

Protokoll

Temperaturmessung : Zeitverhalten von Berührungsthermometern

Praktikumsteilnehmer:

Aufgabenstellung:

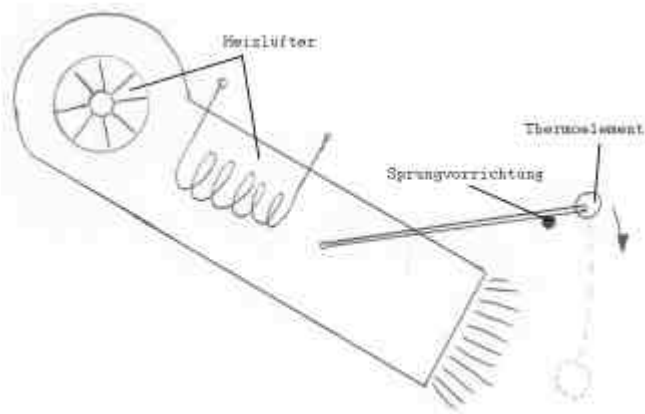
Aufgabe 1: Aufnahme der Sprungantwort und Bestimmung der Zeitkennwerte : $T_{t+u}=T_t+T_u$,
 $T_h=T_{0,5}$ und $T_{0,9}$

Aufgabe 2: Untersuchung des Einflusses der Thermometerausführung und der Messbedingungen auf die Zeitkennwerte

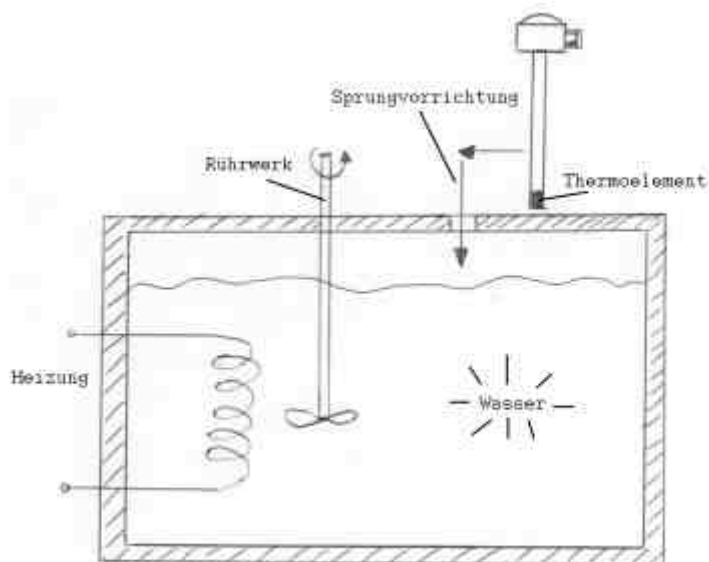
Aufgabe 3: Prüfung auf PT1 Verhalten und Bestimmung der Zeitkonstante T_1

Durchführung:

1. Versuchsaufbau

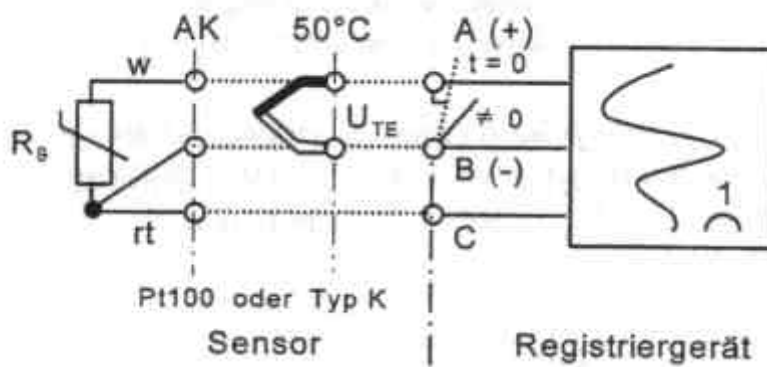


Temperatursprung in Luft



Temperatursprung in Wasser

Anschlußschema:



Auswertung:

1. Aufnahme der Sprungantwort und Bestimmung der Zeitkennwerte : $T_{t+u}=T_t+T_u$, $T_h=T_{0,5}$ und $T_{0,9}$

1.1 Meßschriebe mit eingetragenem Lösungsweg: s.Anlagen

1.1.1 Muß beim Thermoelement der zeitliche Verlauf $U_{TE}=f(t)$ in den Verlauf $\varphi=f(t)$ umgezeichnet werden?

Ein Umzeichnen des zeitlichen Verlaufes vor der Kennwertermittlung ist nicht erforderlich, da:

