgenast  
Markus Gartmann

6. November 2010

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>3</b>
2.1	Aufbau der Lanze . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Berechnungsmethoden</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Resultate und Diskussion</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Fehlerquellen</b>	<b>6</b>
	<b>Literatur</b>	<b>7</b>
<b>A</b>	<b>Nomenklatur</b>	<b>7</b>
<b>B</b>	<b>Messprotokoll</b>	<b>8</b>

## 1 Einführung

Bei der Messung von Gastemperaturen bei sehr hohen Temperaturen ist ein Thermoelement erheblicher Wärmestrahlung ausgesetzt. So kann die gemessene Temperatur bedeutend über der tatsächlich vorliegenden sein. Vor allem bei Temperaturen über  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  spielt dieser Effekt eine erhebliche Rolle, da die Strahlung proportional zur vierten Potenz der Temperatur zunimmt. In vielen Anwendungen ist eine genaue Messung unverzichtbar.

Im Versuchsaufbau wird das Problem dadurch gelöst, dass ein Thermoelement mit einem Strahlungsschild ummantelt wird. Zudem saugt man einen definierten Gasstrom am Thermoelement vorbei, um dessen Einfluss zu untersuchen. Dadurch gleicht sich bei einem erhöhten Gasdurchfluss die Temperatur des Thermoelements besser der Gastemperatur an.

## 2 Versuchsaufbau

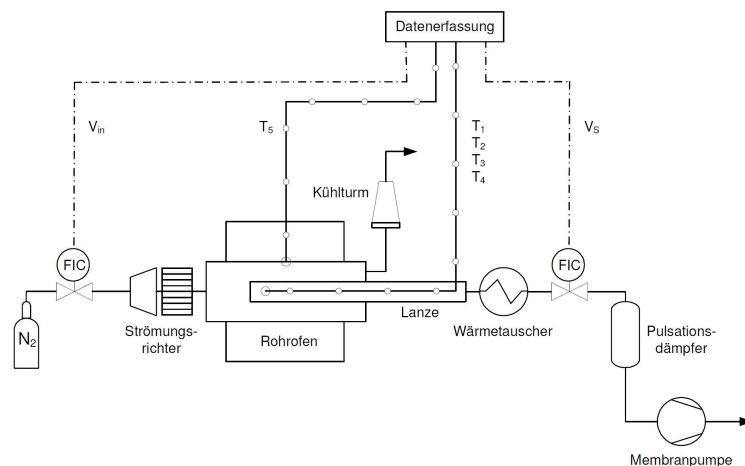


Abbildung 1: Schema der Versuchsanlage [1]

Über einen Massendurchflussregler (FIC) strömt Stickstoff durch einen Rohröfen. Zur Ermittlung der Gastemperatur wird eine Lanze eingeführt. Gleichzeitig wird durch das Messinstrument mit Hilfe einer Membranpumpe Gas vom Ofen abgezogen. Damit die nachfolgenden Instrumente keinen hohen Temperaturen ausgesetzt sind, ist ein Wärmetauscher vorgeschaltet. Der restliche Stickstoff entströmt über einen Kühlturm in die Umgebung. Die Datenerfassung der gemessenen Temperaturen und die Steuerung der beiden FIC's geschieht mittels eines Computers.

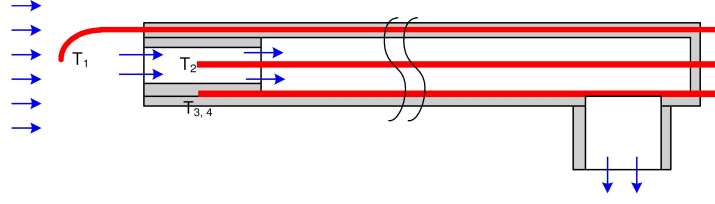


Abbildung 2: Aufbau der Lanze [1]

## 2.1 Aufbau der Lanze

Das Thermoelement, welches  $T_2$  misst, ist von einem Strahlungsschild umgeben. In diesem wird auf der Ober- und Unterseite die Temperatur ( $T_3, T_4$ ) gemessen, um den Strahlungseinfluss des Schildes auf die Gastemperatur zu berechnen. Um einen Vergleich mit der Temperatur zu haben, welche ohne Abschirmung gemessen werden würde, steht ein Thermoelement ( $T_1$ ) aus der Lanze hervor.

