

VOR DEM SPÜLSTEIN EIN GEDANKENEXPERIMENT ZUR PHYSIK IM ALLTAG

Der folgende Gedankengang entwickelte sich im Laufe der Zeit. Jedes Mal beim Ausspülen einer geleerten Milchflasche, wenn ich die milchtrübe Flüssigkeit in den Spülstein goss, streifte mich ein Gedanke:

Würde es für die Reinigung der Flasche einen Unterschied machen, wenn ich, statt die Flasche einmal mit einer bestimmten Menge klaren Wassers auszuspülen, die Flasche zweimal hintereinander, mit jeweils der halben Menge Wasser, spülen würde?

Vor allem faszinierte mich die Ahnung, dass diese Frage allein durch Nachdenken zu beantworten sein müsste. Durch Nachdenken und einige fundamentale Annahmen über das Verdünnen von Flüssigkeiten, jedoch ohne Messungen oder Berechnungen. Natürlich, es kam die Zeit da ich der Versuchung nicht mehr widerstehen konnte, diesem Gedanken entschlossen zu folgen (Die Gedanken führen uns wie ein Bergführer, das Denken ist nur die Arbeit des Nachsteigens).

Wer Freude an kleinen Gedankenabenteuern finden kann, der mag sich auf das Folgende einlassen ...

WIR DENKEN UNS EINEN VERSUCHSAUFBAU

Wir haben 2 gleiche Milchflaschen, deren Inhalt soeben ausgeleert wurde. Zum Reinigen einer Milchflasche haben wir jeweils 0,5 Liter sauberes Wasser zur Verfügung. Nun sollen zwei Methoden zur Reinigung der Flaschen verglichen werden.

Methode 1:

Der halbe Liter Wasser wird in die Milchflasche gegossen, die Flasche wird verschlossen, gründlich geschüttelt und dann geleert.

Methode 2:

Die Reinigung erfolgt, indem die Flasche 2 Mal mit jeweils einem viertel Liter Wasser gereinigt wird.

Bei unserem Versuchsaufbau mit $\frac{1}{2}$ Liter Wasser zur Reinigung einer Flasche wird die Spülflüssigkeit durch den enthaltenen Milchanteil immer eine sichtbare Trübung aufweisen. Die Trübung einer Spülflüssigkeit entspricht ihrem prozentualen Volumenanteil an Milch.

Der gedachte Ablauf des Experiments

Für das Gedankenexperiment spielt die Trübung der verschiedenen Spülflüssigkeiten eine entscheidende Rolle.

1. Die erste Flasche wird nach Methode 1 mit $\frac{1}{2}$ Liter sauberem Wasser gereinigt und der Inhalt der Flasche dann in ein Glasgefäß geschüttet.
Dies ergibt die **Spülflüssigkeit A**.
2. Die zweite Flasche wird entsprechend der Methode 2 das erste Mal mit $\frac{1}{4}$ Liter sauberem Wasser gereinigt und der Inhalt in ein eigenes Glasgefäß geschüttet.
Dies ergibt die **Spülflüssigkeit B1**.
3. Die zweite Flasche wird entsprechend der Methode 2 das zweite Mal mit $\frac{1}{4}$ Liter sauberem Wasser gereinigt und der Inhalt wieder in ein eigenes Glasgefäß geschüttet.
Dies ergibt die **Spülflüssigkeit B2**.
4. Nun kann die Trübung von A mit B2 und mit B2, sowie die Trübung von B1 mit B2 verglichen werden. Das Ergebnis wird notiert.

- Wir schütten die Spülflüssigkeiten B1 und B2 zusammen in ein Glasgefäß und erhalten somit die **Spülflüssigkeit B12**. Nun kann Spülflüssigkeit B12 mit Spülflüssigkeit A verglichen werden.
- Als Ergebnis unserer Vergleiche können wir die Trübheit der Spülflüssigkeiten in eine Rangordnung bringen. Selbstverständlich können dabei zwei oder mehrere Spülflüssigkeiten gleich trüb sein.

