

Latente Wärme



Zielsetzung:

Wir untersuchen einen Prozess des Wärmeüberganges, der zu einem Phasenwechsel führt: Dem Schmelzen.

In dem Experiment geht es um die Untersuchung des Temperaturverlaufs im Wasser, wenn eine definierte Menge an Eis darin schmilzt. Die gesammelten Daten werden mit dem Gesetz des Wärmeaustausches und dem exponentiellen Gesetz der Kühlung analysiert. Die latente Wärme der Erstarrung soll vorgestellt und näher untersucht werden.

Spezifische Schmelzwärme

Theorie

- Phasenwechsel infolge der Übergangs von thermischer Energie
- Kalorimetrische Methode zur Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme

Phasenwechsel infolge der Abgabe thermischer Energie

Energietransfer in oder aus Materialproben können drastische Änderungen der jeweiligen internen Struktur auslösen, die auch zu einem Übergang in einen anderen Zustand führen. Die Umwandlung von einer Phase in die nächste wird als **Phasenübergang** bezeichnet. Wechsel, wie von flüssig zu gasförmig, flüssig zu fest, fest zu gasförmig sind Beispiele von Phasenübergängen. Für ein gegebenes Material findet der Phasenübergang zweier nebeneinander existierender Phasen bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck infolge der thermischen Angleichung statt. Der Wärmeaustausch bewirkt bis zum Ende des Phasenübergangs keine Temperaturveränderung.

Die Menge der zum Phasenwechsel von fest zu flüssig eines bestimmten Materiales erforderlichen Energie je Masseneinheit wird als **spezifische Schmelzwärme** der betreffenden Substanz bezeichnet – L [J/kg]. Sie ist druckabhängig.

Die Menge der thermischen Energie (Wärme) Q_m , die zum Schmelzen einer Materialmenge benötigt wird, wird in der Gleichung 1 beschrieben:

$$Q_m = m \cdot L \quad (1)$$

Abbildung 1 zeigt den Temperaturverlauf und den Zustand einer gegebenen Materialmenge bei ständiger Zufuhr von thermischer Energie. Beginnend im festen Zustand, erhöht sich die Temperatur bis zum Phasenwechsel, bis also die sogenannte "Schmelztemperatur" erreicht ist. Dann wird die zugeführte Energie für den Phasenwechsel benötigt. Erst wenn alle Eiswürfel in den flüssigen Zustand überführt sind, steigt die Temperatur weiter. Dasselbe Schema wiederholt sich mit der weiteren Energiezufuhr. Die Flüssigkeit wird erwärmt, bis die charakteristische Temperatur des Siedepunktes erreicht ist. Die fortlaufende Zufuhr von Energie wandelt die Flüssigkeit ohne Temperaturveränderung in Gas um.

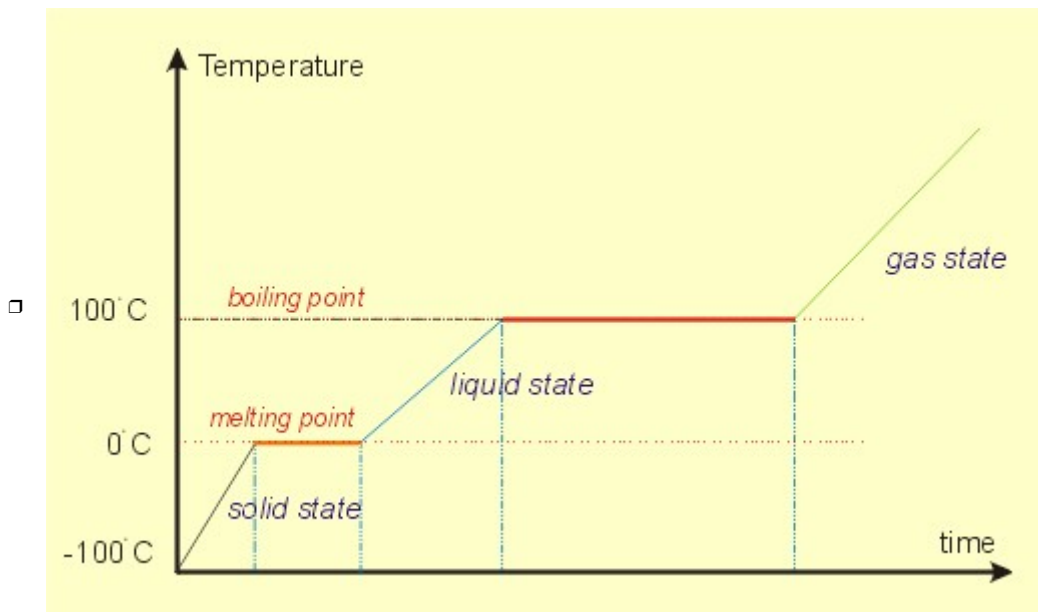


Abb.1. Temperaturverlauf einer Wasserprobe bei kontinuierlicher Erhitzung

Wenn Materialien mit verschiedenen Anfangstemperaturen in vollem Umfang in Kontakt sind (z.B. vermischt), tauschen sie thermische Energie aus. Der warme Körper gibt seine Energie an das niedriger temperierte Material ab. Dieser Vorgang dauert so lange bis die mittlere Ausgleichstemperatur erreicht ist. Wenn das System von seiner Umgebung thermisch isoliert ist und keine Wärme an die Umgebung abgegeben oder von ihr aufgenommen wird, ist die Menge des Wärmeverlustes des wärmeren Materiales **Q_i** gleich der gewonnenen Wärme des anderen Materiales **Q_g**.