## 3 Berechnungsmethoden

Aus der Wärmebilanz am Thermoelement folgt die implizite Gleichung für die Gastemperatur [2].

$$T_{gas} = T_{tc} - \frac{1}{A_{tc} \cdot \bar{h}} \cdot (\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{cond}(T_{gas})) \quad (1)$$

mit

$$\dot{Q}_{rad} = \frac{A_{tc} \cdot \sigma \cdot (T_{sh}^4 - T_{tc}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{tc}} + \frac{D_{tc}}{D_{sh}} \cdot \left( \frac{1}{\epsilon_{sh}} - 1 \right)} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{cond} = k_{eff} \cdot A_{cond} \cdot \frac{T_{sh} - T_{tc}}{L_{tc}} \quad (3)$$

Die Schildtemperatur  $T_{sh}$  setzt sich bei unserem Experiment aus dem Mittelwert von  $T_3$  und  $T_4$  zusammen.

## 4 Resultate und Diskussion

Unter Zuhilfenahme des Excelfiles, welches uns zur Verfügung gestellt wurde, berechneten wir iterativ die Gastemperatur. Bei  $T_H = 950\text{ °C}$  wiederholten wir die Messreihe mit  $V_s = 1\frac{\text{nl}}{\text{min}}$ , da der Wert für  $T_4$  offensichtlich zu hoch ist.

Aus der Abbildung 3 ist ersichtlich, dass  $T_{gas}$  immer unterhalb von  $T_2$  liegt. Daraus folgt, dass  $\dot{Q}_{conv}$  stets negativ ist; das Gas nimmt Wärme auf oder anders ausgedrückt, die Lanze wird durch das Gas gekühlt.

Im nun folgenden Abschnitt wird der Einfluss des abgesaugten Volumensstroms auf die gemessenen Temperaturen untersucht.

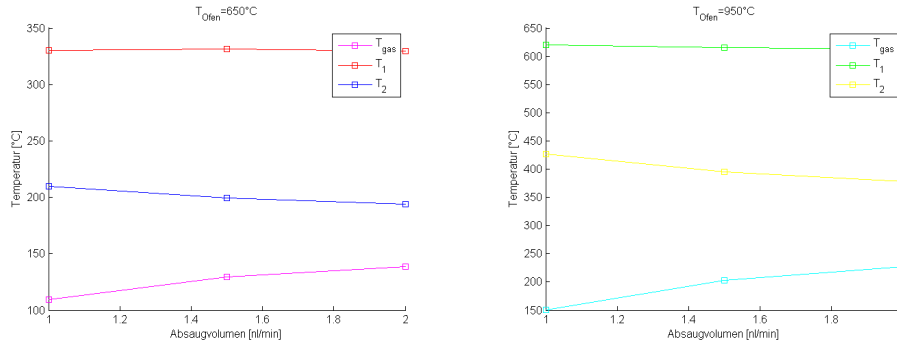


Abbildung 3: Vergleich der gemessenen Temperaturen

Die Temperatur  $T_2$  nimmt mit grösser werdendem Volumenstrom ab, wobei  $T_1$  beinahe konstant bleibt.

Theoretisch müsste die Gastemperatur stets den gleichen Wert aufweisen. Es ist jedoch zu beobachten, dass sie mit zunehmendem Volumenstrom wächst.

