



# Heißwasserfontäne

Paula Reissinger (17 Jahre) – Ignaz-Günther-Gymnasium

Betreut durch: *Dr. Thomas Grillenbeck*

Jugend Forscht – Physik

Bayern 2020

## Abstract

If you fill a pipette partially with hot water, then seal it with your thumb at the top so that only the small opening at the bottom is open, and then turn it  $180^\circ$ , you get a fountain. In the process of rotation, a part of the water runs down the sides of the pipette. The surface, where the hot water and the air in the pipette have contact, increases. The air warms up faster and by its expansion it exerts a force on the water that is still above it. If this force is bigger than the force produced by the gravity of the water, the water is squeezed out of the pipette and a water fountain is formed.

In this thesis the phenomenon will be described and explained. It also aims to optimise the height of the fountain. Theoretical considerations have been proven by experiments.

An apparatus was also built and improved for the experiments. The height of the fountain depends on the following parameters:

- The diameter of the pipette, the upper as well as the lower one
- The difference of the temperature between air (room temperature) and water
- The filling level of the pipette with water
- The rotation speed

To study the effect of the parameters, a turning mechanism was built and used to vary individual parameters. The results are:

- The temperature is proportional to the height of the fountain.
- There is a perfect filling quantity, which turned out to be 30%.
- The upper diameter should be as small as possible, but it is to be expected that if the diameter is too small, the friction will be too heavy. There will also be an optimum value here.

Theoretically, it has been proven that:

- The rotational speed is negligible in most cases.
- The temperature is proportional to the altitude.
- An optimum value exists for the upper diameter.

## Kurzfassung

Wenn man eine Pipette teilweise mit heißem Wasser füllt, dann mit dem Daumen oben abdichtet, sodass nur die kleine Öffnung unten offen ist, und diese dann um  $180^\circ$  dreht, entsteht eine Fontäne. Im Prozess der Drehung rinnt ein Teil des Wassers an den Seiten der Pipette hinab. Die Kontaktfläche von dem heißem Wasser und der Luft in der Pipette vergrößert sich. So erwärmt sich die Luft schneller und sie übt durch ihre Ausdehnung eine Kraft auf das Wasser, das sich noch über ihr befindet, aus. Ist diese Kraft größer als die, die durch den Schweredruck des Wassers entsteht, so wird das Wasser aus der Pipette gedrückt und es entsteht eine Wassersäule, die bald in Tropfen zerfällt.

In dieser Arbeit wird das Phänomen erläutert, beschrieben und erklärt.

Außerdem verfolgt sie das Ziel, die Höhe der Fontäne zu optimieren. Dafür wurden theoretische Überlegungen mit Experimenten belegt.

Für die Experimente wurde außerdem eine Apparatur gebaut und verbessert.

In den Experimenten wurde jeweils ein Parameter verändert: die Wassertemperatur, die Füllmenge an Wasser in der Pipette und der Durchmesser der Düse.

Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Die Temperatur verläuft proportional zur Höhe der Fontäne.
- Es gibt eine perfekte Füllmenge. Diese hat sich bei mir bei 30 % eingestellt.
- Der obere Durchmesser sollte möglichst klein sein, es ist aber zu erwarten, dass bei einem zu kleinen Durchmesser die Reibung zu groß wird und es auch hier einen optimalen Wert gibt.

## Inhalt

1. Einleitung .....	5
2. Vorgehensweise, Materialien und Methode .....	5
2.1. Meine Vorgehensweise .....	5
2.2. Mein Versuchsaufbau .....	6
3. Grundlagen .....	8
3.1. Das ideale Gasgesetz .....	8
3.2. Das Kontinuitätsgesetz inkompressibler Fluide .....	8
4. Ergebnisse .....	9
4.1. Die Ergebnisse der Vorversuche .....	10
4.2. Grundlegende Erklärung des Phänomens .....	10
4.3. Die Erklärung der Ergebnisse der Experimente .....	11
4.3.1. Der Einfluss der Drehgeschwindigkeit .....	11
4.3.2. Der Einfluss der Wassertemperatur .....	11
4.3.3. Der Einfluss der Füllmenge .....	13
4.3.4. Die Auswirkung des Durchmessers der Pipette .....	14
4.3.5. Zusammenfassung der Experimentreihen .....	16
5. Ergebnisdiskussion .....	16
6. Zusammenfassung .....	17
7. Quellen- und Literaturverzeichnis .....	18
8. Abbildungsverzeichnis .....	18
9. Danksagung .....	19