In der Praxis können diese Idealbedingungen kaum erfüllt werden. Auch wenn spezielle Vorrichtungen, wie der Kalorimeter, in Experimenten benutzt werden, findet immer ein kleiner Wärmeaustausch mit der Umgebung statt. Die Temperatur des Kalorimeterinhaltes, wenn er eine zeitlang sich selbst überlassen bleibt, erreicht möglicherweise sogar die Umgebungstemperatur. Wenn die Anfangstemperatur des Inhalts höher als die Umgebungstemperatur ist, fällt die Temperatur mit der Zeit ab und folgt dem Exponentialgesetz

[siehe Experiment](#).

Dieser Wärme-Transfereffekt sollte bei den genauen kalorimetrischen Messungen berücksichtigt werden.

□ Kalorimetrische Methode zur Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme

Die spezifischen Schmelzwärme des Wassers (Eis) L kann ermittelt werden, wenn einige Eisstücke (bei Schmelztemperatur) in das Kalorimeter geworfen werden, wobei der Betrag des Wassers und die Eingangstemperatur **T₁** bekannt sein müssen. Der Wärmeaustausch zwischen Wasser und Eis findet statt und das Eis schmilzt. Die Endtemperatur des Gemischs **T₂** ist erreicht. Alle Teile des inneren Kalorimetergefäßes sind an dem Prozess des Wärmeaustausches beteiligt. Daher sollte der Betrag seines thermischen Energieverlustes, **Q_C**, in die Wärmeaustauschbilanz mit einbezogen werden.

Der totale thermische Energieverlust (Verdampfung) **Q_i** besteht aus:

- Wärmeverlust vom Wasser **Q_w**, dieser Betrag wird von Gleichung 2 ermittelt:

$$Q_w = m_w \cdot c_w \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

wobei:

m_w ist die Wassermasse, die der Kalorimeter ursprünglich enthält.

c_w ist die spezifische Wärme des Wassers

T_1 ist die Anfangstemperatur des Kalorimeterinhalts

T_2 ist die Endtemperatur des Kalorimeterinhalts

Der Wärmeverlust des Kalorimeters Q_C ; dieser Energiebetrag wird mit Gleichung 3 ermittelt:

$$Q_C = m_C \cdot c_C \cdot (T_1 - T_2) \quad (3)$$

wobei:

m_C ist die Masse des Kalorimetergefäßes und des Rührers

c_C ist die spezifische Wärme des Kalorimetermaterials

T_1 ist die Anfangstemperatur des Kalorimeterinhalts

T_2 ist die Endtemperatur des Kalorimeterinhalts

der gesamte Energieverlust wird mit Gleichung 4 berechnet:

$$Q_I = m_w \cdot c_w \cdot (T_1 - T_2) + m_C \cdot c_C \cdot (T_1 - T_2) \quad (4)$$

Die gesamte gewonnene (absorbierte) thermische Energie Q_g besteht aus:

- dem Betrag der vom Eis gewonnenen und für den Phasenwechsel Q_m abgegebenen Wärme - erhalten wir in Gleichung 5:

$$Q_m = m_i \cdot L \quad (5)$$

wobei:

m_i ist die Masse vom Eis

L ist die spezifische Schmelzwärme

- dem Wärmezuwachs des aus dem Eis gewonnenen Wassers Q_i - diesen Betrag erhalten wir in Gleichung 6:

$$Q_i = m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (6)$$

wobei:

m_i ist die Masse vom Eis

c_w ist die spezifische Schmelzwärme des Wassers

T_0 ist die Temperatur des Schmelzpunktes beim Eis

T_2 ist die Endtemperatur des Kalorimeterinhalts

- So wird der gesamte Energiegewinn in Gleichung 7 berechnet:

$$Q_g = m_i \cdot L + m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (7)$$

Vorausgesetzt, wir haben die ideale thermische Isolation des Kalorimeterinhaltes, ist der thermische Energieverlust **Q_l** gleich dem thermischen Energiegewinn **Q_g**:

$$Q_l = Q_g \quad (8)$$

und:

$$m_w \cdot c_w \cdot (T_1 - T_2) + m_c \cdot c_c \cdot (T_1 - T_2) = m_i \cdot L + m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (9)$$

Die spezifische Schmelzwärme **L** kann aus der Gleichung 9 abgeleitet werden als:

$$L = \frac{(m_w \cdot c_w + m_c \cdot c_c) \cdot (T_1 - T_2) - m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0)}{m_i} \quad (10)$$

Daher kann man aus der Untersuchung der Temperatur des Kalorimeterinhaltes - bei bekannter Masse, bekannter Wassermenge und bekannter eingefüllter Eismenge - die spezifische Schmelzwärme von Eis ableiten.

Abbildung 2 zeigt den theoretischen Temperatur-Zeit-Graphen. Das Eis wird zu der Zeit **t₀** ins Wasser getaucht. Vor dem Zeitpunkt **t₀** bleibt die Temperatur gleich. Da das eingetauchte Eis schmilzt, wird die thermische Energie für den Phasenwechsel gebraucht und wärmt das Wasser aus dem geschmolzenen Eis auf. Daher sinkt die Temperatur des Gemischs. Wenn es keinen Wärmeaustausch mit der Umgebung gibt, ist der Temperaturwechsel klar definiert.

