

# Newton'sches Abkühlungsgesetz

(Arbeitsblatt)

Der Physiker Pipette wartet auf seinen Zug nach Berlin. Um die Wartezeit etwas angenehmer zu gestalten, bestellt er sich eine Tasse frisch gebrühten Kaffee. Doch schon beim ersten vorsichtigen Schluck stellt er fest: viel zu heiß! Trotzdem möchte er den Kaffee unbedingt noch genießen, bevor sein Zug abfährt. Neben der Tasse steht ein kleines Kännchen mit kalter Milch. Und so beginnt Pipette nachzudenken: Wie könnte sein Kaffee wohl am schnellsten auf Trinktemperatur kommen? Sollte er die Milch sofort hineingießen, um den Kaffee direkt etwas abzukühlen? Oder wäre es klüger, den Kaffee zunächst von selbst ein wenig auskühlen zu lassen und die Milch erst später dazuzugeben? Welche dieser Entscheidungen bringt den Kaffee in der kurzen verbleibenden Zeit am schnellsten auf ein angenehm trinkbares Temperaturniveau?

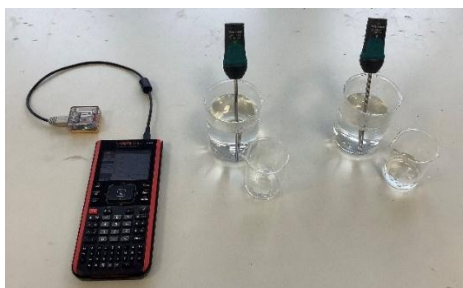


## Problemfrage:

Unter welchen Bedingungen wird ein heißer Kaffee schneller trinkbar: wenn man die Milch gleich zu Beginn zugibt oder erst nach einigen Minuten?

## Aufgabenstellungen

- Bauen Sie den Versuch entsprechend der folgenden Abbildung auf. Stellen Sie die Messwerterfassung entsprechend ein. Platzieren Sie jeweils einen Vernier Go Direct® Temperature Sensor (GDX-TMP) in einem Becherglas mit jeweils 200 ml heißem Wasser. In die kleineren Bechergläser kommen jeweils 50 ml kaltes Wasser. Starten Sie die Messung.
- In das eine Gefäß wird sofort das kalte Wasser aus dem Becherglas zugegeben, in das andere Gefäß einige Minuten später.
- Werten Sie die aufgenommenen *Zeit-Temperatur-Diagramme* entsprechend aus. Beschreiben Sie, wie sich die Temperatur im zeitlichen Verlauf verändert. Gehen Sie dabei insbesondere auf Unterschiede im Abkühlungsverhalten ein.
- Beurteilen Sie die Problemfrage anhand Ihrer Messergebnisse: In welchen der beiden Fälle wird der Kaffee schneller trinkbar – wenn die Milch zu Beginn oder erst nach einer gewissen Zeit zugegeben wird? Begründen Sie Ihre Entscheidung mithilfe Ihrer experimentellen Beobachtungen.



## Einstellung zur Datenaufnahme:

- Zeitbasiert
- Messrate: 0,1 Messungen pro Sekunde
- Messzeit: 600 Sekunden

# Newton'sches Abkühlungsgesetz

(Informationen für die Lehrkraft)

In diesem Versuch wird das **Newton'sche Abkühlungsgesetz** betrachtet. Dieses besagt, dass die Änderungsrate der Temperatur eines Körpers während des Abkühlens proportional zur Temperaturdifferenz zwischen dem Körper und seiner Umgebung ist. Für den Kaffee bedeutet das: Solange er deutlich wärmer als die Umgebungsluft ist, kühlt er schneller ab. Gibt man jedoch früh kalte Milch hinzu, sinkt zwar die Temperatur unmittelbar, aber die Temperaturdifferenz zur Umgebung wird kleiner und damit verlangsamt sich der weitere Abkühlungsprozess. Daher ist es physikalisch günstiger, den Kaffee zunächst ohne Milch abkühlen zu lassen und die Milch erst kurz vor dem Trinken zuzugeben. Dadurch nutzt man die höhere anfängliche Abkühlrate und erzielt anschließend durch die Milchzugabe einen schnellen, zusätzlichen Temperatursprung. Der Effekt lässt sich experimentell eindeutig nachweisen, indem die Temperaturverläufe mit zwei Temperatursensoren parallel aufgezeichnet und miteinander verglichen werden.

