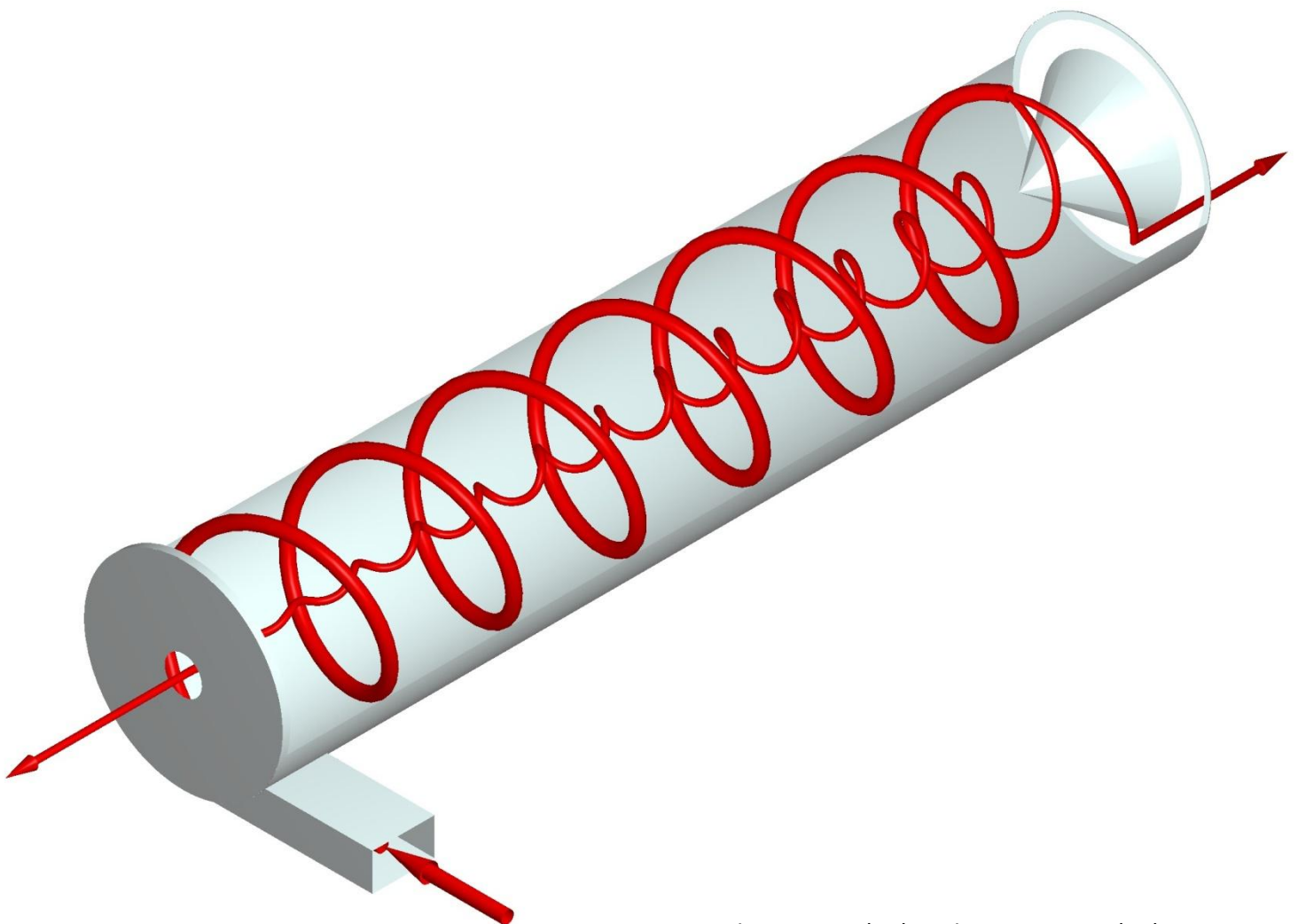


2015

UNTERSUCHUNG DES THERMISCHEN SEPARATIONSEFFEKTES BEI EINEM WIRBELROHR



Lukas Amann(17) und Simon Haase(17)