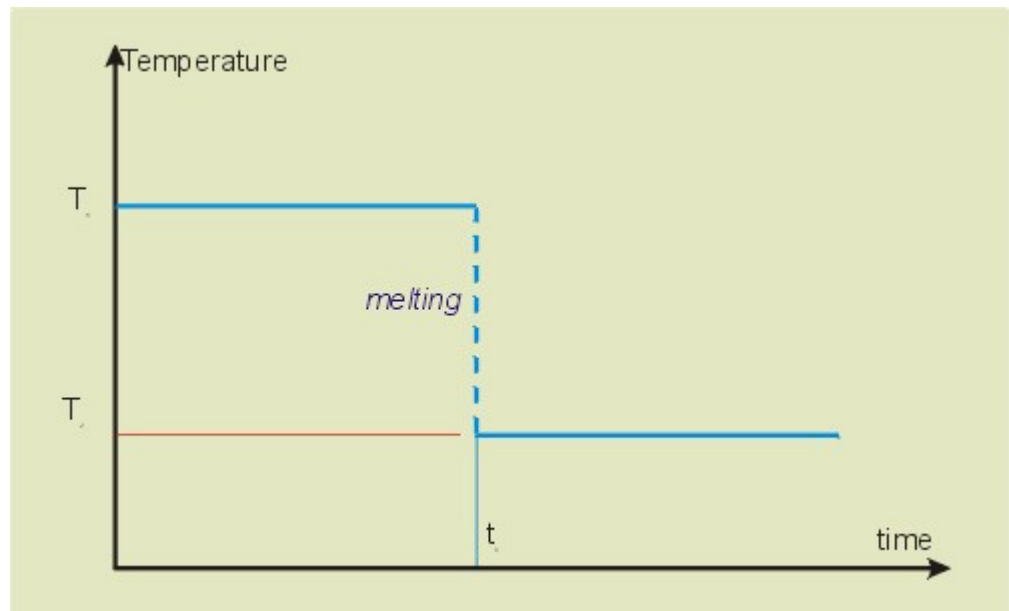


Abb.2. Temperaturwechsel während des Schmelzens. Kein Kühleffekt.

Praktisch betrachtet: wenn die Umgebungstemperatur sich von dem Kalorimeterinhalt unterscheidet (in unserem Fall niedriger), findet ein Wärmeverlust statt. Der untersuchte Temperatur-Zeit-Graph unterscheidet sich von dem idealen Graphen. Bevor das Eis eingetaucht wird, fällt die Temperatur

entsprechend dem Exponentialgesetz der Kühlung. Die Energieabgabe an die Umgebung dauert während des Schmelzens und auch hinterher an. Der reale Temperatur-Zeit-Graph wird in Abbildung 3 dargestellt. Die Gleichung 10 benötigt zwei Temperaturwerte: die Eingangstemperatur **T₁** und die gleichmäßige Enddtemperatur **T₂** (nachdem das Eis geschmolzen und der gesamte Inhalt eine gleichmäßige Temperatur hat).

Diese Werte können mit einer geometrischen Konstruktion ausgewertet werden. Beide Teile zeigen, dass die typische Abkühlung hochgerechnet werden sollte. Tragen Sie die vertikale Linie und die hochgerechneten Linien an und behalten dabei die Balance der vordefinierten Zeichnungsbereiche bei. Die Schnittpunkte mit den hochgerechneten Linien können als die gewünschten Temperaturwerte betrachtet werden.

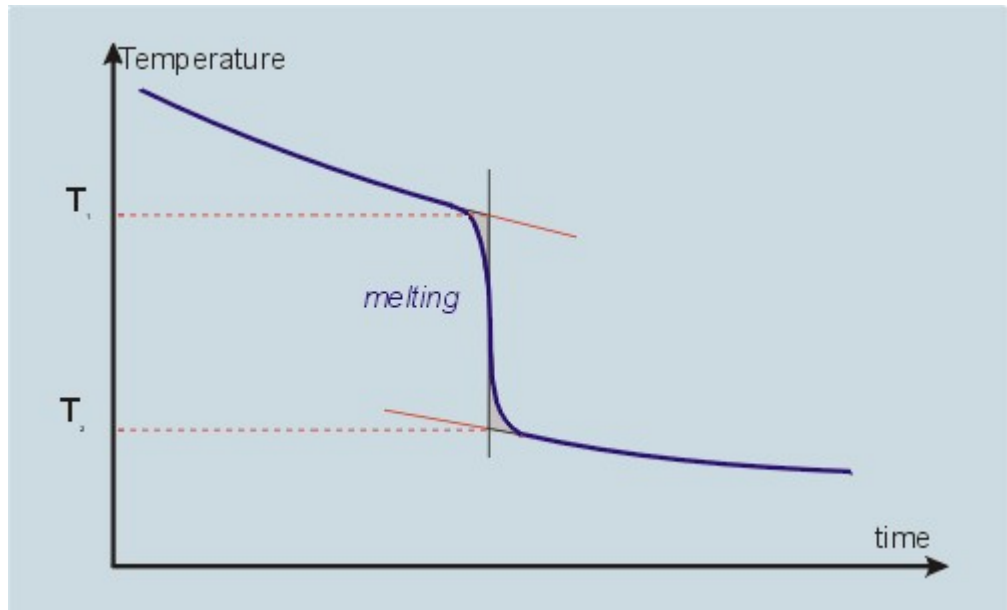


Abb.3. Temperaturwechsel während des Schmelzvorganges. Kontinuierlicher Abkühlungseffekt.

Geräte für das Experiment



Die Temperaturdaten werden in einem einfachen Versuchsaufbau gesammelt, der aus dem

Aluminium-Kalorimeter und elektromagnetischen Rührer besteht, siehe Abb.4. Die Standard-Halbleiter-Sonde, die in das Kalorimetergefäß eingetaucht wird, misst die Temperatur des Inhalts. Das Kalorimeter minimiert den Wärmeaustausch mit der Umgebung, während der Rührstab die Gleichmäßigkeit der Wärme innerhalb des Kalorimeters gewährleistet. Die Massen von Wasser und Kalorimeter werden mit der Laborwaage gemessen.