## **1. Einleitung**

Die Heißwasserfontäne war 2016 Thema beim GYPT. Im Rahmen dieses Wettbewerbs habe ich das Phänomen erstmals untersucht, kennengelernt und erste Versuche und theoretische Überlegungen angestellt. 2019 griff ich das Thema wieder auf und trat erstmals damit bei Jugend forscht an. Seitdem habe ich mit den Kritiken der Juroren weitergearbeitet. Die Heißwasserfontäne entsteht, wenn man eine Pipette mit heißem Wasser füllt, diese abdichtet und dann in einer schnellen Bewegung umdreht. Durch den Druck, der durch die sich ausdehnende Luft entsteht, wird das Wasser aus der Pipette gedrückt und es entsteht die Fontäne. Dieses Phänomen war bzw. ist nahezu unerforscht, weswegen mir die Arbeit daran umso mehr Spaß gemacht hat.

## **2. Vorgehensweise, Materialien und Methode**

### **2.1. Meine Vorgehensweise**

Um mir einen Überblick zu verschaffen, habe ich damit begonnen, einige Vorversuche anzustellen und bin mir dabei über die verschiedenen Parameter bewusst geworden. In diesem Schritt begannen natürlich auch die ersten theoretischen Überlegungen. So stellte ich fest, welche Anforderungen meine Apparatur für die Versuche erfüllen muss. Diese wird nachfolgend noch beschrieben.

Nachdem ich die Apparatur gebaut hatte, begann ich mit den Versuchsreihen. Dabei war mir wichtig, dass jeder Versuch mindestens 10-mal durchgeführt wurde, um eine hohe Vergleichbarkeit zu erzielen. Es war extrem schwierig, alle Parameter konstant zu halten, weswegen ich die Apparatur auch noch abwandelte.

Um die Experimente auszuwerten, habe ich ein Trackprogramm auf meinem Computer verwendet. Hierfür habe ich die Experimente gefilmt, sie in das Programm hochgeladen und anschließend mithilfe von Kalibrierungsmaßstab und Kalibrierungsmaßband die Höhe der Fontäne ermittelt.

Mit den Versuchsreihen konnte ich meine Vermutungen beweisen. Teilweise werden sie auch mit Rechnungen belegt. Um Diagramme zu erstellen und einen Überblick über die Experimente zu haben nutzte ich Excel.

Die Versuche führte ich mit Hilfe meines Vaters in unserem Keller durch. Dieser unterstützte mich auch beim Bau der Apparatur mit seinen handwerklichen Fähigkeiten und beim Durchführen der Experimente durch die Bedienung der Kamera.

## 2.2. Mein Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau hat mir geholfen, die Parameter, die in einem Experiment nicht betrachtet wurden, bei einem möglichst konstanten Wert zu halten.

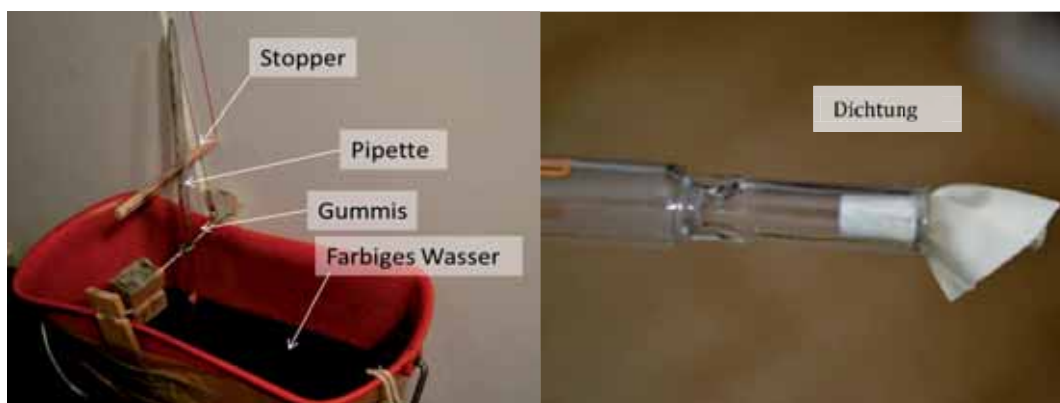


Abbildung 1: Die erste Apparatur

Das essentiellste an der Apparatur ist der Drehmechanismus, der aus Haushaltsgummis und einem Stopper besteht. Durch die immer gleiche Anzahl der Verdrehungen wurde ein konstanter Drehimpuls erzeugt. Auch sehr wichtig ist die Dichtung der Pipette. Um ein optimales Ergebnis zu erzielen, muss diese äußerst gut schließen. Deswegen habe ich im Laufe der Vorversuche viele verschiedene Möglichkeiten ausgetestet. Am besten funktionierte diese Dichtung aus einem passgenauen Rundholz und einem Latex-Überzug.

