

# Newton'sches Abkühlungsgesetz

Ein Behälter mit heißem Wasser der Temperatur  $T$ , der in einen Raum mit niedrigerer Temperatur  $T_{Raum}$  gestellt wird, verursacht einen Wärmeaustausch zwischen dem heißen Wasser und dem Raum. Das Wasser kühlt schließlich bis zur Raumtemperatur ab. Sie bemerken diesen Abkühlprozess jedes Mal, wenn Sie darauf warten, dass ein heißes Getränk abkühlt. In diesem Experiment werden Sie das Abkühlen von heißem Wasser untersuchen, mit dem Ziel, ein Modell zu entwerfen, das den Prozess beschreibt. Sie können dann auch die Zeit vorhersagen, die nötig ist, das heiße Wasser auf Zimmertemperatur abzukühlen.

Isaac Newton hat den Abkühlprozess beschrieben indem er annahm, dass die Geschwindigkeit, bei der thermische Energie sich von einem zum anderen Körper bewegt proportional ist (mit einer Konstanten  $k$ ) zur Temperaturdifferenz  $T_{Diff}$  zwischen den beiden Körpern. Im Fall der Wasserprobe, die bei Raumtemperatur abkühlt, gilt

$$\text{Abkühlungsrate} = -kT_{Diff}$$

Mit dieser einfachen Annahme zeigte er, dass die Temperaturänderung exponentiell verläuft und vorhergesagt werden kann durch

$$T = T_0 e^{-kt} + T_{Raum}$$

wobei  $T_0$  die anfängliche Temperaturdifferenz zwischen dem abkühlenden Körper und der Umgebung darstellt. Exponentielle Änderungen sind in der Wissenschaft gebräuchlich. Ist die Änderungsrate proportional zu der sich ändernden Größe, dann ist das Verhalten exponentiell.

Zur Durchführung dieses Experiments in kurzer Zeit, sollten Sie nur eine kleine Menge heißen Wassers verwenden, dessen Temperatur etwa  $30^\circ\text{C}$  über der Raumtemperatur liegt. Ein mit einem Computer verbundener Temperaturfühler wird die Temperatur des Wassers aufzeichnen, wenn dieses abkühlt.

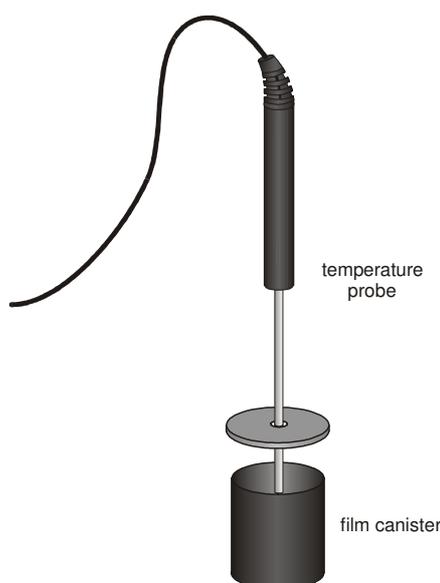


Abbildung 1

## LERNZIELE

- Mithilfe eines Temperaturfühlers den Abkühlprozess von heißem Wasser aufzeichnen
- Newtons Gesetz der Abkühlung mithilfe Ihrer erfassten Daten der Wassertemperatur überprüfen
- Mithilfe von Newtons Gesetz der Abkühlung die Temperatur von abkühlendem Wasser zu jeder Zeit vorhersagen

## MATERIAL

Computer  
Vernier Computerschnittstelle  
Logger *Pro*

Temperaturfühler  
35 mm Filmdose mit Deckel  
heißes Wasser

## VORGEHENSWEISE

1. Verbinden Sie einen Temperaturfühler mit *Channel 1* der Schnittstelle.
2. Öffnen Sie die Datei “30 Newtons Law Cooling” im Ordner *Physik mit Vernier*.
3. Bestimmen Sie die Raumtemperatur. Halten Sie dazu den Sensor in die Luft, weg von Wärmequellen und Sonnenlicht. Drücken Sie zum Starten der Datenerfassung auf . Ist der Temperaturwert annähernd konstant, drücken Sie zum Beenden der Datenerfassung auf . Notieren Sie den Wert in der Datentabelle.
4. Drücken Sie den Temperaturfühler durch das Loch im Deckel, sodass das Ende des Sensors im Wasser eingetaucht ist, wenn der Deckel sich auf dem Behälter befindet. Achten Sie darauf, dass das Ende des Sensors den Boden des Behälters nicht berührt.
5. Besorgen Sie sich Wasser, das etwa 55°C hat, entweder aus dem Wasserhahn oder erhitzen Sie Wasser bis zu dieser Temperatur.
6. Füllen Sie den Behälter zu drei Vierteln mit dem heißen Wasser. Stecken Sie den Deckel mit dem Sensor auf den Behälter und drücken Sie ihn darauf, bis er mit einem Klicken geschlossen ist.
7. Warten Sie etwa 15 s, bis der Temperaturfühler die Temperatur des Wassers angenommen hat. Drücken Sie zum Starten der Datenerfassung auf . Es werden 20 Minuten lang Daten erfasst.