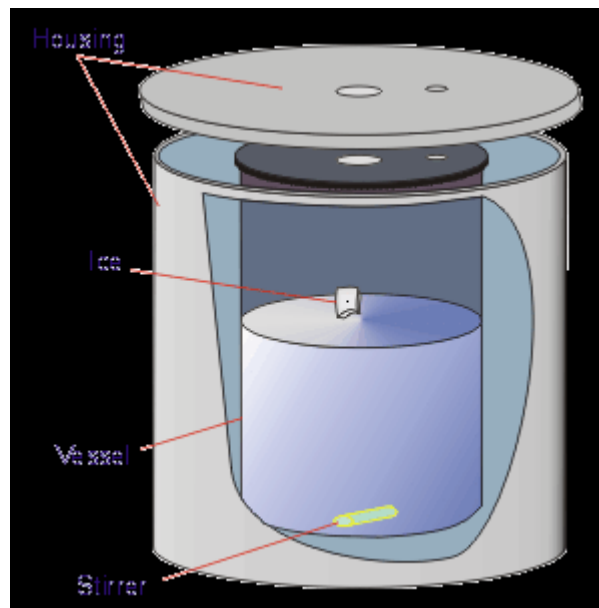


Fig.4. Kalorimeter.

Der Versuchsaufbau besteht aus:

- Aluminiumkalorimeter mit Gehäuse , siehe Foto.
- elektromagnetischer Heizofen , siehe Foto
- Laborwaage (bis zu 200 Gramm), siehe Foto
- heißes Wasser
- 3 Eisstücke
- Laborrechner CBL oder CBL2 , siehe Foto
- Temperatursonde (Standard CBL-Sonde), siehe Foto
- Grafikrechner TI83, TI83 Plus, TI 83 Plus SE, TI89, TI92, TI92 Plus, TI Voyage 200
- Standard-Verbindungskabel , siehe Foto
- Programm LHEATF – hier zum Download erhältlich:: LHEATF
- TI-GRAPH LINK TM (optional) -Kable und Software
- PC mit TI ConnectTM Software (optional) - Beschreibung:
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/software.html> und
 Download:
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/download.html>

Praktische Hinweise zum Aufbau

- Die Temperatursonde wird mit dem Kanal CH1 der CBL verbunden.
- Die anfängliche Wassertemperatur sollte ungefähr 10-20 Grad über der Raumtemperatur liegen.
- Das Eis wird für kurze Zeit aus dem Kühlschrank genommen werden, um es bis zum Schmelzpunkt aufzuwärmen.
- Die Temperatursonde muss die ganze Zeit im Wasser des Kalorimeters hängen.

- Der Kalorimeterdeckel sollte die ganze Zeit zur Wärmedämmung auf dem Gefäß verbleiben.
- Der elektromagnetische Rührer ist während der gesamten Dauer des Experimentes eingeschaltet, um eine gleichmäßige Temperatur des Wassers zu gewährleisten.

Datenerfassung (TI 83)

In diesem Experiment misst der Temperaturfühler die Temperatur des Wasser eines Kalorimetergefäßes als eine Funktion der Zeit. Die Temperaturwechsel werden durch den Wärmeverlust bewirkt, der hauptsächlich auf der niedrigeren Umgebungswärme und der an den Phasenwechsel (untergetauchtes Eis im Kalorimeter) abgegebenen thermischen Energie beruht. Die Hilfsmessungen werden ausgeführt, um die Massen von Kalorimetergefäß, Wasser und Eis zu ermitteln.

Das Experiment wird mit dem vorher geladenen Programm **LHEATF** kontrolliert.

Lernen Sie [hier](#) mehr darüber, Programme vom PC herunter zu laden.

Die Ausführung des Experimentes wird unterteilt in einen vorbereitenden Teil und die eigentliche Messung.

Vorbereitung:

- Wiegen Sie das leere Kalorimetergefäß zusammen mit dem Magnetrührer sehr genau auf der Laborwaage. Erfassen Sie den Massenwert m_c . Untersuchen und beschreiben Sie das Material, aus dem das Kalorimetergefäß gemacht ist.
 - Nehmen Sie reines Wasser (wenn möglich, destilliertes), um das Kalorimetergefäß zur Hälfte zu füllen.
 - Wiegen Sie das mit Wasser gefüllte Kalorimetergefäß (mit dem Magnetrührer) möglichst exakt.
 - Berechnen Sie die Masse des Wassers in Kalorimetern - m_w .
 - Erhitzen Sie das Kalorimetergefäß auf eine Temperatur zwischen 40 und 50 °C. Benutzen Sie dazu den elektrischen Heizofen. Alternativ können Sie das Kalorimetergefäß mit dem warmen Wasser füllen und es dann wiegen.
 - Stellen Sie das Gefäß in das Kalorimetergehäuse und verschließen es mit dem Deckel.
 - Tauchen Sie den Temperaturfühler in das Gefäß ein. Das Ende des Fühlers muss vollständig unter Wasser getaucht sein!
 - Verbinden Sie den Temperaturfühler mit der CBL und die CBL mit dem Rechner.
 - Schalten Sie den Rechner und die CBL ein.
- Der Videoclip zeigt Ihnen die Details der Vorbereitung.

Datenerfassung

- Starten Sie das Programm **LHEATF**, indem Sie es aus dem **PRGM**-Menü auswählen.
- Wählen Sie Option **1: COLLECT DATA** aus dem Hauptmenü.
- Geben Sie die erwarteten Maximum- und Minimum-Temperaturen des Kalorimetergefäßes ein, wenn Sie dazu aufgefordert werden. Diese Werte werden für die Windows-Auswahl benutzt und sind nicht entscheidend für die Datenerfassung.
- Geben Sie die Zeitdauer der Untersuchung ein, wenn Sie dazu aufgefordert werden. Da sich die Untersuchung auf den Wärmeaustausch mit der Umgebung vor und nach dem Phasenwechsel bezieht, sollte der Zeitwert einige Minuten betragen (5-15 Min).
- Geben Sie den Zeitwert für das Intervall in Sekunden an, wenn die Eingabe verlangt wird.

