Temperaturen messen mit Thermoelementen. Von heissen und von kalten Dingen

Rebecca Eisermann Lemgo, 2000

Inhaltsverzeichnis

1	Ver	suchszweck und Erwartung	3						
2	Ten	nperatur	3						
	2.1								
	2.2		4						
	2.3		4						
3	Wä	rme	5						
	3.1	Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur	5						
	3.2	•	5						
4	Ten	nperaturmessung	6						
	4.1	-	6						
	4.2		6						
5	Wir	basteln uns ein Thermoelement	7						
	5.1		7						
	5.2	Arbeitsschritte	8						
6	Messen mit einem Thermoelement								
	6.1	Aufbau des Versuchstandes	9						
	6.2	Ohne rechnen geht es nicht	9						
	6.3	Unsere ersten Messungen	10						
7	Abs	schluss	11						
\mathbf{T}	abe	ellenverzeichnis							
	1	Temperaturmeßverfahren	7						
	2	Temperatur– Spannungstabelle für das Thermoelementenpaar							
		Fe/ CuNi mit der Vergleichstelle $0^{\circ}C$	11						
A	.bbi	ildungsverzeichnis							
	1	Metamorphosen eines Eiswürfels	3						
	2	Flüssigkeitsausdehnungsthermometer	4						
	3	Lötkolben, Lötzinn und Seitenschneider	8						
	4	Arbeitsschritte beim verlöten	8						
	5	Thermoelement in vollendeter Form	8						
	6	Thermoskanne, Taschenrechner und Spannungsmeßgerät	9						

1 Versuchszweck und Erwartung

Ziel dieses "Praktikums" ist es, Vorstellungen von den Begriffen Temperatur und Wärme zu geben. Hierbei werden die Zusammenhänge einfach und bildhaft erläutert, damit die Versuche auch an anderen Orten "Nachgeahmt" werden können.

Das Ziel der Autorin war es, die Möglichkeiten aufzuzeigen, dass mit einfachen Mitteln sehr genaue Temperaturmessungen möglich sind. Hingegen ist es nicht Sinn dieser 2- stündigen Veranstaltung die komplexen Zusammenhänge dieses doch sehr umfangreichen Lehrgebietes der Wärmelehre/Thermodynamik vollständig aufzuzeigen.

2 Temperatur

2.1 Was ist eigentlich Temperatur?

Wir Menschen sind in der Lage durch unseren Wärmesinn verschiedene Temperaturen zu spüren. Allerdings haben wir so unsere Schwierigkeiten, wenn wir genau wissen wollen wie "heiß" oder "kalt" z. B. das Badewasser ist. Uns fällt es hingegen recht leicht, wenn wir Temperaturunterschiede feststellen wollen. Bloß empfinden wir hierbei wieder nur die relativen Temperaturunterschiede zu unserem eigenen Körper.

Zum Glück haben wir in unserem Leben schon eine menge Erfahrungen mit dem, was wir unter Temperatur verstehen gesammelt. Deshalb werden uns die nächsten Erkenntnisse die wir sammeln werden auch nicht fremd vorkommen.

Aber fangen wir erst einmal an, die Temperatur eines Gegenstandes als einen Zustand zu betrachten. Leicht können wir uns das bei Gegenständen vorstellen, bei denen die Temperatur die sie haben, in unserer Umgebung unmittelbar mit ihrer Form oder Gestalt zu tun hat.

Nehmen wir mal einen Eiswürfel. Er ist bei Temperaturen unter $0^{\circ}C^1$ fest. Jetzt erwärmen wir ihn auf Raumtemperatur und stellen ohne erstaunen fest, dass er jetzt nicht mehr in seiner festen Form existiert, sondern als flüssiges Wasser. Nun Treiben wir es mit dem ohnehin schon arg strapazierten Eiswürfel auf die Spitze und erwärmen ihn (das Wasser) auf über $100\,^{\circ}C$. Wie wir sehen können, hat sich unser Eiswürfel in Dampf umgewandelt und er ist nicht mehr zu sehen.



Abbildung 1: Metamorphosen eines Eiswürfels

 $^{^1}$ Alle Angaben gelten stets für den Druck von $101325\,Pa$ (Normatmosphäre).

2 TEMPERATUR 4

Dieses kleine Gedanken- Experiment zeigt uns, das die Temperatur eines Körpers sehr wohl einen nicht unwesentlichen Einfluss auf den Zustand eines Körpers hat.

Die Temperatur ist also ein (An)Zeiger, der auf eine bestimmte Zustandsgröße hinweist.