## Physikalische Grundlagen

Die Abkühlung eines warmen Körpers lässt sich durch das Newton'sche Abkühlungsgesetz beschreiben. Dieses besagt, dass die Temperaturänderungsrate eines Körpers proportional zur Temperaturdifferenz zwischen dem Körper seiner Umgebung ist. Je größer diese Differenz ist, desto schneller erfolgt der Wärmeverlust. Oder wie *Newton* es formulierte: „Die Geschwindigkeit, mit der ein Körper Wärme verliert, ist proportional zur Differenz zwischen seiner eigenen Temperatur und der Temperatur der umgebenden Luft.“ Mathematisch ergibt sich aus diesem Zusammenhang die exponentielle Abkühlfunktion:

$$T(t) = T_{Umgebung} + (T_0 - T_{Umgebung}) \cdot e^{-kt}$$

Dabei ist  $T(t)$  die Temperatur des Körpers zum Zeitpunkt  $t$ ,  $T_0$  ist die Anfangstemperatur,  $T_{Umgebung}$  die konstante Umgebungstemperatur und  $k$  eine materialspezifische Abkühlungskonstante.

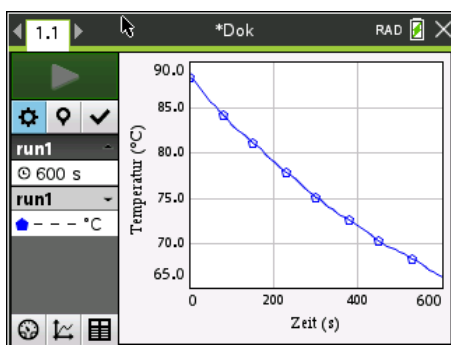


Abb. 1: Newton'sches Abkühlungsgesetz  
(Messwerte)

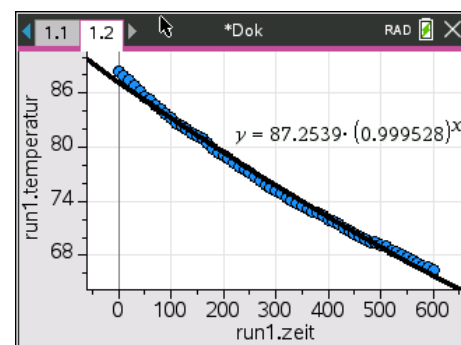


Abb. 2: Newton'sches Abkühlungsgesetz  
(Regressionsmodell)

In einem Vorversuch (s. Abb. 1) wurde die Abkühlung von 200 ml heißem Wasser über einen Zeitraum von 600 s mithilfe eines Vernier Go Direct® Temperature Sensors aufgezeichnet. Die gemessene Temperaturkurve zeigt einen anfangs steilen Abfall, der sich mit der Zeit abflacht. Dies bestätigt das charakteristische Verhalten einer exponentiellen Abkühlung, bei der sich die Temperatur des Wassers asymptotisch der Umgebungstemperatur annähert (s. Abb. 1).

### Materialien

Zwei Bechergläser (250 ml), zwei Bechergläser (50 ml), zwei Vernier Go Direct® Temperature Sensoren (GDX-TMP), TI Bluetooth®-Adapter, TI-Nspire™ CX II-T Handheld (zur digitalen Messwerterfassung).

### Versuchsaufbau und Durchführung

Für den Versuch werden zwei identische Bechergläser (je 250 ml Fassungsvermögen) sowie zwei kleinere Bechergläser mit je 30 ml kaltem Leitungswasser benötigt. Zur Erfassung der Temperaturverläufe kommen zwei Vernier Go Direct® Temperature Sensoren zum Einsatz, die über einen TI-Bluetooth®-Adapter mit Handheld verbunden werden (siehe Abbildung 3).