Idealisierte Testbedingungen

Der gedachte Ablauf des Experiments unterstellt einige idealisierte Bedingungen:

- Die beiden Milchflaschen sowie ihr Inhalt sind völlig identisch beschaffen.
- In jeder der beiden Flaschen verbleibt, nachdem sie geleert wurden, immer die gleiche Menge Restflüssigkeit. Die gilt unabhängig davon, welche Flüssigkeit (Milch oder Wasser oder ein Gemisch aus beidem) sich der Flasche befand und wie viel Flüssigkeit sich in der Flasche befand. Wenn wir von einer ‚geleerten‘ Flasche sprechen, dann meinen wir eine Flasche, in der sich nur noch eben diese Restmenge an Flüssigkeit befindet.
Das bedeutet: füllen wir eine bestimmte Menge Wasser in eine ‚geleerte‘ Flasche und gießen dann die Flasche aus, dann kommt aus der Flasche exakt die Menge an Flüssigkeit, die wir eingefüllt haben.
- Wird zur Reinigung in eine Flasche Wasser geschüttet, dann vermischen sich die in der Flasche befindliche Restflüssigkeit und das eingefüllte Wasser vollständig.
Das Flüssigkeitsgemisch, das sich bildet, wenn wir zur Reinigung Wasser in eine Flasche gießen, nennen wir ‚Spülflüssigkeit‘.
- Wir unterstellen, dass unterschiedliche Trübungen der Spülflüssigkeiten, soweit sie für unsere Überlegungen von Bedeutung sind, sich per Augenschein eindeutig unterscheiden und vergleichen lassen.

DAS GEDANKENEXPERIMENT

Wir stellen Behauptungen auf über die Rangfolge der Trübung von Spülflüssigkeiten und dem Zusammenhang von Trübung einer Spülflüssigkeit und dem Reinigungsgrad der zugehörigen Flasche.

Was wir unter besserer Reinigung verstehen:

Da jede Flasche zu Beginn des Experiments die gleiche Menge (Rest-)Milch enthält, ist zu einem bestimmten Zeitpunkt diejenige Flasche am besten gereinigt, die am wenigsten Milch enthält.

Behauptung 0: $T_{B1} > T_{B2}$

In Worten: **Trübung von B1 ist stärker als Trübung von B12**

Begründung: (wenn man der unmittelbaren Evidenz nicht traut):

- Würden aufeinander folgende Spülungen derselben Flasche (mit immer gleicher Menge frischen Wassers) nicht von Spülung zu Spülung heller, dann würde jede Spülung die selbe Menge Milch enthalten und damit dieselbe Menge Milch aus der Flasche entfernen. Eine unendliche Anzahl derartiger Spülungen würde eine unendliche Menge an Milch aus der Flasche holen.

Behauptung 1: $T_{B1} > T_{B12} > T_{B2}$

In Worten: **Trübung von B1 ist stärker als Trübung von B12 und Trübung von B12 ist stärker als Trübung von B2.**

Begründung:

- Nach Behauptung 1 gilt: $T_{B1} > T_{B2}$
- B1 mit starker Trübung und B2 mit schwacher Trübung haben gleiches Volumen und werden zu B12 zusammengeschüttet. Die Trübung des zusammen geschütteten Gemischs B12 muss genau zwischen den Trübungen der Teilflüssigkeiten liegen.
Die Zusammenschüttung B12 ist stärker getrübt als die schwach getrübt
Teilmengenflüssigkeit B2 und schwächer getrübt als die stark getrübt
Teilmengenflüssigkeit B1

Behauptung 2: **Hat man zwei unvermischte Spülflüssigkeiten des Experiments, dann zeigt die im Vergleich hellere Spülflüssigkeit den besseren Reinigungsgrad der zugehörigen Flasche an.**

(Für die Spülflüssigkeit B12 gilt diese Behauptung nicht; sie ist eine Vermischung von B1 und B2. B12 wurde zu keinem Zeitpunkt einer Flasche entnommen.)

Begründung:

- Je trüber die Spülflüssigkeit ist, desto mehr Milch pro Volumeneinheit enthält die Flüssigkeit.
- Da nach jeder Spülung dieselbe Menge an Spülflüssigkeit in der Flasche zurückbleibt, verbleibt umso mehr Milch in der Flasche, je trüber die entnommene Spülflüssigkeit ist.
- Je mehr Milch nach einer Spülung in der Flasche verbleibt, desto schlechter ist die Reinigung.

Behauptung 3: **Ist beim Vergleich der Spülflüssigkeiten A und B12 eine Flüssigkeit trüber, dann zeigt die trübere Spülflüssigkeit eine bessere Reinigung der zugehörigen Flasche an.**

Begründung:

- Da A und B12 das gleiche Volumen haben, gilt, dass die trübere Spülung mehr Milch enthält.
- Je mehr Milch die Spülung enthält, desto mehr Milch wurde der Flasche entnommen.
- Je mehr Milch der Flasche entnommen wurde, desto weniger Milch ist in der Flasche verblieben.