Dieser Wert betrifft das Zeitintervall zwischen den aufeinander folgenden Temperaturmessungen. Da sich die Temperatur des Wassers während des Phasenwechsels schnell ändert, sollte die Datensammlung nur einige Sekunden betragen. (5-15 Sek).

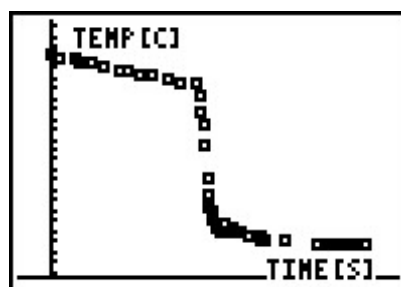
- Geben Sie bei Aufforderung die Referenzrate des Temperaturwechsels **R** ein. Der Referenzwert **R** sollte nicht größer als 0,02 sein ([Abb.](#)).

R wird durch den relativen Wechsel der folgenden Temperaturwerte definiert – Gleichung. 11.

$$R = \frac{|T_{n+1} - T_n|}{T_n} \quad (11)$$

Der **R**- Wert wird von dem Programm LHEATF dazu benutzt, die Datenpunkte aufzunehmen oder aufgenommene Datenpunkte auszuschließen. Nur die Datenpunkte, bei denen R größer ist als der Referenzwert (wenn eine signifikante Änderung der Temperatur auftritt) werden aufgenommen. Dieser Rückkopplungsmechanismus sichert den Datenspeicher des Rechners.

- Stellen Sie das Kalorimeter auf den elektrischen Heizofen und schalten Sie ihn ein. Damit wird eine gleichmäßige Temperatur im Kessel erreicht.
- Überprüfen Sie die Position der Temperatursonde und beginnen Sie mit der Datenerfassung, indem Sie [ENTER] drücken.
- Beobachten Sie die auf dem Bildschirm erscheinende Grafik für einige Minuten. Der Graph wird ständig aktualisiert, da die Temperatur entsprechend der Wärmeabgabe an die Umgebung langsam fällt: ([Abb.](#)).
- Bereiten Sie verschiedene Eisstücke vor, die in den Einlass des Kalorimetergefäßes passen. Lassen Sie sie einen Moment liegen.
- Wenn ungefähr die Hälfte der gewählten Zeit (3-8 Min) verstrichen ist, lassen Sie das Eis in das Kalorimetergefäß fallen. Beobachten Sie den drastischen Temperaturwechsel wenn das Eis schmilzt und das Wasser die Wärme absorbiert ([Abb.](#)).
- Die Datensammlung läuft entsprechend der definierten Gesamtzeit der Untersuchung weiter. Wenn die Zeit abgelaufen ist, wird der letzte Graph angezeigt.



Temperatur vs Zeit

- Beenden Sie die Untersuchung, indem Sie **Quit** aus dem Hauptmenü des Programms wählen.
- Wiegen Sie nun das Kalorimetergefäß nochmals. Berechnen sie die Eismasse - **m_i**. Der Videoclip auf unserer Website zeigt die Details des Versuchsablaufs.

Die erfassten Daten werden im Arbeitsspeicher des Rechners abgelegt. ([Abb.](#))
Jetzt können Sie die CBL vom Rechner trennen und den Rechner weiter nutzen.

Datenanalyse (TI 83)

Weiterführende Analysen können mit den im Rechner implementierten Anwendungen durchgeführt werden (oder anderen analytischen Anwendungen, wie MS Excel™ Tabellenblätter).

Die gesammelten Daten werden in der Rechnerliste gespeichert:

- Zeitdaten in Sekunden - Liste L_1
- Temperaturwerte (T) in $^{\circ}\text{C}$ - Liste L_2

Das Programm LHEATF erstellt Kopien der gesammelten Daten und speichert sie in den beiden Hilfslistenpaaren:

- Paar I : Zeitwerte t in Sekunden- List L_3 ; Temperaturwerte T in $^{\circ}\text{C}$ - List L_4
- Paar II : Zeitwerte t in Sekunden- List L_5 ;Temperaturwerte T in $^{\circ}\text{C}$ - List L_6

Diese Listen können für die grafische Analyse benutzt werden. Die Originaldaten sind in den Listen L_1 und L_2 gesichert.

Musterdaten sind [hier](#) erhältlich.

Die Bestimmung der Temperaturen

Die Berechnung der Bindungswärme in der Gleichung 10 verlangt die Werte der ursprünglichen Wassertemperatur und des Kalorimeters **T1** (bevor der Phasenwechsel beginnt) und der Endtemperatur **T2** (nachdem das Eis geschmolzen ist und der Kesselinhalt eine einheitliche Temperatur hat).

$$L = \frac{(m_w \cdot c_w + m_c \cdot c_c) \cdot (T_1 - T_2)}{m_i} - m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (10)$$

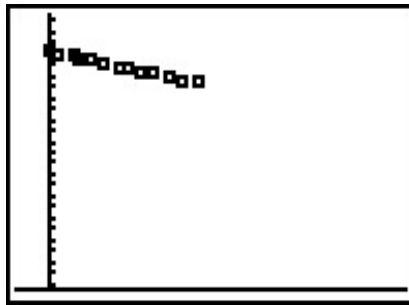
Gemäß dem Prozess eines fortlaufenden Wärmeaustausches mit der Umgebung, unterscheidet sich der betrachtete Temperatur-Zeit-Graph ([Abb.](#)) von dem theoretischen ([Abb.](#)). Die Temperaturen T_1 und T_2 können aus der experimentellen Grafik durch die geometrische Interpolationsmethode ermittelt werden, wie in der ([Abb.](#)) dargestellt.