Im Laufe der Versuche habe ich einige Mängel an dem Versuchsaufbau festgestellt, vor allem die Schwierigkeit, die Temperatur konstant zu halten. Ich hatte die Temperatur mit einem Thermometer kontrolliert. Das war mir zu ungenau. Deswegen habe ich eine zweite Apparatur entwickelt.



Abbildung 2: Die zweite Apparatur

Bei dieser Apparatur verwendete ich statt dem Plastikeimer einen Topf mit einer Heizplatte, um die Temperatur besser konstant halten zu können. Durch das Warmhalten des Wassers konnte ich auch mehrere Durchläufe hintereinander machen.



Abbildung 3: Der gesamte Versuchsaufbau

Bei beiden Apparaturen war aber eine dunkle Färbung des Wassers notwendig, um das Wasser auf den Videos besser erkennen zu können.

Um den Füllstand der Pipette zu variieren, habe ich einfach den Füllstand des Beckens verändert. Die Pipette ließ ich immer so lange im Wasser, bis sie sich bis zum Wasserstand des Beckens mit Wasser aufgefüllt hatte.

Um das Trackprogramm nutzen zu können, brauchte ich eine Linie mit einem festgelegten Maß, um diese in Relation mit der Fontäne setzen zu können. Wichtig war auch die immer gleiche Position der Kamera, damit

die Perspektive, aus der der Durchlauf gefilmt wurde, immer gleich war. Eine veränderte Perspektive hätte die gemessene Höhe verfälscht.

## 3. Grundlagen

### 3.1. Das ideale Gasgesetz

Als ideal bezeichnet man Gase, die

- modellweise als starre Kugeln betrachtet werden können, also nicht verformbar sind.
- durch Zusammenstöße keine Energie verlieren, also vollkommen elastisch sind.
- keine Wechselwirkungen miteinander entwickeln, also elektrisch absolut neutral sind.
- sich in einem Raum befinden, indem sie sich unendlich weit ausdehnen können, der also unendlich groß ist.
- im Verhältnis zu ihrem Abstand einen sehr kleinen Durchmesser haben. <sup>1</sup>

Gase, die sich annähernd ideal verhalten, sind zum Beispiel Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff. <sup>2</sup> Da die Luft ja zu 99% aus diesen Gasen besteht, lässt sie sich auch annähernd als ideal beschreiben.

Für ideale Gase, also auch für Luft, gilt:

$$pV = nRT$$

$V$  ist das Volumen der Luft,  $p$  der Luftdruck,  $T$  die Temperatur und  $n$  die Teilchenanzahl.

$R$  ist die allgemeine Gaskonstante und beträgt den Wert  $8,314472 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .<sup>3</sup> Diese lässt sich auch durch die spezifische Gaskonstante  $R_s$  ersetzen, die sich speziell auf einzelne Gase bezieht und folgendermaßen definiert ist:

$$R_s = \frac{R}{M} \quad M \text{ ist die molare Masse. Für die Luft beträgt dieser Wert } 287,05 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

Verwendet man die spezifische Gaskonstante  $R_s$ , muss man allerdings auch die Formel anpassen, indem man auch die linke Seite durch  $M$  teilt:

---

<sup>1</sup> Yvonne Kristen: Die Gasgesetze; ideale Gase

<sup>2</sup> Yvonne Kristen: Die Gasgesetze; reale Gase

<sup>3</sup> Yvonne Kristen: Die Gasgesetze; Gasgleichung für ein ideales Gas



$$\frac{pV}{M} = nR_sT$$

$$pV = nMR_sT$$

Da  $m = nM$ , wobei  $m$  die Masse der Luft ist, gilt:

$$pV = mR_sT \quad 4$$

Teilt man diese Gleichung durch  $V$ , bekommt man folgende Gleichung:

$$p = \frac{m}{V}R_sT = \rho R_sT$$

$\rho$  ist die Dichte der Luft.