Ein Tisch, ein Pfeil, 4 Gläser

Stellen wir uns eine Tischplatte vor, auf der ein langer Pfeil aufgezeichnet ist. Der Pfeil dient dazu, mehrere Glasgefäße mit trüber Flüssigkeit in der Rangfolge zunehmender Trübheit auf dem Tisch anzuordnen, der Pfeil zeigt in die Richtung zunehmender Trübung. (Der Pfeil muss nicht skaliert sein und ist ohne Maßeinheit.)

Unsere **Behauptung 1** bringt alle Spülflüssigkeiten der Methode 2 in eine Rangfolge der Trübheit. Wir können demnach die Spülflüssigkeiten der Methode 2 in aufsteigender Rangfolge der Trübung neben dem Pfeil platzieren. In Pfeilrichtung platzieren wir: B1, B12, B2.

Die **Behauptungen 2 und 3** machen Aussagen über die Rangordnung der Flüssigkeit A zu den Flüssigkeiten B2 und B12, und zwar in Abhängigkeit davon, ob und wie sich die beiden Spülmethode in ihrer Reinigungswirkung unterscheiden.

Der Zusammenhang sei im folgenden Schema zusammengefasst:

| <u>Thesen über die Wirksamkeit der beiden Methoden</u> | <u>Behauptung 3</u> | <u>Behauptung 2</u> |
|--|---------------------|---------------------|
| T1: Methode 1 ist besser als Methode 2: | $T_A > T_{B12}$ | $T_A < T_{B2}$ |
| T2: Methode 1 und Methode 2 sind gleich gut: | $T_A = T_{B12}$ | $T_A = T_{B2}$ |
| T3: Methode 2 ist besser als Methode 1 | $T_A < T_{B12}$ | $T_A > T_{B2}$ |

Der Test

Zunächst platzieren wir auf einer Seite entlang des Pfeils die Gefäße der Flüssigkeiten B1, B12, B2 in der Reihenfolge ihrer Trübung.

Nun können wir für jede der drei Thesen versuchen, das Gefäß mit der Flüssigkeit A auf der anderen Seite des Pfeils so zu positionieren, wie es die von Behauptung 2 und Behauptung 3 ausgesagte Rangordnung vorschreibt.

Sehen wir nun zu, was herauskommt bei unserem Versuch, die Spülflüssigkeit A für jede der drei Thesen entlang des Pfeils korrekt zu positionieren.

Ein Gedankenexperiment zur Physik im Alltag

Thesen über die Wirksamkeit der beiden Methoden

- T1: Methode 1 ist besser als Methode 2:
 T2: Methode 1 und Methode 2 sind gleich gut:
 T3: Methode 2 ist besser als Methode 1

Behaupt.3

- $T_A > T_{B12}$
 $T_A = T_{B12}$
 $T_A < T_{B12}$

Behaupt.2

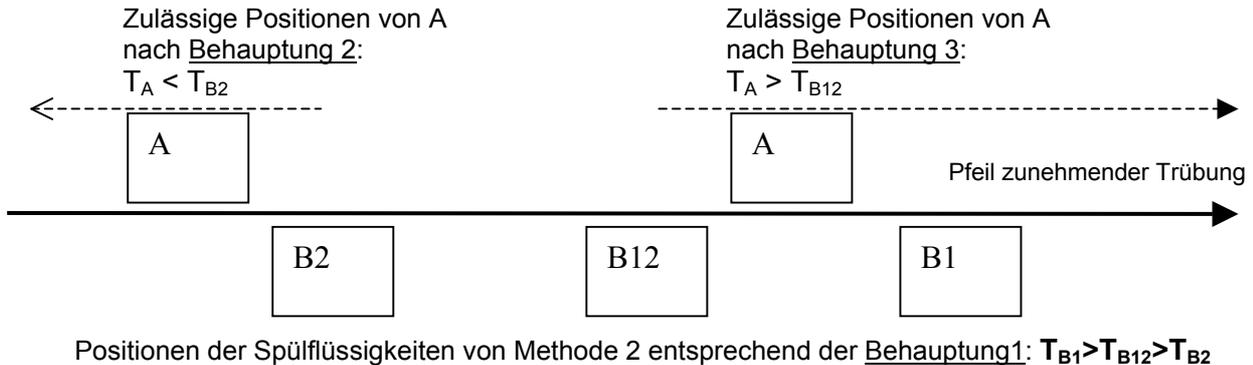
- $T_A < T_{B2}$
 $T_A = T_{B2}$
 $T_A > T_{B2}$