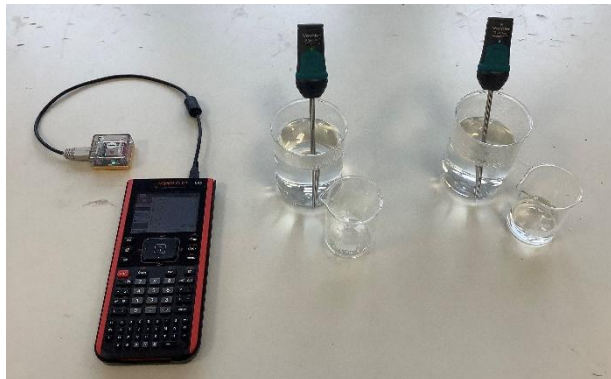


Abb. 3: Versuchsaufbau

Das Wasser wird zunächst mit einem Wasserkocher zum Kochen gebracht. Anschließend werden die Temperatursensoren in die beiden Gefäße eingesetzt, die dann jeweils mit 200 ml heißem Wasser gefüllt werden. In eines der Gefäße wird sofort das kalte Wasser aus einem Becherglas zugegeben, um den Effekt einer sofortigen Abkühlung zu untersuchen. Danach startet die Messung, die mit einer Stichprobe alle 10 Sekunden (0,1 Stichproben pro Sekunde) durchgeführt wird und über 600 Sekunden aufgezeichnet wird. Nach einigen Minuten erhält auch das zweite Gefäß das kalte Wasser, sodass die Temperaturentwicklung bei verzögerter Zugabe sichtbar wird. Auf diese Weise wird anschaulich demonstriert, wie sich der Zeitpunkt der Zugabe kalter Flüssigkeit auf die Abkühlungsgeschwindigkeit auswirkt und wie das Newtonsche Abkühlungsgesetz experimentell bestätigt wird.

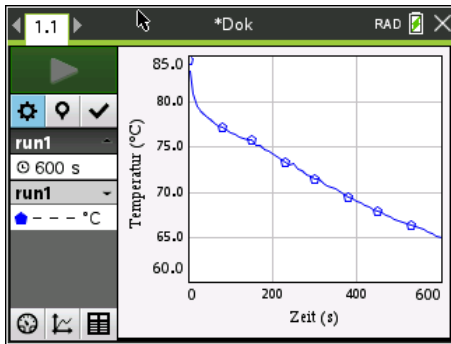


Abb. 4: Abkühlungskurve erstes Becherglas

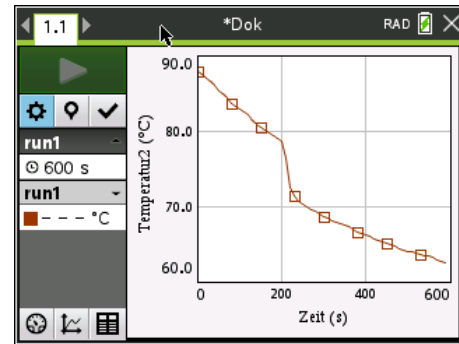


Abb. 5: Abkühlungskurve zweites Becherglas

In den Abbildungen 4, 5 und 6 ist die Abkühlung der beiden Bechergläser graphisch dargestellt. In Abbildung 7 werden die beiden Temperaturverläufe gemeinsam aufgetragen, sodass der Unterschied zwischen sofortiger und verzögerter Zugabe des kalten Wassers (bei 200 Sekunden) anschaulich sichtbar wird.