## 3.2. Das Kontinuitätsgesetz inkompressibler Fluide

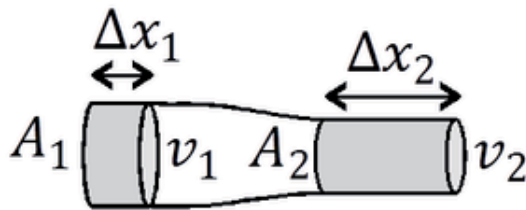


Abbildung 4: Verdeutlichung des Kontinuitätsgesetzes

Das Kontinuitätsgesetz inkompressibler Fluide besagt, dass bei einer Verengung der Querschnittsfläche  $A$  eines Rohres das Volumen, das pro Zeit transportiert wird, gleich bleibt. Da die Grundfläche  $A$  kleiner wird, muss der zurückgelegte Weg größer werden. Folglich wird die Geschwindigkeit  $v$  auch größer.

Dieses Phänomen lässt sich mit der folgenden Gleichung beschreiben:

$$V_1 = A_1\Delta x_1 \quad V_2 = A_2\Delta x_2$$

Da  $V_1 = V_2$  ist  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{x_2}{x_1}$ .

Erweitert man  $\frac{x_2}{x_1}$  mit  $\frac{1}{t}$ , bekommt man:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad 5$$

<sup>4</sup> Thermische Zustandsgleichung idealer Gase [4]

<sup>5</sup> Kontinuitätsgesetz [5]

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Die Ergebnisse der Vorversuche

Die Vorversuche dienten dazu, ein grundlegendes Verständnis für das Problem zu bekommen. Hierfür habe ich das Phänomen ausprobiert und mögliche Parameter verändert. So haben sich folgende Parameter als wichtig erwiesen:

- Der Durchmesser der Pipette, sowohl der obere, als auch der untere
- Der Temperaturunterschied zwischen Luft (Raumtemperatur) und Wasser
- Der Füllstand der Pipette mit Wasser
- Die Drehgeschwindigkeit

### 4.2. Grundlegende Erklärung des Phänomens

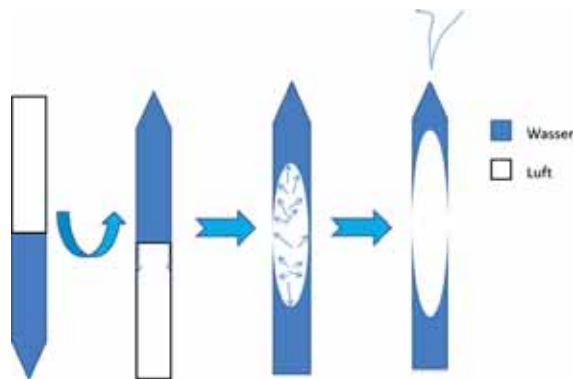


Abbildung 5: Verdeutlichung der grundlegenden Erklärung

Um die Fontäne zu erzeugen, wird eine Pipette teilweise mit Wasser gefüllt, abgedichtet und um 180 °C gedreht, sodass die Spitze der Pipette nach oben zeigt. Im Prozess der Drehung rinnt ein Teil des Wassers an den Seiten der Pipette hinab. Durch diesen Prozess vergrößert sich die Kontaktfläche

von Wasser und Luft, wodurch die Luft sich schneller erwärmt als zuvor. Durch die Erwärmung dehnt die Luft sich aus. Der Druck übt jetzt eine Kraft auf den Teil des Wassers aus, der sich noch über der Luft befindet. Ist diese Kraft größer als die, die durch den Schweredruck des Wassers entsteht, so wird das Wasser aus der Pipette gedrückt und es entsteht eine Wassersäule, die bald in Tropfen zerfällt.

## 4.3. Die Erklärung der Ergebnisse der Experimente

### 4.3.1. Der Einfluss der Drehgeschwindigkeit

Die Drehgeschwindigkeit kann auf zwei Arten Einfluss auf das Experiment nehmen, einerseits durch eine zu langsame und andererseits durch eine zu schnelle Drehung.

Eine zu langsame Drehung ist problematisch, weil hier das ganze Wasser hinab rinnen kann und so die Luftsäule nicht unter der Wassersäule ist, was zum Scheitern des Experiments führen würde. Das geschieht aber nur bei einer sehr langsamen Drehung und wird in meinen Experimenten durch den Drehmechanismus, der in einer immer gleichen und hohen Geschwindigkeit dreht, verhindert.