Die gesammelten Daten sollten in drei Abschnitte unterteilt werden. Der erste stellt die dem Phasenwechsel vorangehende Abkühlung dar; der zweite bezieht sich auf das Schmelzen und dem Aufwärmen des aus dem Eis entstandenen Wassers; der dritte Teil zeigt die langsame Abkühlung des im Kalorimeters verbliebenen Inhalts.

Im TI83 Rechner kann diese Trennung vollzogen werden, indem die Datenbereiche für die einzeln definierten Grafiken ausgewählt werden. Das kann mit den Hilfslistenpaaren gemacht werden: **L₃, L₄, L₅, L₆**, die in den einzelnen Grafiken vorliegen.

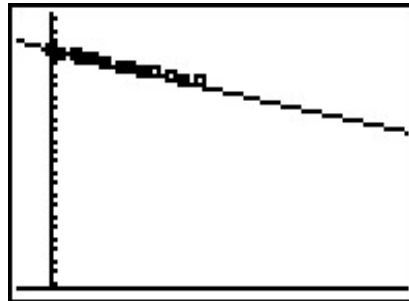
Die anfängliche Abkühlungskurve abtrennen

- Bestimmen sie **Kurve2**, um **L₃** vs **L₄**-Abhängigkeit zu zeigen.
- Benutzen Sie die **Select**-Funktion aus **[2nd] [LIST]** Menü-Optionen ([Abb.](#)) und geben Sie die Namen der Listen als Argumente ein.
- Heben Sie den rechten und linken Grenzbereich der Daten hervor, den Sie aus dem ersten Abschnitt der Grafik übernehmen wollen.
- Nun wird die Datenliste modifiziert und ein ausgewählter Bereich von Daten wird grafisch dargestellt.



Annäherung der anfänglichen Kühlungskurve

- Wenn wir von dem exponentiellen Charakter der Abkühlung ausgehen, sollte die exponentielle Regression aus der **[STAT] [CALC]** Menü-Option benutzt werden. ([Abb.](#)).
 - Die Namen der Listen sollten als Argumente der **ExpReg**-Funktion eingeführt werden und zusammen mit dem Namen der Funktionsvariablen **Y1** als Regressionsgleichung abgespeichert werden ([Abb.](#)). Die Parameter der eingeführten Regressions-Funktion werden angezeigt ([Abb.](#)).
 - Jetzt können wir innerhalb einer Grafik die experimentellen Daten und die Regressionskurve vergleichen.



Auf eine ähnliche Weise kann die finale Kühlungskurve separiert und aus den gespeicherten Daten der Listen **L₅** vs **L₆** hochgerechnet werden. Die Regressionsfunktion für diesen Abschnitt wurde als Funktion **Y₂** gespeichert und in **Kurve3** angetragen.

file:///E:/Daten/lepla/de03/0

Jetzt können die Originaldaten und die eingeführten Regressionsfunktionen innerhalb einer Grafik angezeigt werden (aktivieren Sie alle Graphen).



● Die Interpolation der Temperaturen

Die Temperaturen T_1 und T_2 können aus der Grafik ermittelt werden, indem wir die vertikale Linie einzeichnen und dabei die Symmetrie zwischen der vom Graphen vorgegebenen Bereiche und hochgerechneten Kurven erstellen ([vergleiche Grafik](#)).

- Wählen Sie den zentralen Bereich der Grafik und nutzen Sie dazu die **ZBox**-Option aus dem **ZOOM**-Menü ([Abb.](#)).
Der gewählte Teilbereich der Grafik wird angezeigt ([Abb.](#)).
- Um die vertikale Linie in der dargestellten Grafik zu zeichnen, benutzen Sie die Option **Vertical** aus dem **[DRAW]** Menü. ([Abb.](#)).
- Passen Sie die Position der Linie so an, dass Sie gleiche vorgegebene Bereiche erhalten, die vertikale Linie und die Regressionsgerade ([Abb.](#)).
- Bewegen Sie den Cursor entlang der vertikalen Linie, um den Schnittpunkt mit der ursprünglichen Kühlungskurve zu erhalten. Entnehmen Sie den Temperaturwert aus der Unterzeile. Speichern sie diesen Wert als Temperatur-Ausgangswert, siehe Bild unten.
- Bewegen Sie den Cursor entlang der vertikalen Linie, um den Schnittpunkt mit der letzten Kühlungskurve zu erhalten. Entnehmen Sie den Temperaturwert aus der Unterzeile. Speichern sie diesen Wert als Temperatur-Endwert T_2 , siehe Bild unten.



Anfangstemperatur T_1

Endtemperatur T_2

Berechnung der spezifische Schmelzwärme

Die spezifische Schmelzwärme kann mit Hilfe der [Gleichung 10](#) ermittelt werden.

- Speichern Sie die latente Wärme von Wasser c_w (4190 [J/kgK]) und die latente Wärme des Kalorimeter-Materials c_c (z.B.. Aluminium: 910 [J/kgK]) aus den Datentabellen.
- Benutzen Sie die Massen m_w , m_c , m_i und latenten Wärmewerte c_w und c_c in der [Gleichung 10](#).

Der Wert der spezifische Schmelzwärme des Wassers wurde aus Berechnungen mit den gesammelten Daten ermittelt mit $L = 321 \times 10^3 \text{ [J/kg]}$.

Dieser Wert liegt nahe an dem Literaturwert: $334 \times 10^3 \text{ [J/kg]}$.

Datenanalyse (MS Excel™)

Analysen können mit den im Rechner implementierten Anwendungen oder Computerfunktionen von MS Excel durchgeführt werden.

Übertragung der experimentellen Daten auf den PC

Wenn die experimentellen Daten vollständig sind, können sie vom Grafikrechner auf den PC

übertragen werden.

