



## ► Warum ist die Fülle eines Apfelstrudels immer heißer als der Teig?

Mag. Gertrud Aumayr



Apfelstrudel ist eine Wiener Köstlichkeit aus der Zeit der Donaumonarchie. Die Fülle, bestehend aus Apfelstückchen, Rosinen, Zimt und gerösteten Semmelbröseln, wird in ausgerollten oder -gezogenen Strudelteig gehüllt und im Backrohr gebacken. Frisch und noch warm aus dem Backofen schmeckt er am besten. Aber Vorsicht: Die Fülle ist immer viel heißer als der Teig und wenn man nicht aufpasst, kann man sich leicht den Mund verbrennen! Warum eigentlich?

Zum einen liegt es daran, dass der Teig Wärme über Wärmeleitung (Unterlage), Konvektion (Luft) und Wärmestrahlung an die Umgebung abgibt. Für die Fülle hingegen bildet der umhüllende Teig eine Art Wärmeisolationsschicht. Zum anderen ist die Wärmekapazität der hauptsächlich aus Äpfeln bestehenden Fülle wesentlich größer als die des Teigs, weshalb sie die Wärme länger speichert. Außerdem hat der bröselige Teig viel weniger Berührungspunkte mit den Temperaturrezeptoren im Mund als der fast flüssige Inhalt des Apfelstrudels.

Die ersten beiden Punkte lassen sich durch Experimente mit Vernier Temperatursensoren und dem TI-Nspire™ als Messwerterfassungssystem untersuchen.

### Experiment 1: Messung der Newtonschen Abkühlkurve:

Den Apfelstrudel richtig zuzubereiten ist dabei der schwierigste Teil dieses Experiments. Ist der Strudel fertig, braucht man zwei Temperatursensoren, die im Teig und inmitten der Fülle platziert werden. Die Temperatursensoren werden mittels LabCradle™ an den TI-Nspire™ angeschlossen. Der Versuchsaufbau ist auf dem Titelfoto zu sehen.

#### Theorie:

Nach dem Newtonschen Abkühlgesetz ist die Abkühlgeschwindigkeit eines Körpers  $\frac{dTemp}{dt}$  proportional zur Differenz aus Umgebungstemperatur  $T_u$  und momentaner Temperatur  $Temp$  des Körpers. Die Anfangstemperatur sei  $T_a$ .

Die Lösung der Differentialgleichung  $\frac{dTemp}{dt} = k \cdot (T_u - Temp)$

mit der Anfangsbedingung  $Temp(0) = T_a$  kann mittels TI-Nspire™ durch Eingabe von `desolve(Temp' = k · (Tu - Temp) and Temp(0) = Ta, t, Temp)` ermittelt werden und ergibt die Funktion  $Temp(t) = (T_a - T_u) \cdot e^{-kt} + T_u$ .

#### Durchführung:

Mit Hilfe zweier Temperatursensoren und TI-Nspire wird der zeitliche Verlauf der Temperatur der Fülle und des Teiges

bestimmt. Zwei der Funktion Temp(t) entsprechende Modellkurven werden angepasst (vergl. Abb. 1 und Abb. 2).