Eine zu hohe Geschwindigkeit beim Drehen kann die Ergebnisse verfälschen. Das passiert durch die Zentripetalkraft, die im Extremfall das Wasser auch ohne den thermodynamischen Effekt herausdrücken würde. Die Drehgeschwindigkeit  $v$ , die für diesen Extremfall benötigt würde, kann mit  $F_Z \geq F_G$  berechnet werden: <sup>6</sup>

$$m \frac{v^2}{r} \geq mg$$

$$v \geq \sqrt{rg} = \sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,2\text{m}} \approx 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Damit dies das Experiment verfälschen würde, müsste die Pipette also in weniger als 0,14 s gedreht werden. Das passiert mit meiner Apparatur nicht.

### 4.3.2. Der Einfluss der Wassertemperatur

Wie schon festgestellt hat die Wassertemperatur bzw. die Differenz zwischen Wasser und Lufttemperatur einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Wasserfontäne.

Für die Höhe der Fontäne  $h$  gilt:

$$h(t) = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\Leftrightarrow v(t) = v_0 - \frac{1}{2} g t$$

---

<sup>6</sup> Carina Kanitz: Physikalische Analyse einer Wasserfontäne

Am höchsten Punkt ist  $v(t)=0$ , also gilt für  $t$ :

$$t_{max} = \frac{v_0}{g}$$

Für die maximale Höhe  $h_{max}$  gilt also:

$$h_{max} = \frac{v_0}{g} - \frac{1}{2} g \cdot \frac{v_0^2}{g^2} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Mit  $v_0 = at$   $a = \frac{F}{m}$   $F = \Delta p A$  und  $\Delta p = \rho R_s \cdot \Delta T$

$$h_{max} = \frac{\rho^2 R_s^2 A^2 t^2 \cdot \Delta T^2}{2gm^2}$$

Die Strecke  $x$ , auf der beschleunigt wird, bleibt in der Pipette immer gleich, deswegen kann  $t$  folgendermaßen berechnet werden:

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$$

$$t^2 = \frac{2x}{a} = \frac{2x}{\frac{\rho R_s A \Delta T}{m}}$$

$$h_{max} = \frac{\rho R_s A \cdot 2x}{2gm} \cdot \Delta T$$

$h_{max}$  ist direkt proportional zu  $\Delta T$

Um Aspekte von Reibung zu berücksichtigen, muss noch eine Konstante  $k$  hinzugefügt werden:

$$h_{max} = \frac{\rho R_s A \cdot 2x}{2gm} \cdot \Delta T \cdot k$$

$k$  müsste experimentell bestimmt werden.

Dafür waren meine Messwerte aber leider zu ungenau.

Dieser Zusammenhang zwischen Temperatur des Wassers und Höhe der Fontäne wurde auch durch eine Experimentenreihe belegt. Hierbei habe ich bei einer konstanten Füllmenge von 30% Wasseranteil die Temperatur verändert.

