



## **Unterrichtsmaterial**

### **Unterrichtsvorschlag**

Mit den beigefügten Arbeitsblättern können die Schülerinnen und Schüler in Gruppen die zwei Experimente direkt durchführen. Je nach Vorkenntnissen sollte aber eventuell eine Einführung in die zur Verfügung stehenden Hilfsmittel (z.B. Excel oder grafikfähiger Taschenrechner) stattfinden.

Alternativ kann auch das Experiment zum Bierschaum an den Anfang der Einheit zu Wachstums- und Zerfallsprozessen gestellt werden, das Milchkafee-Projekt könnte dann den Abschluss dieser Einheit bilden.

### **Benötigtes Material**

Das Experiment wird für jede Schülergruppe einmal benötigt. Für den Versuchsaufbau sind notwendig (vgl. Abbildungen nächste Seiten):

The **ScienceMath**-project: **Experimente zu Zerfallsprozessen**  
Idee: Thilo Höfer,  
Stauferymnasium Waiblingen, Deutschland

### ***Bierschaum-Experiment:***

1 Milchaufschäumer, ca. 300ml (alkoholfreies) Bier oder Kinder-Malzbier, 1 gerades Gefäß (z.B. Zylinder, Prisma,...), 1 Stoppuhr, Papierstreifen zur Anbringung von Markierungen auf dem Gefäß, Hilfsmittel zur Auswertung (z.B. Excel, grafikfähiger Taschenrechner).



The **ScienceMath**-project: **Experimente zu Zerfallsprozessen**

Idee: Thilo Höfer,  
Stauferymnasium Waiblingen, Deutschland

*Milchkaffee-Experiment:*

1 (digitales) Thermometer, 1 Stoppuhr, heißer Kaffee (alternativ Wasser), kalte Milch, Tassen, Hilfsmittel zur Auswertung (z.B. Excel, grafikfähiger Taschenrechner)



## Wachstum und Zerfall Experimente

### Versuch 1: Zerfallsrate von Bierschaum

Ein richtig frisches (natürlich alkoholfreies) Bier schmeckt erst so richtig gut, wenn es eine wunderschöne Schaumkrone hat. Das Erzeugen einer solchen birgt aber oft das Problem, dass die Krone sehr schnell verfällt, d.h. ein frisch eingeschenktes Bier muss unverzüglich serviert und getrunken werden. Befolgt man diesen Rat nicht, so hat man bald nichts mehr von seiner Schaumkrone übrig.

Wie schnell aber zerfällt denn der Schaum, also wie viel Zeit kann man sich beim Trinken lassen?

### Experimentierphase:

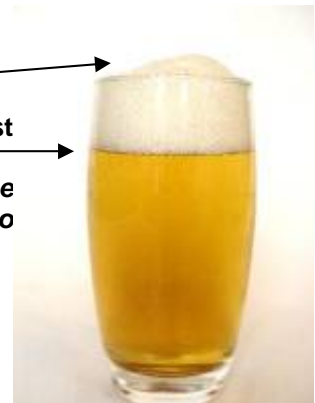
LEST DIE FOLGENDE ANLEITUNG ZUERST VOLLSTÄNDIG DURCH:

Füllt 100-200ml alkoholfreies Bier oder Malzbier in ein zylinderförmiges hohes Glas. Beklebt das Glas von oben nach unten mit einem Streifen Krepp-Klebeband, so dass ihr darauf Schaumhöhenstand-Markierungen anbringen könnt.

Erzeugt mit dem Milchaufschäumer so viel Schaum wie möglich. Macht die ersten Markierungen der Schaumhöhe. Dazu müsst ihr oben und unten markieren, da sich der Schaum beim Zerfall sowohl oben, als auch am unteren Schaumkronenende verändert (zerfallener Schaum wird zu Bier, auf dem der Schaum schwimmt. Dadurch steigt die Bierhöhe ständig und somit verändert sich auch die Höhe des Beginns der Schaumkrone). Macht nun alle 5 Sekunden eine neue (obere und untere) Markierung. Führt dies mindestens 60 Sekunden lang durch.