- U und φ proportional zueinander sind (nahezu linearer Zsh. für den Bereich -2mV...+2mV) und die Zeitkennwerte $T_{0,5}$ und $T_{0,9}$ bezüglich φ ermittelt werden
- Nur Verlauf, Anstieg sowie Schnittpunkte der Kurve mit dem Anfangs- und Endwert zur weiteren Kennwertbestimmung notwendig sind, somit sind die abzulesenden Kennwerte $T_{0,5}$, $T_{0,9}$, T_u , T_e , T_g und T_1 nahezu identisch

1.2 tabellarische Zusammenstellung der Zeitkennwerte sowie der Werte für $T_{0,9}/T_{0,5}$ und $(T_{0,9}/T_{0,5})^* = (T_{0,9}-T_{t+u})/(T_{0,5}-T_{t+u})$:

Messschrieb Nr.:	$T_{0,5}$ (s)	$T_{0,9}$ (s)	$T_{0,9}/T_{0,5}$	T_{t+u} (s)	$(T_{0,9}/T_{0,5})^* = (T_{0,9}-T_{t+u})/(T_{0,5}-T_{t+u})$
1	28	86,5	3,09	2,5	3,29
2	54,5	169,5	3,11	2	3,19
3	31	109,5	3,53	0	3,53
5	82	245	2,99	9	3,23
6	3,5	46	13,14	1	18
8	29	88	3,03	2,5	3,23

Nummerierung entspricht der der Praktikumsanleitung

- 1: 4mm – Mantelthermoelement (Luft)
- 2: 6mm – Mantelthermoelement (Luft)
- 3: 6mm – Thermoelement nackte Messstelle (Luft)
- 5: 8mm – Thermoelement (Luft)
- 6: 8mm – Thermoelement (Wasser)
- 8: 8mm – Pt100 – Messeinsatz (Wasser)

Betrachtung der Ergebnisse $T_{0,9}/T_{0,5}$ und $(T_{0,9}/T_{0,5})^*$ mit maximaler Unsicherheit:

? $T_{0,9}$, ? $T_{0,5}$ = 1mm bzw. 1s (0.5mm auf Temperaturachse und 0.5mm auf Zeitachse)

$$\Delta \left(\frac{T_{0,9}}{T_{0,5}} \right) = \left(\frac{\Delta T_{0,9}}{T_{0,9}} + \frac{\Delta T_{0,5}}{T_{0,5}} \right) * \frac{T_{0,9}}{T_{0,5}}$$

Nr.:	? $(T_{0,9}/T_{0,5})$	$T_{0,9}/T_{0,5}$
1	0.15	3.09 ± 0.15
2	0.08	3.11 ± 0.08
3	0.15	3.53 ± 0.15
5	0.05	2.99 ± 0.05
6	4.04	13.14 ± 4.04
8	0.14	3.03 ± 0.14

Nummerierung entspricht der der Praktikumsanleitung

2. Untersuchung des Einflusses der Thermometerausführung und der Messbedingungen auf die Zeitkennwerte

Vorbetrachtung: Zusammenhang von $T_{0,9}$ und T_1

$T_{0,9} = f(T_1)$ Herleitung: für ideales PT1-Verhalten gelöste Dgl:

$$J_{F,\infty} - J_{F(t)} = (J_{F,\infty} - J_{F,0}) * e^{-\frac{t}{T_1}} \quad (1)$$

$J_{F(t)}$ bei $T_{0,9}$

$$J_{F(T_{0,9})} = J_{F,0} + 0.9 * (J_{F,\infty} - J_{F,0}) \quad (2)$$

(2) in (1) einsetzen:

$$(J_{F,\infty} - J_{F,0}) - 0.9 * (J_{F,\infty} - J_{F,0}) = (J_{F,\infty} - J_{F,0}) * e^{-\frac{T_{0,9}}{T_1}}$$

$$0.1 = e^{-\frac{T_{0,9}}{T_1}}$$

$$T_{0,9} = -\ln 0.1 * T_1$$

2.1 Abhängigkeit der Zeitkennwerte T_{t+u} und $T_{0,9}$ von:

- Thermometerausführung (mit/ohne Schutzrohr):

theoretisch: Thermometer mit Schutzrohr haben eine größere Zeitkonstante T_1 (da $T_1 = m * c / a * A$ und $m * c$ steigt mit Schutzrohr). Da $T_{0,9} = -\ln 0.1 * T_1$ (s.Vorbetrachtung) steigt mit T_1 auch $T_{0,9}$.

Weiterhin liegt beim Thermometer ohne Schutzrohr der Eingangswert sofort an der Messstelle an. Es gibt fast keine Verzögerung, d.h. $T_{t+u}=0$.