2.2 Messen von Temperaturen

Beim Messen von Temperaturen sind wir eigentlich in einer verzwickten Lage. Wir können die Temperatur nicht direkt erfassen und messen. Dieses ist aber halb so schlimm, weil wir ja schon die Auswirkungen der Temperatur auf einen Körper kennengelernt haben. Denn die Temperatur macht sich ja über eine Zustandsänderung auf die Materie bemerkbar.

Wir alle bemerken, dass sich Körper bei "Wärme" ausdehnen². Dieses können wir uns, pfiffig wie wir sind, zunutze machen. Also schließen wir beim temperaturmessen von Körpern, mit einem Flüssigkeitsthermometer, aufgrund der Ausdehnung der Flüssigkeit im inneren des Thermometers, auf die Temperatur des Körpers den wir messen. Aber davon werden wir später noch mehr zu sehen bekommen. Fangen wir also mit dem nächsten wichtigen Punkt an.

2.3 So messen wir Temperaturen

Das Messen von Temperaturen bildet sich als eine Folge von Vorgängen ab, die sich meistens wie folgt abspielen.

- 1. Thermometer an den zu messenden Körper anlegen.
- Temperaturausgleich zwischen Thermometer und Meßkörper abwarten.
- 3. Auswirkungen auf das Thermometer feststellen, und mit einer Skala vergleichen.

Mehr findet im Grunde genommen nicht statt.



Abbildung 2: Flüssigkeitsausdehnungsthermometer

 $[\]overline{^2}$ Ausgerechnet das Wasser aus unserem Beispiel zeigt sich hier von seiner einzigartigen Seite. Beim Wasser findet im Bereich von $0^{\circ}C$ bis $4^{\circ}C$ eine Volumenverringerung bei Erwärmung statt.

3 WÄRME 5

3 Wärme

3.1 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

Die Temperatur eines Körpers ist zwar mit der Wärme gekoppelt, aber aufgrund der Temperatur alleine können wir nicht immer auf die Wärme eines Körpers schließen. Klingt kompliziert, ist aber in Wirklichkeit halb so schlimm.

Wenn wir das Experiment mit dem Eiswürfel ununterbrochen beobachtet hätten, so hätten wir Unstimmigkeiten im Temperaturverlauf während seiner Phasenänderungen³ wahrnehmen können. Obwohl Eis und Wasser die gleiche Temperatur haben können (sogar mit Dampf⁴ dazu), können sie bei gleicher Menge unterschiedlich viel Energie enthalten. Das liegt daran, dass bei der Flüssigkeit die Bindungsenergie die der Eiswürfel noch hatte, schon aufgebraucht wurde.

Wir kennen dieses Phänomen schon von heißen Sommertagen, wenn wir den heißen Asphalt mit Wasser besprühen. Das Wasser kühlt nicht nur weil es kälter ist als der Asphalt, sondern auch darum, weil noch zusätzliche Energie verbraucht wird, damit das Wasser verdampfen kann.

Bei unserem Eiswürfel verhält es sich bei seinen Phasenänderungen genauso. Oder einmal salopp ausgedrückt, die Kraft die den Eiswürfel zusammenhält, mußte mit zusätzlicher Wärmeenergie überwunden werden.

Danach verhielt es sich mit der Flüssigkeit genauso. Auch hier mußte wieder ein Mehraufwand getrieben werden, um das Wasser zu verdampfen.

Und hier liegt unser Problem, warum wir mit der Temperatur die ein Körper hat, nicht immer genau wissen wieviel Wärme in einem Körper steckt, weil die Temperatur während dieser Phasenübergänge sich nicht ändert. Sie bleibt einfach während dieser Vorgänge stehen und verharrt erst einmal. Das ist der Grund warum zwischen Wärme und Temperatur unterschieden wird.

Bis jetzt war es doch wirklich nicht schwer oder?

3.2 So versteht die Technik die Wärme

Die Technik geht anders mit dem Begriff Wärme um, als wie es wir Menschen in unserem Lebensraum gewohnt sind. Uns Menschen interessieren meist nur die relativen Temperaturunterschiede gegenüber uns und unser Umgebung.

In der Technik wird die Wärme allerdings in erster Linie als eine Energieform verstanden, mit der man verschiedene Arbeiten verrichten kann. Es handelt sich hierbei vorwiegend um *mechanische* Energie!