## DATEN-TABELLE

Durchschnittliche Raumtemperatur (°C)	
---------------------------------------	--

## ANALYSE

1. Passen Sie mithilfe von Logger *Pro* eine exponentielle Funktion an die Daten an. Drücken Sie dazu auf den Knopf zur Kurvenanpassung  und wählen Sie *Natural Exponential function* ( $y=A*\exp(-Ct)+B$ ) aus der Liste aus. Drücken Sie zur Durchführung der Anpassung auf , anschließend auf .
2. Newton's Gesetz der Abkühlung wurde oben angegeben durch

$$T = T_0 e^{-kt} + T_{Raum}$$

Passen Sie die Variablen  $x$ ,  $y$ ,  $A$ ,  $B$  und  $C$  in der angepassten Gleichung an die Bezeichnungen  $T$ ,  $T_{Raum}$ ,  $k$  und  $t$  in Newton's Gesetz der Abkühlung an. Wie sind die Einheiten von  $A$ ,  $B$  und  $C$ ? Vergleichen Sie Ihren Wert für  $B$  mit der Raumtemperatur, die Sie zuvor erfasst hatten. War der Sensor während der Datenerfassung immer bei Raumtemperatur?

3. Wenn  $t = 0$  ist, wie lautet der Wert von  $e^{-kt}$ ?
4. Wenn  $t$  sehr groß ist, wie ist der Wert der Temperaturdifferenz? Wie ist die Temperatur des Wassers zu diesem Zeitpunkt?
5. Was könnten Sie an Ihrem Versuchsaufbau ändern, um den Wert von  $k$  in einem anderen Lauf zu verändern? Welche Größe misst  $k$ ?
6. Berechnen Sie mithilfe Ihrer Gleichung die Temperatur nach 800 Sekunden. Vergleichen Sie Ihren berechneten Wert mit dem tatsächlichen Wert.
7. Sagen Sie mithilfe Ihrer Gleichung die Zeit voraus, die es dauert, bis das Wasser eine Temperatur von  $1^\circ\text{C}$  über der Raumtemperatur erreicht.
8. Wenn die anfängliche Temperaturdifferenz halbiert wird, dauert es dann halb so lang,  $1^\circ\text{C}$  über Raumtemperatur zu erreichen?

## ERWEITERUNGEN

1. Erfassen Sie Daten über eine längere Zeitperiode, so dass das Wasser annähernd bis zur Raumtemperatur abkühlt. Dies könnte länger als 30 Minuten dauern. Passt das exponentielle Modell immer noch zu den Daten?
2. Ein Kaffeetrinker wird mit dem folgenden Dilemma konfrontiert. Er trinkt seinen Kaffee mit Sahne 10 Minuten lang nicht, möchte aber, dass er noch so heiß wie möglich ist. Ist es besser, die Sahne mit Raumtemperatur sofort hinzuzufügen, den Kaffee umzurühren und 10 Minuten lang stehen zu lassen oder ist es besser, den Kaffee 10 Minuten lang stehen zu lassen, *anschließend* die Sahne hinzuzufügen und umzurühren? Was ergibt eine höhere Temperatur nach zehn Minuten? Untersuchen Sie das Dilemma mit dem Temperaturfühler. Erklären Sie Ihre Ergebnisse bezogen auf die Annahmen, die Newton über die Abkühlung gemacht hat.
3. Experimentieren Sie mithilfe des Temperaturfühlers mit Kaffeebechern aus unterschiedlichen Materialien. Kühlt ein Getränk in einem Keramikbecher schneller ab als in einem Becher aus Styropor? Welche Variablen müssen Sie konstant halten, um garantieren zu können, dass der Unterschied in den Daten durch den Becher verursacht wird? Welcher Teil der exponentiellen Gleichung bezieht sich auf den Becher?
4. Das mathematische Modell der Abkühlung einer Flüssigkeit kann auch dazu verwendet werden, andere Phänomene der Natur zu erklären. Beispielsweise verhalten sich Radioaktivität und RC-Stromkreise in ähnlicher Weise. Finden Sie andere Phänomene, die durch exponentielle Funktionen modelliert werden. Führen Sie, wenn möglich, die

M  
e  
s  
s  
u  
n  
g  
  
e  
i  
n  
e