Thermometer mit Schutzrohr:

Schutzrohre wirken wie zusätzliche Temperaturspeicher. Durch den Wärmetransport durch den Mantel zum Thermometer tritt somit beim Thermometer mit Schutzrohr eine Verzugszeit auf..

Die in der Vorbetrachtung geschilderten Vorgänge wurden experimentell bestätigt.

Zum Vergleich: Beim Thermoelement mit Schutzrohr ist auf dem Messschrieb (Heißluftstrom) deutlich die Totzeit T_{t+u} erkennbar, während selbige beim Thermoelement ohne Schutzrohr kaum erkennbar ist. Auch sind bei der Variante mit Schutzrohr T_1 und damit $T_{0,9}$ kleiner als bei der Ausführung ohne Schutzrohr.

- Meßprinzip: Vgl. Pt 100/ Thermoelement

Die beiden Messprinzipien basieren auf verschiedenen physikalischen Effekten.

Das Thermoelement ist ein aktiver Sensor, bei dem in einem elektrischen Kreis aus zwei unterschiedlichen metallischen Leitern (hier NiCr-Ni) eine Thermospannung auftritt, sobald die Verbindungsstellen unterschiedliche Temperaturen haben (Seebeck-Effekt). Bei dem passiven Sensor „PT 100“ ändert sich mit der Temperatur der Leitwert (Widerstand) – passiv, weil dieser sich ändernde Widerstand mit einer angelegten Spannung gemessen wird. Auf Grund dieser unterschiedlichen Physikalischen Effekte bzw. Ausführungen ist T_1 beim Thermoelement kleiner als T_1 vom PT100. Da beide Thermometer mit einem Schutzrohr versehen sind, tritt tauch hier T_{t+u} auf. Im Experiment wurde bestätigt, dass das Thermoelement in Wasser (6) einen kleineren T_1 Wert vorweist, als das PT100 in Wasser (8). Da bei beiden Messverfahren PT1-Verhalten annähernd angenommen werden kann, gilt auch hier mit $T_{0,9} = -\ln 0,1 * T_1$, $T_{0,9}$ vom Thermoelement ist kleiner als $T_{0,9}$ vom PT100, bei sonst gleichen Bedingungen.

- Messbedingungen

Vergleicht man die Messschriebe von (5) und (6) fällt auf, dass T_1 bei Wasser deutlich kleiner ist. Dies lässt sich mit Hilfe des Wärmeübergangskoeffizienten a erklären, welcher bei Wasser viel größer ist als bei Luft. T_1 ist umgekehrt proportional zu diesem Koeffizient. Auch T_{t+u} ist bei Wasser fast nicht ermittelbar, weil der Wärmeübergangskoeffizient sehr groß ist.

- unterschiedliche Außendurchmesser

Bei einem größeren Außendurchmesser ist auch die Oberfläche A größer. Mit $T_1 = m * c / a * A$ folgt, dass mit einem großen A T_1 kleiner werden müsste.

Dies ist durch (1) und (2) nicht erkennbar. Durch den Anstieg von m ist zu erklären, dass mit einer Vergrößerung des Durchmessers die Masse im Quadrat, die Oberfläche aber nur linear steigt. T_{t+u} ist bei (1) kleiner als bei (2), da bei (2) mehr Masse erwärmt werden muss.

3. Prüfung auf PT1 Verhalten und Bestimmung der Zeitkonstante T_1

3.1 : Prüfen auf PT1-Verhalten

Möglichkeiten zur Prüfung einer Sprungantwort auf PT1-Verhalten und zur Bestimmung der Zeitkonstante

- Möglichkeit der Prüfung über den Verhältnisvergleich von $T_{0,9}/T_{0,5}$:
Bei idealem PT1-Verhalten ist dieses Verhältnis 3,32 (Nachweis:
Herleitung/Ableitung aus gelöster Differentialgleichung für PT1-Verhalten)

$$J_{F,\infty} - J_{F(t)} = (J_{F,\infty} - J_{F,0}) * e^{\frac{-t}{T_1}} \quad (1)$$

$J_{F(t)}$ bei $T_{0,9}$

$$J_{F(T_{0,9})} = J_{F,0} + 0.9 * (J_{F,\infty} - J_{F,0}) \quad (2)$$

(2) in (1) einsetzen:

$$(J_{F,\infty} - J_{F,0}) - 0.9 * (J_{F,\infty} - J_{F,0}) = (J_{F,\infty} - J_{F,0}) * e^{\frac{-T_{0,9}}{T_1}}$$

$$0.1 = e^{\frac{T_{0,9}}{T_1}}$$

$$T_{0,9} = - \ln 0.1 * T_1$$

Bzw. für $T_{0,5}$

$$T_{0,5} = - \ln 0.5 * T_1$$

$$\frac{T_{0,9}}{T_{0,5}} = \frac{- \ln 0.1 * T_1}{- \ln 0.5 * T_1} = 3.32$$

Vorteil: 2 Werte werden zur Charakterisierung herangezogen, diese sind relativ genau bestimmbar

- Möglichkeit zur Bestimmung von T_1

Die Bestimmung von T_1 ist bei PT1-Verhalten über die Anfangstangente möglich. Hierbei ist T_1 der Wert auf der Zeitachse, bei der sich die Tangente bei $t=0$ mit der Endtemperatur schneidet.