Aber wie ist das möglich? Auch dieses ist gar nicht so schwer zu verstehen, wie es den Anschein hat. Schauen wir mal in die Tiefen der Natur und begeben uns auf die Ebene der Atome und Moleküle.

³Als Phase wird ein Stoff– Bereich bezeichnet, der in sich selbst völlig gleichartig ist. Hier ist es jeweils Eis, Flüssigkeit oder Dampf. Eiswasser ist somit ein Gemisch aus den zwei Phasen Eis und Wasser.

 $^{^4 \}text{Der Tripelpunkt}$ (Dreipunkt) des Wassers befindet sich bei einem Druck von 610 Pa und bei einer Temperatur von $0,01^{\circ}C$

Wenn wir uns die Atome und Moleküle als Kugeln vorstellen, könnten wir mit ihnen Billard spielen. Und so sind wir schon auf des Pudels Kern gestoßen. Die Wärme ist nichts anderes als schwingende Materie, die sich in Gruppen oder alleine um den jeweiligen Schwerpunkt bewegt.

Um dies zu verdeutlichen, stellen wir uns einfach einen Billardtisch vor, auf dem sehr viele Kugeln sind, und die von einer Gruppe von Spielern die ganze Zeit über ständig angestoßen werden. Dieses Gewusel veranschaulicht dann, wie sich ein Gas (auch z. B. Wasserdampf) in unserer Umgebung bewegt.

Bei Flüssigkeiten und festen Körpern verhält es sich ähnlich, bloß wären hierbei die Kugeln als Kette (Flüssigkeit) oder als Klumpen (fester Stoff) miteinander elastisch verbunden. Hierbei zeigt sich auch die schwere mathematische Beschreibbarkeit der Wärme. Denn die Billardkugeln bewegen sich nicht alle gleich schnell, und auch nicht in die gleiche Richtung.

Schön, und was bringt uns das? Na ja, den Komfort, der uns die technische Nutzung der Wärme bietet, gebrauchen wir alle ohne uns allzu viele Gedanken darüber zu machen, wo sie herkommt.

Es werden hierbei nur einige Dinge erwähnt, wie z.B. Kühlschränke und Gefriertruhen oder auch unsere Heizungen mitsamt ihrer Steuerung und Regelungstechnik aber auch die Kraftfahrzeuge mit ihren Verbrennungkraftmaschinen wie z.B. Otto- und Dieselmotoren. Sie alle funktionieren nach diesen Prinzipien, und mit dem Spiel der Thermodynamik.

4 Temperaturmessung

4.1 Temperaturmeßverfahren

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Temperaturen von Objekten zu messen⁵. Hierbei machen wir uns verschiedene physikalische Effekte zunutze. Was auch einen gewissen Sinn ergibt, denn wer möchte schon die Temperatur eines Lava– Stromes mit der Hilfe eines Fieberthermometers messen?

Oder stellen wir uns vor, wie eine ganze Meute von Angestellten in einem Kraftwerk die Thermometer ablesen, und diese wichtigen Informationen zu Fuß oder mit Handy, in die Kommandozentrale melden. Sicherlich kein schöner Job, wenn man vor allen Dingen noch in einen sehr heißen Ofen⁶ kriechen müßte, um dort die Verbrennungstemperaturen abzulesen.

Nein, da sind wir doch ein wenig bequem und nutzen lieber die Möglichkeiten, die uns die Natur zur Verfügung gestellt hat. Die wesentlichsten Meßverfahren sind in einer Tabelle 1 auf Seite 7 festgehalten.

4.2 Thermoelemente

Thermoelemente bieten sich aus mehreren Gründen an. Wir brauchen nicht am Ort des Geschehens zu sein, und können aus sicherer Entfernung

⁵Auch wenn wir nicht die Temperaturen direkt messen können, so können wir hierbei mit dem Begriff der "Temperaturmessung" ruhig etwas großzügig umgehen.

 $^{^6}$ Man stelle sich vor, Geordie La Forge kriecht in den Warp
– Kern der Enterprise, um die Prozeßtemperatur desselbigen festzustellen.

Tabelle 1: Temperaturmeßverfahren

Längenänderung z. B. Stabausdehnungsthermometer Volumenänderung z. B. Flüssigkeitsthermometer z. B. Bimetallthermometer z. B. Bimetallthermometer z. B. Dampfdruckfederthermometer Thermospannung Thermoelemente Widerstandsthermometer Änderung der ausgesandten Strahlung Pyrometer

Formanderung Segerkegel

Farbumschlag z.B. Anlaßfarben beim Stahl

die Temperaturen messen.