Über das Glas darf der Schaum nicht hinaus gehen, er sollte auch möglichst „eben“ sein. Die Markierung muss oben und unten angebracht werden.

*Alternativ kann auch die Bierhöhe als inverse Angabe für die Schaumhöhe verwendet werden (Schaum zerfällt in Bier, d.h. je weniger Schaum, umso mehr Bier)*



### Auswertungsphase:

**a.)** Bestimmt die Schaumkronenhöhen nach 5, 10, 15, ... Sekunden und vervollständigt die folgende Tabelle damit.

Zeitschritt-Nr (5s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Schaumhöhe (cm)														

**b.)** Überträgt die Tabelle in den GTR / Excel / ...

**c.)** Modelliert die Werte der Tabelle durch eine euch geeignet erscheinende Funktion. Begründet eure Entscheidung schriftlich.

**d.)** Wie hoch wäre die Schaumkrone nach 2 Minuten?

**e.)** Ein Wirt hat eine 7cm-hohe Schaumkrone erzeugt, möchte sie aber nur 5cm hoch haben. Wie lange muss er warten?

## **Versuch 2: Milchkaffee - Milch & Kaffee**

Ein Tässchen Kaffee oder Tee wird häufig mit kochendem Wasser auf-gebrüht. Viele Menschen verfeinern sich ihr Lieblingsheißgetränk danach noch mit einem Schlückchen Milch. Ein „Otto-Normal-Kaffeetrinker“ hält sich dabei ungefähr an das Verhältnis 5 : 1, also 5 Sechstel Kaffee mit 1 Sechstel Milch. Neben der geschmacklichen Aufwertung wird der Kaffee durch die Milch abgekühlt. Da kein Mensch seinen Kaffee kochend genießen kann, ist dieser Effekt natürlich nicht schlecht, da man den Kaffee dann vermeintlich schneller trinken kann. Ist das aber tatsächlich so? Wir wollen nun der Frage nachgehen, welche Vorgehensweise sinnvoller ist: Den Kaffee sofort mit der Milch zu mischen, oder ihn zunächst ein paar Minuten stehen zu lassen, um ihn kurz vor dem Trinken mit der Milch zu vermischen.



### **Experimentierphase:**

LEST DIE FOLGENDE ANLEITUNG ZUERST VOLLSTÄNDIG DURCH:

- a.) Kocht Wasser ab, füllt eine Tasse zur Hälfte damit und lasst es abkühlen. Während dieses Vorgangs sollt ihr alle 30 Sekunden testen, ob das Wasser bereits eine für euch geeignete Trinktemperatur erreicht hat. Bestimmt dann diese maximale Trinktemperatur mit dem Digitalthermometer.
- b.) Kocht erneut Wasser ab und füllt nun 150ml in eine Tasse. Mischt das Wasser unverzüglich mit 30ml Milch. Messt und tabellarisiert sofort die Temperatur und von nun an in 15s-Zeitschritten, so lange, bis eure maximale Trinktemperatur erreicht ist.
- c.) Führt erneut b.) durch, dieses Mal aber nur mit 150ml Wasser.
- d.) Holt 30ml Milch aus dem Kühlschrank und messt deren Temperatur ebenfalls wie in b.), aber nur so lange, wie ihr in c.) gemessen habt.

### **Auswertungsphase: Die Modellierungen müssen als Graph und Term dokumentiert werden!**

- I.) Modelliert die Werte von b.) mit einer euch geeignet erscheinenden Funktion.
- II.) Modelliert die Werte von c.) mit einer euch geeignet erscheinenden Funktion.
- III.) Modelliert die Werte von d.) mit einer euch geeignet erscheinenden Funktion.
- IV.) Wenn man Milch und Kaffee mischt, so entsteht eine Mischtemperatur entsprechend den Anteilen.

Beispiel: 5 Teile Kaffee mit 80°C mit 1 Teil Milch mit 20°C:  $(5 \cdot 80^\circ\text{C} + 1 \cdot 20^\circ\text{C}) / 6 = 70^\circ\text{C}$ .