---

<sup>7</sup> Carina Kanitz: Physikalische Analyse einer Wasserfontäne

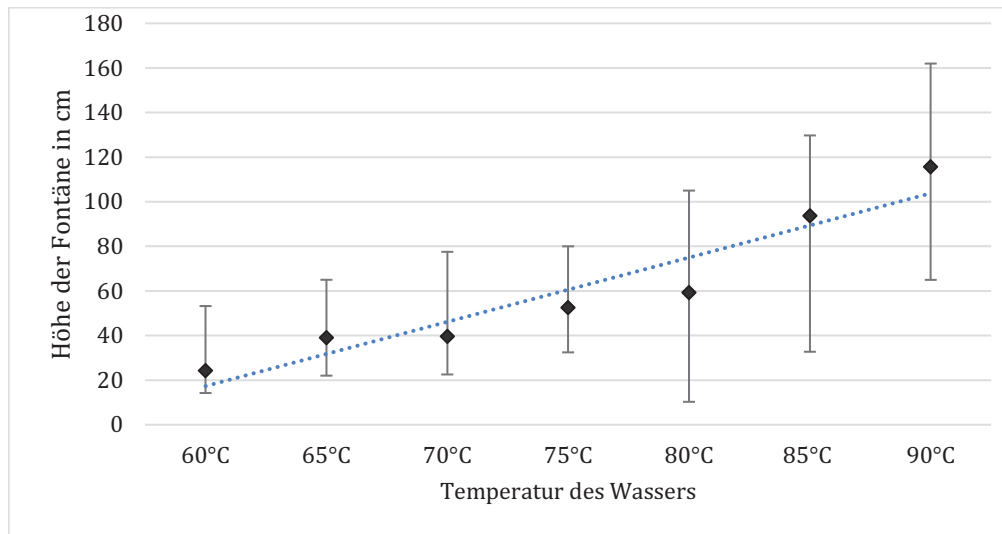


Abbildung 6: Diagramm Höhe Temperatur

Wie man an der Ausgleichsgerade erkennen kann, wurde die Hypothese durch die Experimente bewiesen.

### 4.3.3. Der Einfluss der Füllmenge

Die Vorversuche haben gezeigt, dass auch die Füllmenge an Wasser eine große Auswirkung auf die Höhe der Fontäne hat. Es fiel auf, dass es ein optimales Verhältnis zwischen Luft und Wasser geben muss. Das wurde folgendermaßen erklärt: Wenn in der Pipette zu wenig Wasser ist, rinnt das ganze Wasser hinunter, bevor die Luft sich stark genug ausgedehnt hat, um das Wasser herausspritzen zu lassen. Wenn zu wenig Luft da ist, kann diese nicht so viel Druck erzeugen, um das noch in größeren Mengen vorhandene Wasser hinauszudrücken.

Diese These wurde auch durch eine Experimentenreihe belegt:

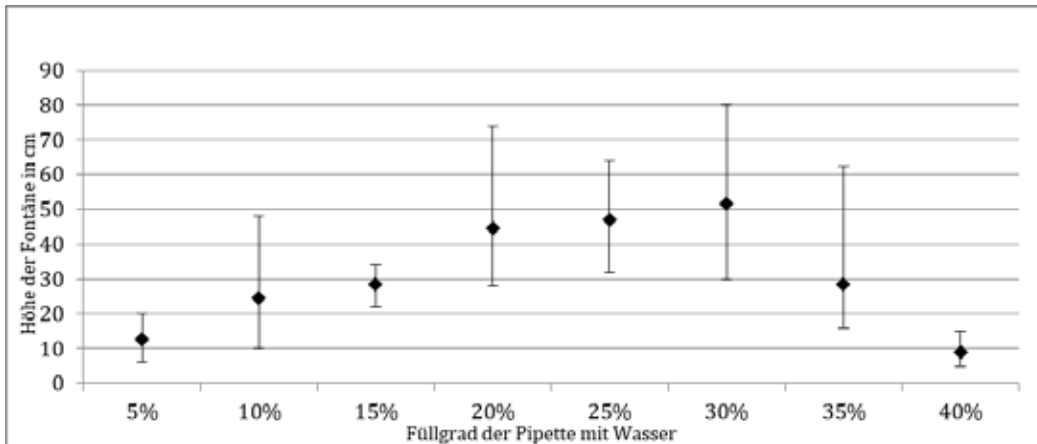


Abbildung 7: Diagramm Höhe Wassermenge

Bei einer konstanten Wassertemperatur von 70 °C hat sich das erwartete Maximum bei einer Füllmenge von 30% eingestellt.

#### 4.3.4. Die Auswirkung des Durchmessers der Pipette

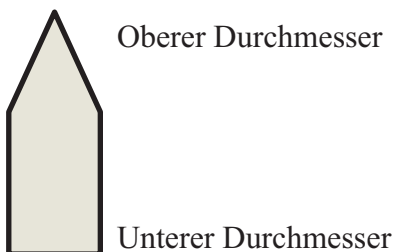


Abbildung 8: Verdeutlichung Durchmesserdefinition

Der Durchmesser der Pipette hat genau wie Wassertemperatur und Füllmenge einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Fontäne. Hierbei ist zwischen dem oberen und unteren Durchmesser zu unterscheiden.

Der untere Durchmesser hat auch einen Einfluss auf die Höhe der Fontäne, wird aber in dieser Arbeit nicht behandelt.

Der obere Durchmesser hat auch einen erheblichen Einfluss. Carina Kanitz beschreibt das folgendermaßen: „Nach dem Kontinuitätsgesetz für inkompressible Fluide gilt für die Geschwindigkeit  $v_2$  nach der Verengung

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2}$$

$A_1$  und  $A_2$  beschreiben die Querschnittsflächen der Rohre vor bzw. nach der Verengung.