Bei Thermoelementen haben wir es mit zwei unterschiedlichen metallischen Leitern zu tun, die miteinander verbunden sind. Unterschiedlich müssen sie sein, damit wir überhaupt einen Effekt wahrnehmen können.

Dieser Effekt ist jetzt ein wenig schwer zu erklären, aber ich werde mir Mühe geben.

Mit steigender Temperatur wächst die elektrische Spannung im Metall, weil sich die Elektronen auf immer höheren Schalen bewegen. Und mit dem steigenden Abstand entfernen sich auch die elektrischen Ladungen voneinander. In sich selbst ist unser Metall ja elektrisch Neutral, aber wenn wir zwei unterschiedliche Metalle (Elemente) nehmen, verhalten die sich untereinander nicht neutral. Diesen Vorgang machen wir uns zu nutze, damit wir überhaupt einen Effekt feststellen können, den wir dann anschließend mit einem Spannungsmeßgerät ablesen können.

Aber kommen wir nun zum praktischen Teil dieses Veranstaltung.

5 Wir basteln uns ein Thermoelement

5.1 Arbeitsmittel

Wir benötigen zur Herstellung eines Thermoelementes nur sehr wenig Arbeitsmittel.

- Einen Draht aus Konstantan
- Zwei Drähte aus Eisen
- Lötkolben
- Seitenschneider
- Lötzinn



Abbildung 3: Lötkolben, Lötzinn und Seitenschneider

5.2 Arbeitsschritte

Basteln ist ein wenig gemein, weil es sich so anhört, als würden wir nichts Ernsthaftes machen, aber ich versichere euch, dem ist nicht so. Denn diese Aufgaben gehören zum täglichen Brot einer Labor– Ingenieurin oder Ingenieurs.

Fangen wir erst einmal mit den Drähten an. Als erstes werden sie auf Länge zugeschnitten. Anschließend wird die Ummantelung an den Kabelenden entfernt. Nun verdrillen wir zwei Kabelenden miteinander (jeweils Eisen mit Konstantan) und löten sie zusammen (es geht auch ohne löten). Dieses machen wir zwei—mal, so das es wie auf Abbildung 5 aussieht.



Abbildung 4: Arbeitsschritte beim verlöten

Nachdem unsere Drähte ungefähr diese Form angenommen haben, könnten wir schon fast beginnen.



Abbildung 5: Thermoelement in vollendeter Form

Jetzt brauchen wir nur noch die beiden Kabel vom gleichen Typ an das Spannungsmeßgerät anbringen und das Thermoelement ist komplett.

6 Messen mit einem Thermoelement

6.1 Aufbau des Versuchstandes

Jetzt benötigen wir wieder einige Hilfsmittel. Eine Thermoskanne mit Eiswasser⁷, einen Taschenrechner⁸, eine Tabelle mit den Grundwerten der Thermospannungen und ein Spannungsmeßgerät.

Ein Ende des Thermoelementes stecken wir in die Thermoskanne, damit wir mit dem anderen Ende die Temperatur messen können.

Kaum zu glauben, dass das so einfach geht...oder?

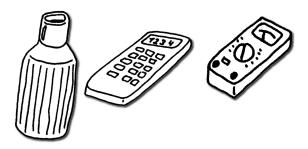


Abbildung 6: Thermoskanne, Taschenrechner und Spannungsmeßgerät

6.2 Ohne rechnen geht es nicht

Leider hat diese Methode auch einen kleinen Nachteil. Wir müssen ein klein wenig unsere Mathematik- Kenntnisse bemühen. Am bequemsten können wir die Lösung durch eine lineare Interpolation⁹ herbeiführen.

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

Nach einigen Umformen wird daraus.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

 y_n Temperatur in ${}^{\circ}C$

 x_n Spannung in mV

 $^{^7{\}rm Die}$ Thermoskanne mit dem Eiswasser wird als Vergleichstelle benötigt. Das Eiswasser bildet das Grundgerüst für die nachfolgenden Messungen.

⁸Es geht natürlich auch von Hand, aber machen wir es uns es ruhig so einfach wie möglich.

⁹Im Grunde genommen nichts anderes als eine geschickte Ausnutzung des Strahlensatzes.

Wobei $x_1 \le x \le x_2$ und $y_1 \le y \le y_2$ ist.

Ein einfaches Beispiel wird dies Verdeutlichen. Wir lesen auf unserem Spannungsmeßgerät eine Spannung von $2,19\,mV$ ab. Wie gehen wir vor?