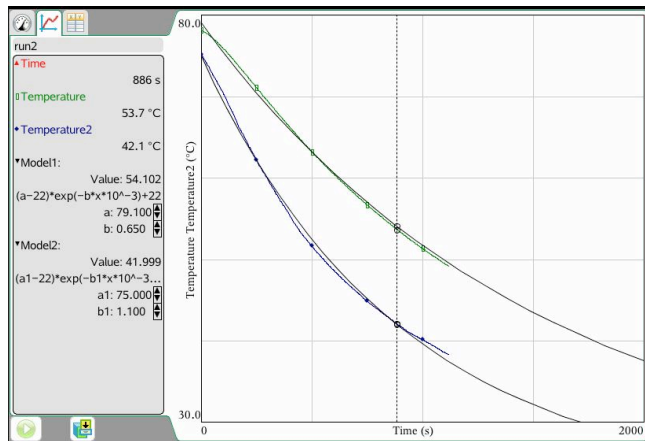


Abb. 1

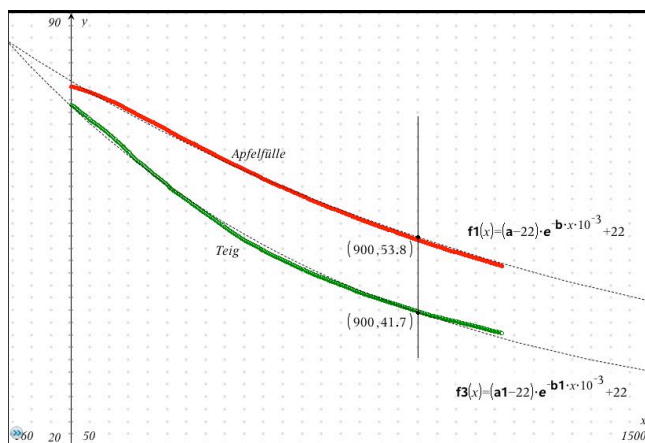


Abb. 2

**Ergebnis:**

Die beiden Kurven bestätigen die Erfahrung. Die Apfelfülle kühlt weniger schnell ab als der Teig. Nach 15 Minuten hat der Teig ca. 42°C, die Apfelfülle noch immer 53°C.

**Experiment 2: Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität**

Der Teig besteht hauptsächlich aus Fett und Mehl, die Fülle aus zerkleinerten und gekochten Apfelstückchen. Für die Messung der spezifischen Wärmekapazität verwenden wir der Einfachheit halber als Modell für den festen Teig einen Teigbrei bestehend aus Speiseöl und Mehl, sowie als Modell für die Apfelfülle Apfelmus. In einem isolierten Gefäß werden jeweils 100 g der beiden Breisorten über eine Heizspirale mit konstanter Leistung erwärmt (Versuchsaufbau siehe Abb.3).



Abb. 3

**Theorie:**

Die spezifische Wärmekapazität C eines Stoffes ist jene Energie, die benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um 1 K (Kelvin) zu erwärmen.

$$C = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$$

$\Delta Q$  ..... zugeführte Wärme  
 $m$  ..... Masse  
 $\Delta T$  ..... Temperaturänderung

Die zugeführte Energie entspricht der elektrischen Leistung mal der Zeitdauer, während der die elektrische Leistung angelegt bleibt:

$$\Delta Q = U \cdot I \cdot \Delta t$$

$U$  ..... angelegte Spannung  
 $I$  ..... gemessene Stromstärke  
 $U \cdot I$  ..... elektrische Leistung  
 $\Delta t$  ..... Zeitdauer

Einsetzen ergibt:

$$C = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta T} = \frac{U \cdot I}{m \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} \text{ ..... Temperaturänderung pro Zeit} = \text{Steigung der gemessenen Geraden}$$

**Durchführung:**

Mit Hilfe eines Temperatursensors und TI-Nspire™ wird der zeitliche Verlauf des Temperaturanstieges aufgenommen. An beide Kurven werden lineare Modelle angepasst und die jeweilige Steigung dieser Geraden ermittelt.