TI GRAPH LINK™ Kabel unterstützt von der TI Connect™ Software bietet Möglichkeiten den Rechnerinhalt (TI DEVICE EXPLORER) und die Datensammlung (TI DATA EDITOR) zu untersuchen.

Die gesammelten Daten werden in den Rechnerlisten gespeichert:

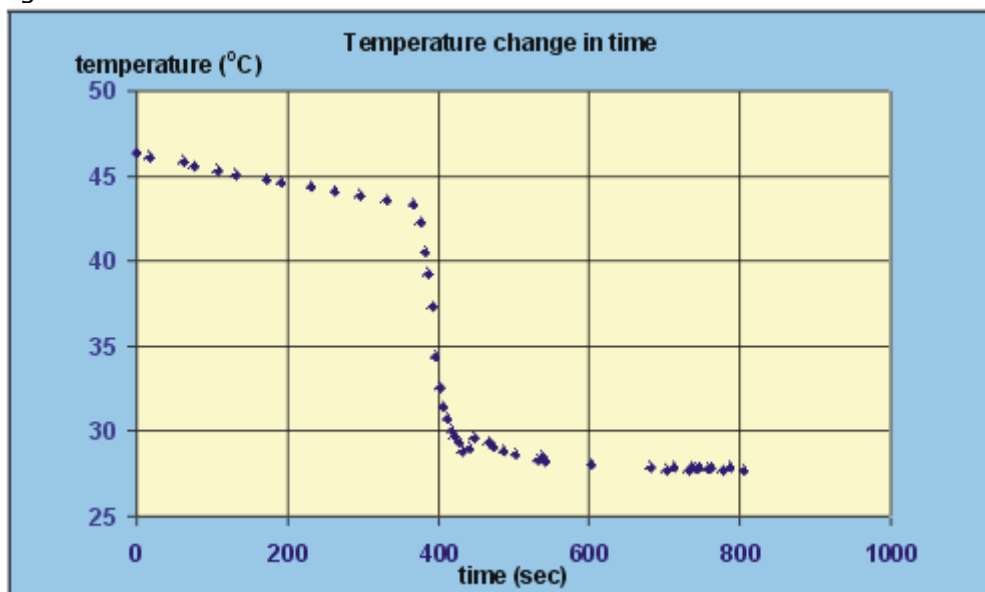
- Zeitdaten in Sekunden - Liste L₁
- Temperaturwerte (T) in [°C] - Liste L₂

Mit dem TI Connect™ -Programm (TI DEVICE EXPLORER Option) können wir die Rechnerlisten auf der Festplatte des Computers speichern und anschließend mit TI DATA EDITOR öffnen.

Special Lists Export sichert die gewählte Liste als Dateityp: *.CSV file. Ein solcher Dateityp kann später mit MS Excel™ untersucht werden.

Grafikanalyse

- Rufen Sie ein Tabellenblatt auf und importieren Sie die Daten aus den Dateien : Zeit (**time.xls**) und Temperatur (**temperature.xls**).
- Erstellen Sie die Grafik **T (t)** aus den experimentellen Daten. Wählen Sie ein Streudiagramm.



Temperatur vs Zeit. Experimentell erhaltene Daten.

Bestimmung der Temperaturen.

Für die Berechnung der Schmelztemperatur in der Gleichung 10 brauchen wir folgende Werte: Die Ausgangstemperatur des Wassers und des Kalorimeters **T₁** vor dem Phasenwechsel und die Endtemperatur **T₂**, nachdem das Eis geschmolzen ist und der gesamte Kalorimeterinhalt eine einheitliche Temperatur hat.

$$L = \frac{(m_w \cdot c_w + m_c \cdot c_c) \cdot (T_1 - T_2)}{m_i} - m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (10)$$

Infolge des fortlaufenden Wärmeaustauschs mit der Umgebung unterscheidet sich der Temperatur-Zeit-Graph von dem theoretischen Graphen (Fig.).

Die Temperaturen T_1 und T_2 können aus der experimentellen Grafik entnommen werden, indem wir die geometrische Interpolations-Methode (wie oben gezeigt Fig.) anwenden.

- Die gesammelten Daten sollten in drei Abschnitte unterteilt werden. Der erste stellt die dem Phasenwechsel vorangehende Abkühlung dar; der zweite bezieht sich auf das Schmelzen und dem Aufwärmen des aus dem Eis entstandenen Wassers; der dritte Teil zeigt die langsame Abkühlung des im Kalorimeters verbliebenen Inhalts.
- In MS Excel führen wir diese Trennung durch Selektieren des Datenbereichs in den Datenserien durch.
- **Die anfängliche und abschließende Abkühlungskurve abtrennen**