Glücklicherweise hat unsere Vergleichstelle $0^{\circ}C$, so das wir nicht weiter umrechnen müssen. Auf unserer Tabelle 2 auf Seite 11 finden wir die nötigen Zahlenwerte, die wir dazu benötigen. Und siehe da, unter der Spalte mit der mV- Angabe finden wir unseren gesuchten Wert zwischen $40^{\circ}C...2, 11\,mV$ und $50^{\circ}C...2, 65\,mV$. Dieses setzen wir in unsere Gleichung die wir aus der linearen Interpolation umgeformt haben ein.

$^{\circ}C$	mV			
40	2.11			
50	2.65			

$$y = 40^{\circ}C + \frac{(2,19mV - 2,11mV) \cdot (50^{\circ}C - 40^{\circ}C)}{2,65mV - 2.11mV}$$

Hieraus folgt dann...¹⁰

$$y = 40^{\circ}C + 1,48K$$

 $y = 41,48^{\circ}C$

6.3 Unsere ersten Messungen

Zu den Versuchsdurchführungen gibt es nicht viel zu sagen, als einfach mal ausprobieren.

Die nächsten Punkte sollen hierbei als Anregung dienen.

- Meßstelle Eiswasser und Vergleichstelle Eiswasser
- Meßstelle Trockeneis und Vergleichstelle Trockeneis
- Meßstelle Warmwasser und Vergleichstelle Warmwasser
- Meßstelle Trockeneis und Vergleichstelle Eiswasser
- Meßstelle Warmwasser und Vergleichstelle Eiswasser
- Meßstelle Gasflamme und Vergleichstelle Eiswasser
- Meßstelle Raumtemperatur und Vergleichstelle Eiswasser

 $^{^{10}}$ Temperaturdifferenzen werden in der Technik nicht in $^{\circ}C$ angegeben, sondern in K (Kelvin); $^{\circ}C$ Weil der Nullpunkt der $^{\circ}C-$ Skala von der absoluten Temperatur verschoben ist. Dieser Fehler tritt bei der Kelvin– Skala nicht auf. Es wirkt zwar am Anfang etwas ungewöhnlich, ist aber mehr hilfreich als lästig; also ist $^{\circ}C\pm K=^{\circ}C.$

Tabelle 2: Temperatur
– Spannungstabelle für das Thermoelementenpaar Fe/ Cu Ni mit der Vergleichstelle
 $0^{\circ}C$

$^{\circ}C$	mV								
-100	-4.75	100	5.37	300	16.56	500	27.85	700	39.72
-90	-4.33	110	5.92	310	17.12	510	28.43	710	40.35
-80	-3.89	120	6.47	320	17.68	520	29.01	720	40.98
-70	-3.44	130	7.03	330	18.24	530	29.59	730	41.62
-60	-2.98	140	7.59	340	18.80	540	30.17	740	42.27
-50	-2.51	150	8.15	350	19.36	550	30.75	750	42.92
-40	-2.03	160	8.71	360	19.92	560	31.33	760	43.57
-30	-1.53	170	9.27	370	20.48	570	31.91	770	44.23
-20	-1.02	180	9.83	380	21.04	580	32.49	780	44.89
-10	-0.51	190	10.39	390	21.60	590	33.08	790	45.55
± 0	∓0	200	10.95	400	22.16	600	33.67	800	46.22
10	0.52	210	11.51	410	22.72	610	34.26	810	46.89
20	1.05	220	12.07	420	23.29	620	34.85	820	47.57
30	1.58	230	12.63	430	23.86	630	35.44	830	48.25
40	2.11	240	13.19	440	24.43	640	36.04	840	48.94
50	2.65	250	13.75	450	25.00	650	36.64	850	49.63
60	3.19	260	14.31	460	25.57	660	37.25	860	50.32
70	3.73	270	14.88	470	26.14	670	37.85	870	51.02
80	4.27	280	15.44	480	26.71	680	38.47	880	51.72
90	4.82	290	16.00	490	27.28	690	39.09	890	52.43

7 Abschluss

Wie wir gesehen haben, ist es nicht schwer mit diesem doch ungewöhnlichen Hilfsmittel¹¹ die Temperaturen von verschiedenen Körpern zu messen.

Ich hoffe diese Versuche mit den Thermoelementen regen Dich auch in anderen technischen Gebieten zum weiteren Ausprobieren an.

 $^{^{11}}$ Ungewöhnlich gilt hier nur aus der Sichtweise von Otto- Normalverbraucher