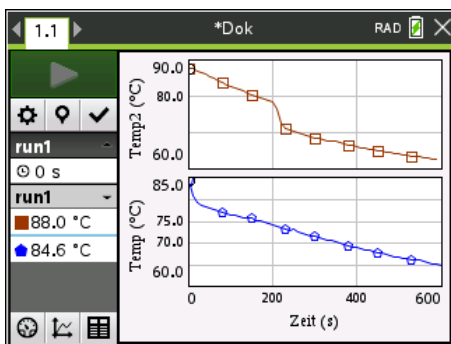


Abbildung 6: Abkühlungskurven in einer Graphik

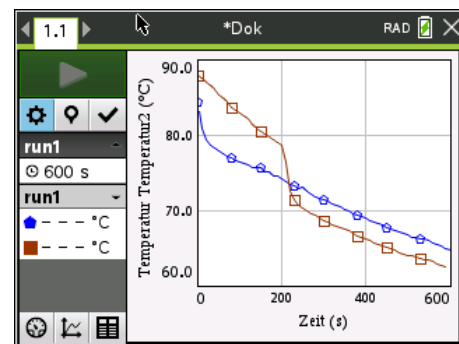


Abbildung 7: Abkühlungskurven zusammengefasst

Physikalisch lässt sich dies durch das Newtonsche Abkühlungsgesetz erklären: Die Abkühlrate eines Körpers ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen dem Körper und seiner Umgebung. Wenn das kalte Wasser sofort hinzugegeben wird, sinkt die Temperatur des heißen Wassers zwar abrupt, die verbleibende Temperaturdifferenz zur Umgebung ist aber kleiner, wodurch die weitere Abkühlung langsamer verläuft. Lässt man den Kaffee zunächst alleine abkühlen, ist die Temperaturdifferenz anfangs größer, die Abkühlung schneller, und die spätere Zugabe des kalten Wassers erzeugt einen zusätzlichen Temperatursprung. Auf diese Weise zeigen die Messkurven anschaulich, wie der Zeitpunkt der Zugabe kalter Flüssigkeit die effektive Abkühlgeschwindigkeit beeinflusst und das Newtonsche Abkühlungsgesetz experimentell bestätigt.

### Hinweise zum Messverfahren

Das Newtonsche Abkühlungsgesetz lässt sich auch mit nur einem Temperatursensor erfassen. Um die eventuell auftretende Aufwärmphase des Sensors zu berücksichtigen, kann man den Anfangsbereich der Messung durch Auswahl des Kurvenbereichs abschneiden oder die Messung erst kurz nach dem Eintauchen des Sensors starten. Anschließend lässt sich eine exponentielle Funktion an die Messdaten anpassen. Wenn die Temperaturdifferenz zwischen Flüssigkeit und Umgebung im Verlauf der Messung abnimmt, wird die weitere Abkühlung nahezu linear, sodass sich auch eine Gerade sehr gut anpassen lässt, wenn der Anfangsbereich weggelassen wird.

**Zusammenfassung**

Die Messungen zeigen deutlich, dass ein heißer Kaffee schneller trinkbar wird, wenn die Milch erst nach einigen Minuten hinzugegeben wird. Physikalisch lässt sich dies durch das Newtonsches Abkühlungsgesetz erklären: Die Abkühlrate ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen dem heißen Kaffee und der Umgebung. Lässt man den Kaffee zunächst alleine abkühlen, ist die Temperaturdifferenz groß, wodurch er schneller Wärme verliert. Wird die Milch erst kurz vor dem Trinken hinzugefügt, sinkt die Temperatur sprunghaft, sodass der Kaffee schnell auf eine angenehme Trinktemperatur kommt. Die sofortige Zugabe der Milch hingegen reduziert die anfängliche Temperaturdifferenz, wodurch die Abkühlung langsamer verläuft und der Kaffee insgesamt länger zu heiß bleibt. Damit wird die Frage eindeutig beantwortet: Der Kaffee wird schneller trinkbar, wenn die Milch erst nach einigen Minuten zugegeben wird.

**Autor:**

*Benedikt Bannenberg*

**Info:**

*Benedikt Bannenberg* unterrichtet *Biologie, Chemie* und *Physik* am *Franz-Stock-Gymnasium* in Arnsberg.