Methode 1: Eine Tasse Kaffee gemäß c.) soll mit 30ml Milch aus dem Kühlschrank (6°C) so gemischt werden, dass sofort nach dem Mischen die maximale Trinktemperatur erreicht wird. Wie lange muss man nach dem Kaffeekochen mit dem Zumischen der Milch warten?

Methode 2: Die Milch wird aus dem Kühlschrank geholt, sobald der Kaffee gekocht ist (also Temperaturverläufe wie in c.) und d.). Bearbeite die Fragestellung aus Annahme 1 unter dieser Voraussetzung erneut.

V.) Vergleiche die drei Ergebnisse aus b.) und IV: Welche der drei Methoden führt am schnellsten zu trinkbarem Kaffee?

## Weitere Informationen

### Lösungsbeispiel Milchkafee

#### Milchkafee - Milch & Kafee: Beispiellösungen

Maximale Trinktemperatur: **60°C** (individuell verschieden)

#### **b.) 180ml Milchkafee**

(1 Schrittweite entspricht 15 Sekunden):

Modell:  $B(n+1) = B(n) + 0,01 \cdot (21,1 - B(n))$

Zeit (15s)	Milchkafee	Modell
0	71,8	
1	71,2	71,19
2	70,7	70,6
3	69,9	70,1
4	69,3	69,31
5	68,3	68,72
6	68,2	67,73
7	67,3	67,63
8	66,6	66,75
9	66,2	66,05
10	65,7	65,66
11	65,4	65,16
12	64,9	64,87
13	64,6	64,37
14	64,1	64,08

Fortsetzung		
Zeit	Milchkafee	Modell
15	63,9	63,58
16	63,4	63,39
17	63	62,89
18	62,5	62,5
19	62,1	62
20	61,8	61,61
21	61,4	61,31
22	61	60,92
23	60,7	60,52
24	60,5	60,22
25	60,2	60,03
26	59,9	59,73

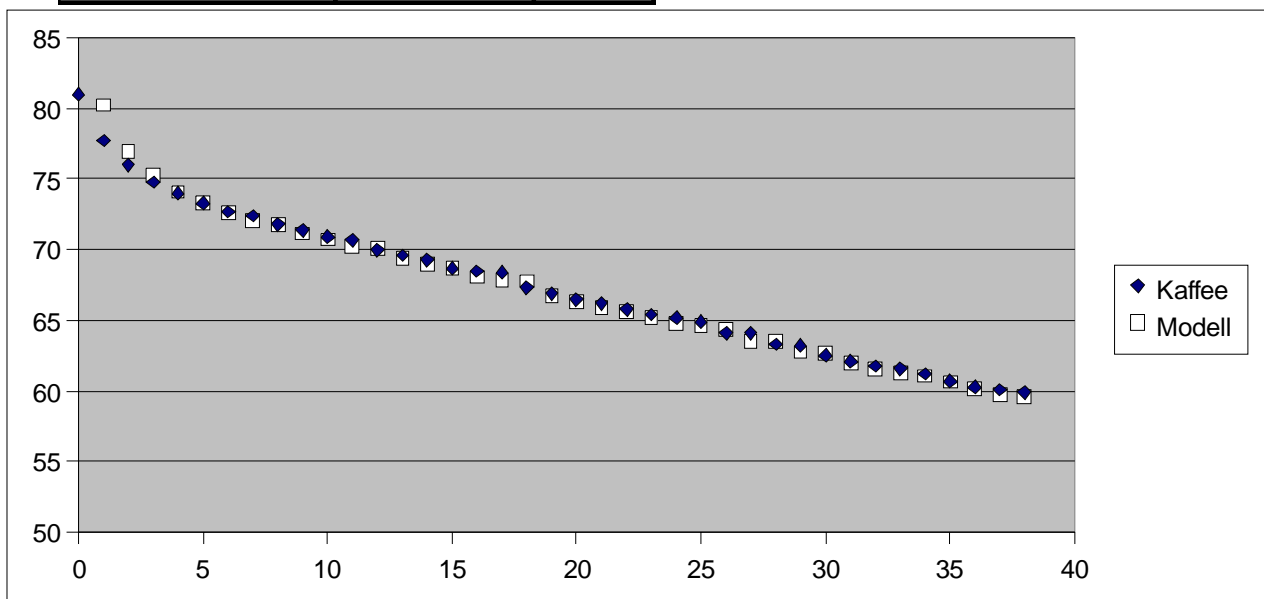


## Milchkaffee - Milch & Kaffee: Beispiellösungen

Maximale Trinktemperatur: **60°C** (individuell verschieden)