Die Unterschiede zwischen den Werten von  $T_{gas}$  und  $T_2$  zu  $T_1$  fallen bei der höheren Temperatur viel grösser aus aufgrund des bereits erwähnten Einflusses der Wärmestrahlung welcher ab  $800\text{ °C}$  an Bedeutung gewinnt. Ebenfalls auffällig ist der Knick in der Kurve von  $T_{gas}$  bei  $V_s = 1.5$ . Interessant wäre es, hier weitere Messreihen zu erstellen, denn mit den vorhandenen Daten ist es nicht möglich, eine definitive Aussage über den Einfluss von  $V_s$  zu tätigen.

## 5 Fehlerquellen

Die Messresultate weisen erhebliche Fehler auf. Insbesondere die Gastemperatur, welche von dem abgesaugten Gasstrom unabhängig sein sollte, nimmt mit grösserem  $V_g$  zu. Dieses Problem kann viele Ursachen haben. Fehler können einerseits beim Modell vorhanden sein (z.B. Parameterwahl, Vereinfachungen beim Strahlungsmodell), andererseits können auch die Thermoelemente ein temperaturabhängiges Verhalten aufweisen, welches bei der Umrechnung der ausgegebenen Spannungen in Grad Celsius ungenügend berücksichtigt wurde.

## Literatur

- [1] Strahlungskorrigierte Temperaturmessungen bei Temperaturen um 1000 °C. [http://www.ifd.mavt.ethz.ch/education/Lectures/exp\\_methods/Handouts/Handouts2010/Lab\\_HighT\\_2010.pdf](http://www.ifd.mavt.ethz.ch/education/Lectures/exp_methods/Handouts/Handouts2010/Lab_HighT_2010.pdf); visited on October 31th 2010.
- [2] A. Z'Graggen, H. Friess, and A. Steinfeld. Gas temperature measurement in thermal radiating environments using a suction thermocouple apparatus. *Measurement science & technology : an international journal*, 18(11):3329–3334, 2007.

## A Nomenklatur

$T_{gas}$ :	Strahlungsbereinigte Gastemperatur
$T_{tc}$ :	Temperatur des Thermoelements ( $T_2$ )
$T_{sh}$ :	Temperatur des Wärmeschildes ( $T_3, T_4$ )
$T_H$ :	Temperatur Rohrofen
$V_s$ :	Volumenstrom durch Lanze
$V_{in}$ :	Eingangsvolumenstrom
$A_{tc}$ :	Querschnitt Thermoelement ( $T_4$ )
$A_{cond}$ :	Oberfläche Thermoelement ( $T_2$ )
$\bar{h}$ :	durchschnittlicher Wärmeübergangskoeffizient
$\epsilon_{tc}$ :	Emissivität Thermoelement
$\epsilon_{sh}$ :	Emissivität Wärmeschild
$\sigma$ :	Stefan-Boltzmann Konstante
$L_{tc}$ :	Länge des Thermoelements ( $T_2$ )
$D_{tc}$ :	Durchmesser des Thermoelements ( $T_2$ )
$D_{sh}$ :	Durchmesser des Wärmeschildes
$k_{eff}$ :	effektive Wärmeleitfähigkeit
$\dot{Q}_{conv}$ :	Konvektiver Wärmefluss

## B Messprotokoll

Tabelle 1: Messprotokoll

$V_{in}$	$\frac{nl}{min}$	$i)T_H = 650\text{ }^\circ\text{C}$			$ii)T_H = 950\text{ }^\circ\text{C}$			
		10			10			
		1	1.5	2	1	1.5	2	1
$T_1$	$^\circ\text{C}$	333.0	331.6	329.6	629.1	615.7	612.9	620.8
$T_2$	$^\circ\text{C}$	209.7	199.4	194.1	435.3	394.8	378.1	426.4
$T_3$	$^\circ\text{C}$	402.5	397.9	395.5	706.1	689.6	682.6	701.6
$T_4$	$^\circ\text{C}$	406.9	402.3	401.1	974.6	694.2	687.8	706.7
Zeitpunkt		09:12	09:22	09:30	09:55	10:05	10:10	10:15
$T_{gas}$	$^\circ\text{K}$	382.7	402.8	412.0	...	476.0	499.9	424.1