**Auswertung:**

Apfelmus: (vgl. Abb. 4)

$$m = 0.1 \text{ kg}$$

$$U \cdot I = 7,5 \text{ Watt}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0.018 \text{ K / s}$$

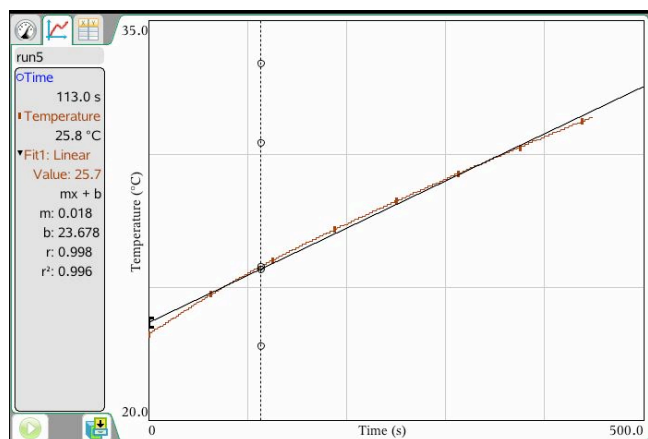


Abb. 4

Spezifische Wärmekapazität von Apfelmus:

$$C = \frac{U \cdot I}{m \cdot \Delta T} \approx 4167 \frac{J}{K \cdot kg}$$

Teigbrei: (vgl. Abb. 5)

$$m = 0.1 \text{ kg}$$

$$U \cdot I = 7.5 \text{ Watt}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0.028 \text{ K / s}$$

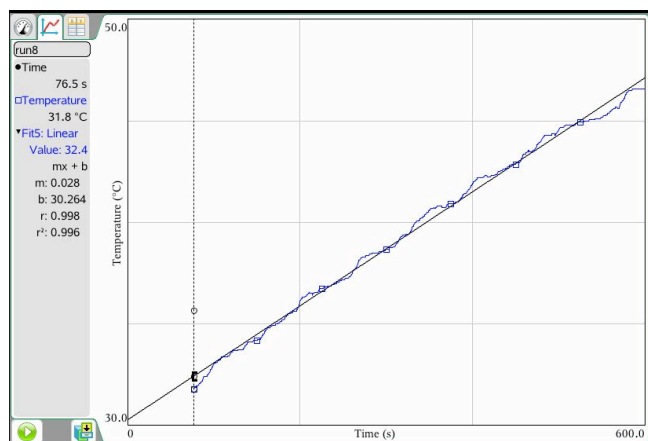


Abb. 5

Spezifische Wärmekapazität von Teigbrei:

$$C = \frac{U \cdot I}{m \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}} \approx 2679 \frac{J}{K \cdot kg}$$

Vergleich der beiden Messkurven: (Abb. 6)

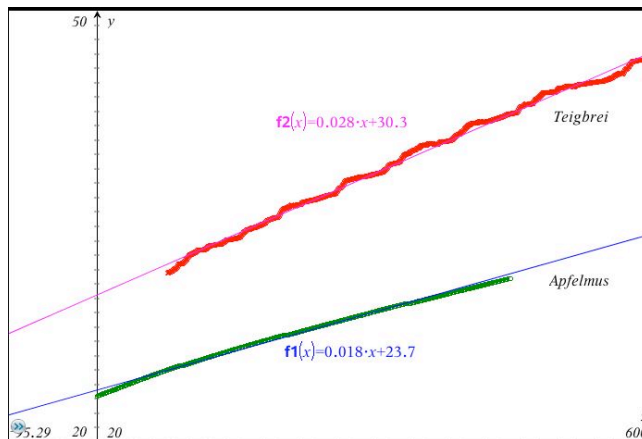


Abb. 6

Vergleich der spezifischen Wärmekapazitäten (Tab. 1):

Apfelmus	Teigbrei	Wasser (Literaturwert)
$4167 \frac{J}{K \cdot kg}$	$2679 \frac{J}{K \cdot kg}$	$4187 \frac{J}{K \cdot kg}$

**Ergebnis:**

Äpfel bestehen zum Großteil aus Wasser. Wasser nimmt Wärme wesentlich langsamer auf als Teigbrei und gibt Wärme wesentlich langsamer ab.

**Autor**

Mag. Gertrud Aumayr, 3100 St. Pölten (A)

[gertrud.aumayr@t3oesterreich.at](mailto:gertrud.aumayr@t3oesterreich.at)