**c.) 150ml Kaffee** (1 Schrittweite entspricht 15 Sekunden):

Zeitschritte (15s)	Temperatur	Modell	Fortsetzung		
0	81		Zeit	Temperatur	Modell
1	77,7	80,22	21	66,2	65,91
2	76	76,96	22	65,8	65,61
3	74,8	75,29	23	65,4	65,22
4	74	74,1	24	65,2	64,82
5	73,3	73,31	25	64,9	64,63
6	72,7	72,62	26	64,1	64,33
7	72,4	72,03	27	64,1	63,54
8	71,8	71,73	28	63,3	63,54
9	71,4	71,14	29	63,2	62,75
10	70,9	70,75	30	62,5	62,65
11	70,7	70,25	31	62,1	61,96
12	70	70,06	32	61,8	61,57
13	69,6	69,36	33	61,6	61,27
14	69,3	68,97	34	61,2	61,07
15	68,7	68,67	35	60,7	60,68
16	68,5	68,08	36	60,3	60,19
17	68,4	67,88	37	60,1	59,79
18	67,3	67,79	38	59,9	59,59
19	66,9	66,7			
20	66,5	66,3			



Modell:  $B(n+1) = B(n) + 0,01 \cdot (21,1 - B(n))$

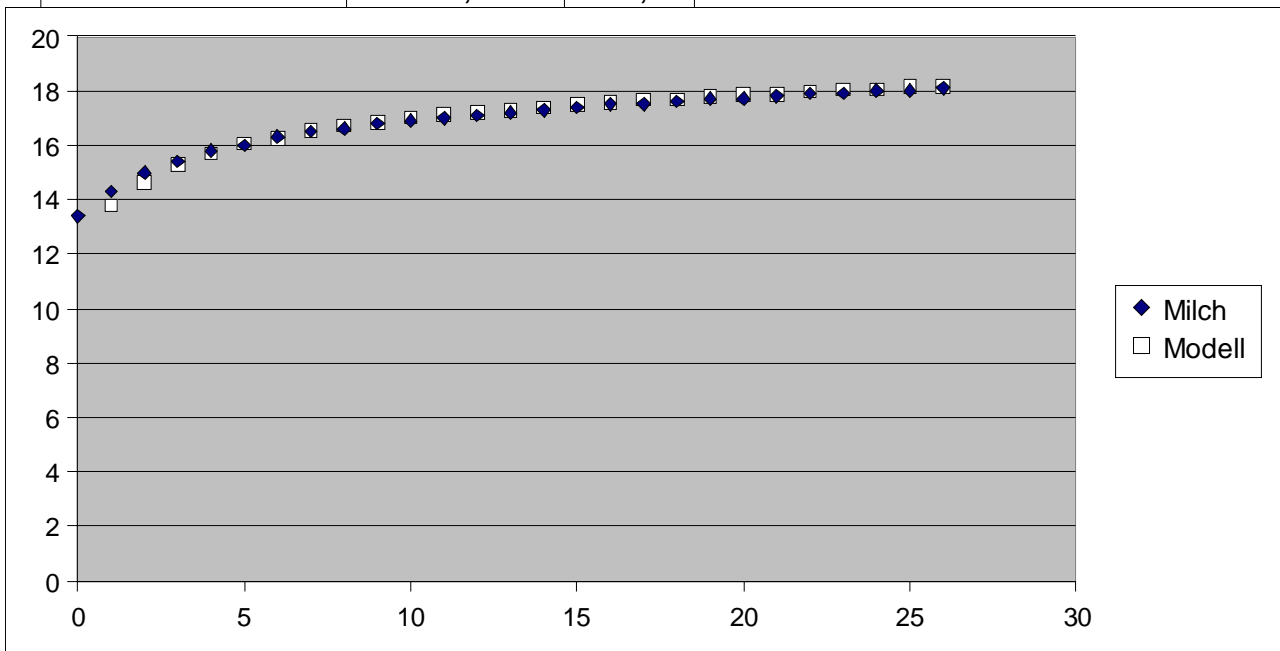
## Milchkaffee - Milch & Kaffee: Beispiellösungen