Behaupt.1

- $T_{B1} > T_{B12} > T_{B2}$
 $T_{B1} > T_{B12} > T_{B2}$
 $T_{B1} > T_{B12} > T_{B2}$

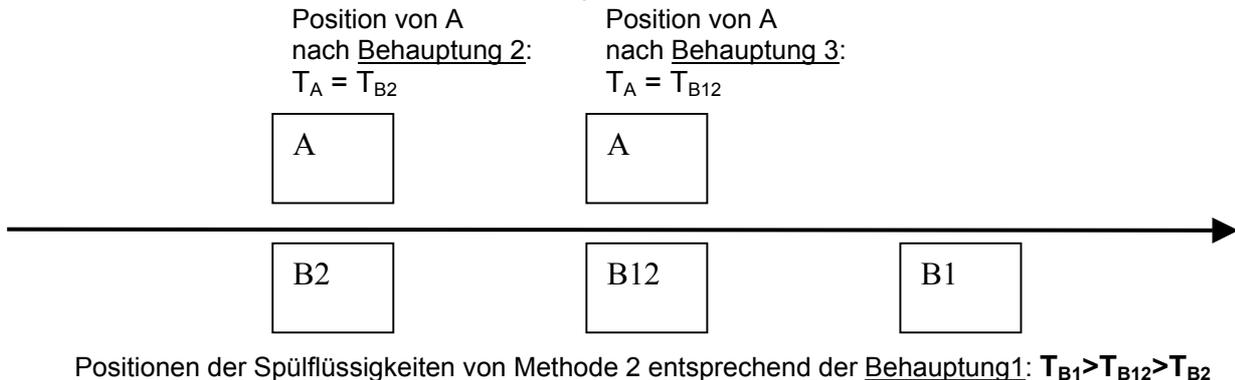
Prüfung von These 1

Die Position von A nach Behauptung 2 und die Position von A nach Behauptung 3 sind unvereinbar. These 1 führt zu einem Widerspruch und ist daher falsch.



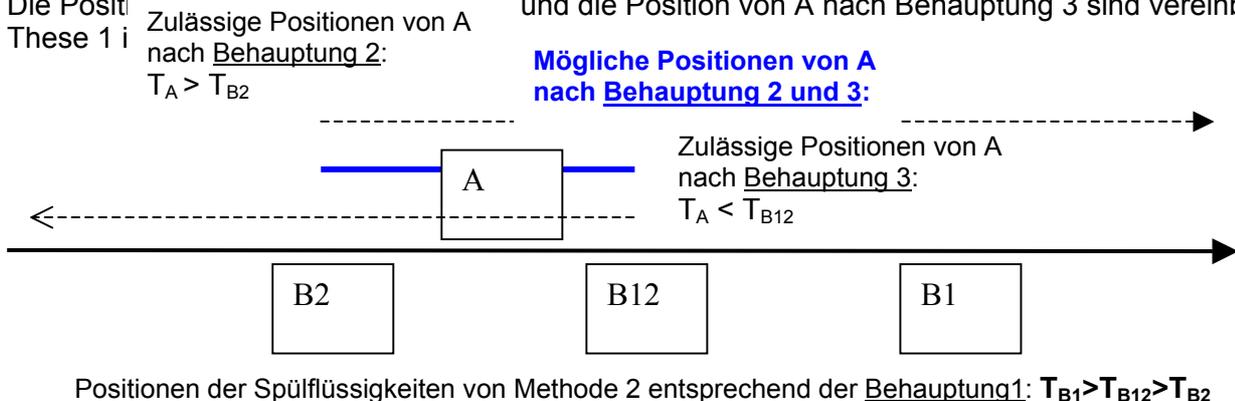
Prüfung von These 2

Die Position von A nach Behauptung 2 und die Position von A nach Behauptung 3 sind unvereinbar. These 2 führt zu einem Widerspruch und ist daher falsch.



Prüfung von These 3

Die Positionen von A nach Behauptung 2 und die Position von A nach Behauptung 3 sind vereinbar.



Ergebnis: Die Methode mit zwei Spülungen ist effektiver.