Nach diesem Zusammenhang wäre es ideal, wenn der Rohrdurchmesser nach der Verengung möglichst klein wäre.“ (Physikalische Analyse einer Wasserfontäne; S.8)

Sie sagt aber auch: „Dem gegenüber stehen die Geschwindigkeitsverluste durch Reibung. In die Rohrreibungszahl geht der Rohrdurchmesser mit der Potenz 3 ein. Somit gibt es ein für den Aufbau spezifisches optimales Verhältnis zwischen oberen und unteren Rohrdurchmesser der Pipette, bei dem die Geschwindigkeit maximal ist.“ (Physikalische Analyse einer Wasserfontäne; S.8)

Um den oberen Durchmesser zu variieren, wurden zwei Pipetten mit dem Durchmesser 1mm abgeschliffen, sodass eine 1,5 mm und die andere 2mm Durchmesser hat.

Mit diesen Pipetten wurde das Experiment bei 70 °C Wassertemperatur und einer Füllmenge von 30% durchgeführt.

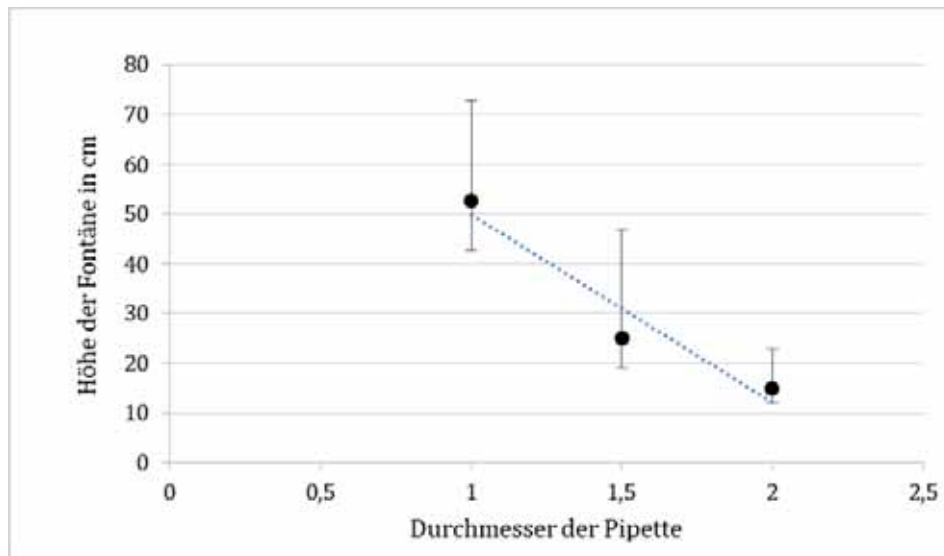


Abbildung 9: Diagramm Höhe Durchmesser

Wie man sieht bestätigt sich die erste Vermutung. Es ist aber zu erwarten, dass sich bei einem Durchmesser, der kleiner ist als 1 mm, aus schon geschilderten Gründen eine Verkleinerung der Höhe einstellt.

## 4.3.5. Zusammenfassung der Experimentreihen

Die Fontäne ist am höchsten, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft so groß wie möglich ist, die Füllmenge den perfekten Wert erreicht, der sich bei mir bei 30% eingestellt hat, und wenn die Pipette den optimalen oberen Durchmesser hat.

## 5. Ergebnisdiskussion

Es ist mir gelungen, das Phänomen in seinen Kernpunkten zu erfassen und zu erklären. Die Theorie wurde durch meine Experimente bestätigt und ich konnte die Höhe der Fontäne optimieren.

Allerdings war es mir nicht möglich, den Einfluss der Wassermenge theoretisch akkurat zu belegen. Auch waren meine Fehlerbalken sehr groß. Folgende Gründe sind wahrscheinlich Auslöser dafür:

- Es ist extrem schwer, die Temperatur des Wassers konstant zu halten, noch schwerer ist es allerdings auch, die Lufttemperatur in der Pipette konstant zu halten, da sowohl die Pipette, als auch die Luft vom heißen Wasser erwärmt wurden. Ich habe zwar versucht, mit einer schon angewärmten Pipette den Fehler zu klein wie möglich zu halten, dies ist mir aber nicht so gut gelungen, auch weil es mir nicht möglich war, die Temperatur in der Pipette zu messen.
- Auch beim Auswerten mit dem Track-Programm können mir Fehler unterlaufen sein, weil ich immer den höchsten Punkt der Fontäne gemessen habe. Manchmal jedoch waren die Wassertropfen so klein, dass sie in dem Film nicht so gut zu erkennen waren. So können Ungenauigkeiten zustande gekommen sein.