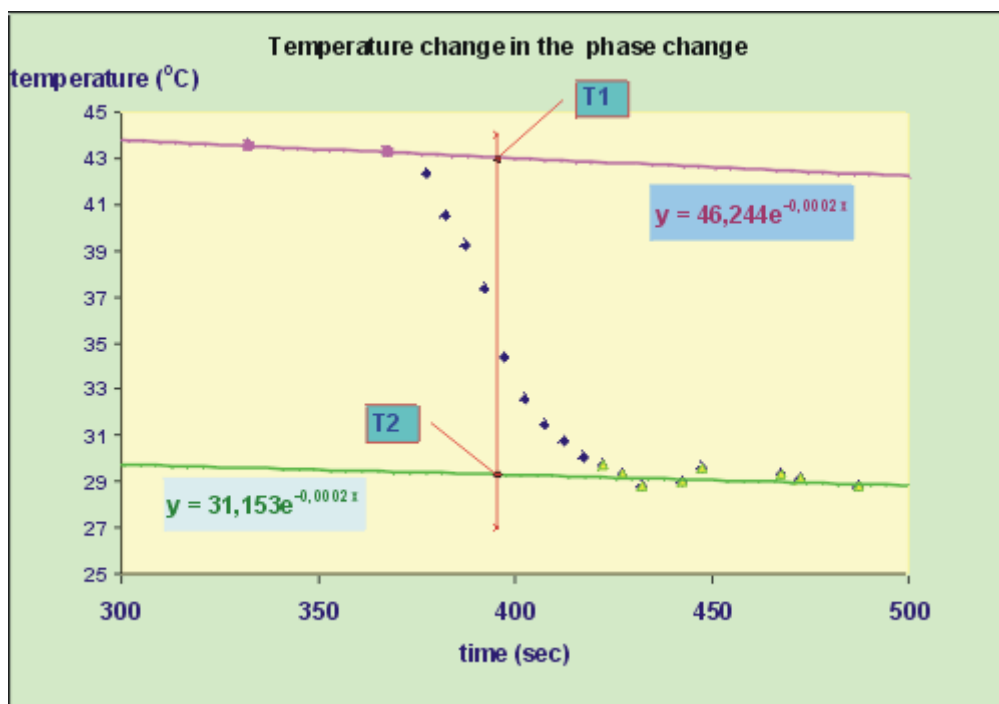
Bestimmen Sie das neue Streudiagramm mit dem Datenbereich der anfänglichen Abkühlungskurve als erste Datenserie.

Da die Datenpunkte gut in die Exponentialkurve passen, können wir die exponentielle Regression ausführen, indem wir die Trendlinie (exponentieller Typ) antragen. Die Trendlinie wird angetragen. Das Ergebnis sehen Sie in der Grafik (obere Kurve in der Abb.)

Genauso können wir den Datenbereich für die abschließende Abkühlung als zweite Datenserie auswählen.

Wir können nun die exponentielle Trendlinie hinzufügen. Der entsprechende Ausdruck wird in der Grafik angezeigt, siehe untere Kurve in der Abb.

Der zentrale Datenbereich soll zur Definition der dritten Datenserie, die im Graph gezeigt wird, genommen werden.



Interpolation der Temperaturen.

Die Interpolation der Temperaturen

Die Temperaturen T_1 und T_2 können aus der Grafik ermittelt werden, indem wir die vertikale Linie einzeichnen und dabei die Symmetrie zwischen der vom Graphen vorgegebenen Bereiche und hochgerechneten Kurven erstellen ([vergleiche Grafik](#)).

- Schätzen Sie anhand der Grafik die Koordinate für den Zeitwert der vertikalen Linie. Setzen Sie diesen Wert als Referenzwert in eine gesonderte Zelle auf dem Tabellenblatt.
- Bestimmen Sie die vertikale Linie $T(t)$ mit zwei Koordinatenpaaren. Die Spalte, die die Zeitwerte enthält, sollte als gleichwertig zu dem Inhalt der Referenzzellen festgelegt werden. Die beiden Temperaturkoordinaten sollten den Bereich der untersuchten Temperaturen überschreiten.
- Fügen Sie die vierte Datenserie in die Grafik ein. Benutzen sie als Datenserie zwei definierte Paare der Vertikallinien-Koordinaten. Wählen Sie für diese Datenserie die lineare Darstellung. Die neue vertikale Linie wird in der Grafik rot dargestellt.
- Gleichen Sie die Position der vertikalen Linie an, indem Sie den Wert der Referenzzeit so ändern, dass die hochgerechneten Kurven und die vertikalen Hilfslinien in beiden definierten Bereichen der Grafik ausgeglichen sind.
- Benutzen Sie den Referenz-Zeitwert in der Exponentialfunktion, um die anfängliche Abkühlung zu beschreiben. Der erhaltene Wert der Funktion ist die Anfangstemperatur T_1 .
- Benutzen Sie den Referenz-Zeitwert in der Exponentialfunktion, um die letzte Abkühlung zu beschreiben. Der erhaltene Wert der Funktion ist die Endtemperatur T_2 .

Berechnung der spezifische Schmelzwärme

Die Spezifische Schmelzwärme kann mit Hilfe der [Gleichung 10](#) ermittelt werden.

- Speichern Sie die latente Wärme von Wasser c_w (4190 [J/kgK]) und die latente Wärme des Kalorimeter-Materials c_c (z.B.. Aluminium: 910 [J/kgK]) aus den Datentabellen.
- Benutzen Sie die Massen m_w , m_c , m_i und latenten Wärmewerte c_w und c_c in der [Gleichung 10](#).

Der Wert der spezifische Schmelzwärme des Wassers wurde aus Berechnungen mit den gesammelten Daten ermittelt mit $L = 321 \times 10^3 \text{ [J/kg]}$.

Dieser Wert liegt nahe an dem Literaturwert: $334 \times 10^3 \text{ [J/kg]}$.

CALCULATIONS			
calorimeter mass		[kg]	0,07626
calorimeter + water		[kg]	0,16591
water		[kg]	0,08965
calorimeter+water+ice		[kg]	0,18441
ice mass		[kg]	0,0185
latent heat of water		[J/kgK]	4190
latent heat of aluminium		[J/kgK]	910
initial temp T1		[C]	42,72703
final temp T2		[C]	28,78374
latent heat of fusion		[J/kg]	333184

Rechenergebnisse

Der Wert der spezifische Schmelzwärme des Wassers wurde aus Berechnungen mit den gesammelten Daten ermittelt mit **$L = 321 \times 10^3 \text{ [J/kg]}$** .

Dieser Wert liegt nahe an dem Literaturwert: **$334 \times 10^3 \text{ [J/kg]}$** .

Eine vollständige Analyse finden Sie als Excel-Arbeitsblatt auf unserer Website.