Allgemeine Geradengleichung: $y=m*t+n$

Für $t=0$ ist $n = J_{F,0}$

$$\text{und } m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{J_{F,\infty} - J_{F,0}}{T_1}$$

daraus folgt: $y = \frac{1}{T_1} * (J_{F,\infty} - J_{F,0}) * t + J_{F,0}$ (3)

für den „Endwert“ ergibt sich:

$$y = J_{F,\infty}$$

einsetzen in (3)

$$(J_{F,\infty} - J_{F,0}) = \frac{1}{T_1} * (J_{F,\infty} - J_{F,0}) * t$$

$$T_1 = t$$

Nachteile: Anfangstangente ist nur schwer genau zu bestimmen, was Ungenauigkeiten bei der T1-Ermittlung zur Folge hat.

Vorteile: schnell u. wenig aufwendig bei oftmals hinreichender Genauigkeit

- weitere Möglichkeit zur T1-Bestimmung aus Schnittpunkt der Verlaufskurve mit $J_{F(T_{0.63})}$, d.h. bei 63% von ΔJ_0
 $J_{F(T_{0.63})} = J_{F,0} + 0.63 * (J_{F,\infty} - J_{F,0})$

Nachweis: Herleitung/Ableitung aus gelöster DGL für PT1-Verhalten

$$J_{F(t)} = J_{F,\infty} - (J_{F,\infty} - J_{F,0}) * e^{\frac{-t}{T_1}}$$

Für $t = T_1$

$$J_{F(T_1)} = J_{F,\infty} - 0,367 * (J_{F,\infty} - J_{F,0}) \quad | - J_{F,0}$$

$$J_{F(T_1)} - J_{F,0} = (J_{F,\infty} - J_{F,0}) - 0,367 * (J_{F,\infty} - J_{F,0})$$

$$J_{F(T_1)} - J_{F,0} = 0.633 * (J_{F,\infty} - J_{F,0})$$

d.h. $t=T_1$ ist auf der Zeitachse dort abzulesen, wo die Kurve 63% von ΔJ_0 erreicht.

Vorteile: Der Wert von $0,63 * \Delta J_0$ ist gut zu bestimmen und somit ist auch ein relativ genaues Ablesen der Zeitkonstante möglich.

Nachteil: Der Wert von $0,63 * \Delta J_0$ gilt bei idealem PT1-Verhalten, reales PT1-Verhalten entspricht jedoch nur annähernd dem idealen Verhalten.

3.2 Welcher der untersuchten Fälle entspricht noch am ehesten PT1-Verhalten?

Nr.:	? ($T_{0,9}/T_{0,5}$)	$T_{0,9}/T_{0,5}$
1	0.15	3.09 ± 0.15
2	0.08	3.11 ± 0.08
3	0.15	3.53 ± 0.15
5	0.05	2.99 ± 0.05
6	4.04	13.14 ± 4.04
8	0.14	3.03 ± 0.14

Nummerierung entspricht der der Praktikumsanleitung

Wenn zur Prüfung auf PT1-Verhalten nur das Verhältnis $T_{0,9}/T_{0,5}$ betrachtet wird, entspricht Sprungantwort Nr. 3 am ehesten PT1-Verhalten.

Der Quotient liegt beim Fall 3 auch unter Berücksichtigung der maximalen Unsicherheit am nächsten am idealwert von 3,32. (siehe Tabelle)

3.3 Verhalten gegenüber PT1

voreilendes Verhalten: Kurve steigt schneller als bei PT1 zu erwarten wäre.

$$\frac{T_{0,9}}{T_{0,5}} > 3.32 \quad \text{bei Messungen 3 und 6}$$

3: 6mm – Thermoelement nackte Messstelle (Luft)

6: 8mm – Thermoelement (Wasser)

nacheilendes Verhalten: Kurve steigt langsamer ,flacher ,als bei PT1 zu erwarten wäre.

$$\frac{T_{0,9}}{T_{0,5}} < 3.32 \quad \text{bei Messungen 1,2,5 und 8}$$

1: 4mm – Mantelthermoelement (Luft)

2: 6mm – Mantelthermoelement (Luft)

5: 8mm – Thermoelement (Luft)

8: 8mm – Pt100 – Messeinsatz (Wasser)