Aufgrund dieses Fehlers war es mir auch nicht möglich,  $k$  näherungsweise zu bestimmen.



## 6. Zusammenfassung

Wird eine abgedichtete Pipette, die zum Teil mit Wasser gefüllt ist, um  $180^\circ$  gedreht, sodass die offene Pipettenspitze nach oben zeigt, entsteht durch die sich ausdehnende Luft eine Fontäne. Die Höhe dieser Fontäne hängt von folgenden Parametern ab:

- Dem Durchmesser der Pipette, sowohl der obere, als auch der untere
- Dem Temperaturunterschied zwischen Luft (Raumtemperatur) und Wasser
- Dem Füllstand der Pipette mit Wasser
- Der Drehgeschwindigkeit

Um die Auswirkung der Parameter zu untersuchen, wurde ein Drehmechanismus gebaut und verwendet, um einzelne Parameter zu variieren. So wurde herausgefunden, dass:

- Die Temperatur proportional zur Höhe der Fontäne verläuft.
- Es eine perfekte Füllmenge gibt, die sich bei mir bei 30 % eingestellt hat.
- Der obere Durchmesser möglichst klein sein sollte, es aber zu erwarten ist, dass bei einem zu kleinen Durchmesser die Reibung zu groß wird und es auch hier einen optimalen Wert gibt.

Theoretisch wurde belegt, dass:

- Die Drehgeschwindigkeit im Gros der Fälle vernachlässigbar ist.
- Die Temperatur proportional zur Höhe verläuft.
- Für den oberen Durchmesser ein optimaler Wert existiert.

## 7. Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] Yvonne Kristen: Die Gasgesetze; ideale Gase  
[https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website\\_uni\\_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/IDEAL1.HTM](https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/IDEAL1.HTM) aufgerufen am 30.10.19
- [2] Yvonne Kristen: Die Gasgesetze; reale Gase [https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website\\_uni\\_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/REAL1.HTM](https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/REAL1.HTM) aufgerufen am 30.10.19
- [3] Yvonne Kristen: Die Gasgesetze; Gasgleichung für ein ideales Gas  
[https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website\\_uni\\_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/IDEAL.HTM](https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/IDEAL.HTM) aufgerufen am 30.10.19
- [4] [https://www.chemie.de/lexikon/Thermische\\_Zustandsgleichung\\_idealer\\_Gase.html](https://www.chemie.de/lexikon/Thermische_Zustandsgleichung_idealer_Gase.html) aufgerufen am 30.10.19
- [5] <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kontinuit%C3%A4tsgesetz> aufgerufen am 29.10.19
- [6] Carina Kanitz: Physikalische Analyse einer Wasserfontäne

## 8. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Die erste Apparatur
- Abbildung 2: Die zweite Apparatur
- Abbildung 3: Der gesamte Versuchsaufbau
- Abbildung 4: Verdeutlichung des Kontinuitätsgesetzes [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4b/FlowRate\\_gv52.png/300px-FlowRate\\_gv52.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4b/FlowRate_gv52.png/300px-FlowRate_gv52.png) aufgerufen am 29.10.19
- Abbildung 5: Verdeutlichung der grundlegenden Erklärung
- Abbildung 6: Diagramm Höhe Temperatur
- Abbildung 7: Diagramm Höhe Wassermenge
- Abbildung 8: Verdeutlichung Durchmesserdefinition
- Abbildung 9: Diagramm Höhe Durchmesser
- Alle Abbildungen außer Abbildung 4 sind eigene Werke.

## 9. Danksagung

Ich danke meinem Projektbetreuer Herrn Dr. Thomas Grillenbeck für seine Unterstützung und die guten Denkanstöße. Auch möchte ich meinem Vater für seine Unterstützung beim Vorbereiten und Durchführen der Experimente bedanken. Ich danke Carina Kanitz für die Bereitstellung ihrer Arbeit als Quelle und Inspiration und ich danke der Jury vom Regionalwettbewerb Rosenheim 2019 von Jugend Forscht für die anregenden und inspirierenden Gespräche. Danke auch meiner Mutter Doris Reissinger fürs Korrekturlesen.