Maximale Trinktemperatur: **60°C** (individuell verschieden)

**d.) 30ml Milch** (1 Schrittweite entspricht 15 Sekunden):

Modell:  $B(n+1) = B(n) + 0,05 \cdot (21,1 - B(n))$

Zeitschritte (15s)	Temperatur	Modell	Fortsetzung		
			Zeit	Temperatur	Modell
0	13,4		16	17,5	17,59
1	14,3	13,79	17	17,5	17,68
2	15	14,64	18	17,6	17,68
3	15,4	15,31	19	17,7	17,78
4	15,8	15,69	20	17,7	17,87
5	16	16,07	21	17,8	17,87
6	16,3	16,26	22	17,9	17,97
7	16,5	16,54	23	17,9	18,06
8	16,6	16,73	24	18	18,06
9	16,8	16,83	25	18	18,16
10	16,9	17,02	26	18,1	18,16
11	17	17,11			
12	17,1	17,21			
13	17,2	17,3			
14	17,3	17,4			
15	17,4	17,49			





## Milchkaffee - Milch & Kaffee: Beispiellösungen

Maximale Trinktemperatur: **60°C** (individuell verschieden)

**V.) Vergleich:**

Rechnung für den Vorgang, dass sich Milch erwärmt:

Zu jedem Zeitpunkt wird der gewichtete Mittelwert (Verhältnis 5:1) aus den jeweils zueinander gehörenden Temperaturen aus c.) und d.) berechnet.

Rechnung für den Vorgang, dass man zuerst den Kaffee abkühlen lässt und dann die Milch direkt aus dem Kühlschrank kommend hinzu gibt:

Zu jedem Zeitpunkt wird der gewichtete Mittelwert (Verhältnis 5:1) aus der Temperatur in c.) (Kaffee) mit 10°C (Milch) berechnet.

Somit ergibt sich:

Der Kaffee, den man zuerst abkühlen lässt und dann mit der Milch aus

dem Kühlschrank vermischt, erreicht nach 3 Minuten (12\*15Sekunden) als erster die maximale Trinktemperatur.

1 Minute später kann man den Kaffee trinken, bei dem man die Milch zu Beginn aus dem Kühlschrank geholt hat, aber separat bis zum Vermischen stehen lässt.

Als letztes trinkbereit ist der direkt hergestellte Milchkaffee (nach über 6 Minuten).

Zeit	berechnete Mischung, Milch erwärmt sich	berechnete Mischung, Milch (10°C) aus Kühlschrank	Milchkaffee
0	69,73	69,17	71,8
1	67,13	66,42	71,2
2	65,83	65	70,7
3	64,9	64	69,9
4	64,3	63,33	69,3
5	63,75	62,75	68,3
6	63,3	62,25	68,2
7	63,08	62	67,3
8	62,6	61,5	66,6
9	62,3	61,17	66,2
10	61,9	60,75	65,7
11	61,75	60,58	65,4
12	61,18	60	64,9
13	60,87	59,67	64,6
14	60,63	59,42	64,1
15	60,15	58,92	63,9
16	60	58,75	63,4
17	59,92	58,67	63
18	59,02	57,75	62,5
19	58,7	57,42	62,1
20	58,37	57,08	61,8
21	58,13	56,83	61,4
22	57,82	56,5	61
23	57,48	56,17	60,7
24	57,33	56	60,5
25	57,08	55,75	60,2
26	56,43	55,08	59,9

## Milchkaffee - Milch & Kaffee: Beispiellösungen

### V.) Grafischer Überblick