Christian-Gymnasium Hermannsburg

Betreuer: STD Thomas Biedermann

Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Grundlagen.....	3
2.1 Der Thermische Separationseffekt.....	3
2.2 Joule-Thompson Effekt.....	3
3. Versuchsaufbauten	4
4. Eigene Ergebnisse.....	6
4.1. Versuch: Kegel C; Loch 4mm	6
4.2. Versuch: Kegel B; Loch 4mm	6
4.3. Versuch: Kegel B; Loch 2mm	7
4.4. Versuch: Kegel A; Loch 4mm	7
4.5. Versuch: Kegel A; Loch 2mm.....	8
4.6. Versuch: Langzeitmessungen	8
4.7. Versuch: Änderung der Ringgröße	9
4.8. Zusammenfassung der Ergebnisse	10
5. Andere Messungen	10
6. Fehlerbetrachtung.....	11
7. Fazit	11
8. Ausblick	12
9. Danksagung.....	12
10. Quellen	12
11. Abbildungen	13

1. Einleitung

Der thermische Separationseffekt in einem Wirbelrohr ist schon seit einiger Zeit bekannt, doch die Ursachen sind weitgehend unerforscht. Wir haben den Versuchsaufbau nachgebaut und eigene Messreihen aufgenommen. Da wir anfangs nur wenige Informationen zur Verfügung hatten, näherten wir uns unserer Problemstellung praktisch an und bauten verschiedene Wirbelrohre. Durch den Kontakt zur technischen Universität Berlin und zur Universität Saarland haben wir weitere Informationen erlangen können und so unseren Aufbau verbessert sowie unser Hintergrundwissen erweitert.

2. Grundlagen

2.1 Der Thermische Separationseffekt

Im Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch entstehen durch Verwirbelungen im Inneren zwei verschiedene Luftströme mit unterschiedlicher Temperatur. Diese werden durch zwei Ausgänge aus dem Rohr geleitet. Die Luft wird in das Rohr tangential eingespeist. Dort strömt sie an der Innenwand des

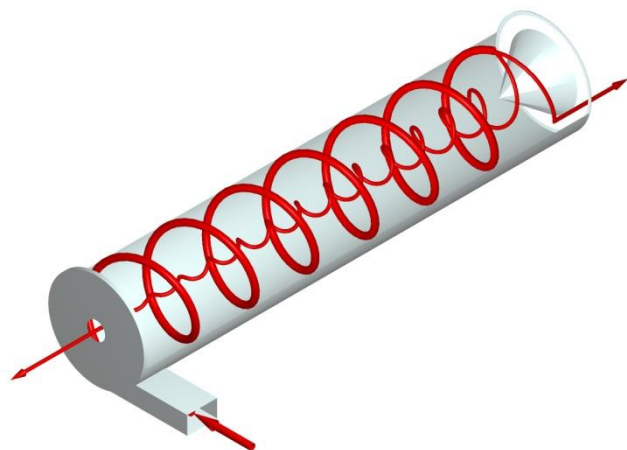


Abb. 1: Funktionsschema

Rohres entlang, ehe sie auf den Kegel trifft. Dort kommt es zu einer Verwirbelung und es entsteht ein weiterer Luftstrom. Die Luft strömt in die entgegengesetzte Richtung in der Mitte des Rohres und gibt dabei Wärme ab. Diese kalte Luft tritt dann am anderen Ende des Rohres durch ein Loch aus.

2.2 Joule-Thompson Effekt

Der Joule-Thompson Effekt tritt auf, wenn Gase sich ausdehnen oder komprimiert werden. In unserem Versuch ist dieser Effekt nicht zu vernachlässigen, da komprimierte Luft aus dem Kompressor kommt und in das Wirbelrohrrohr geleitet wird. Hierbei findet eine Expansion

statt, sodass sich die Luft abkühlt. Wir können aufgrund der Beschaffenheit des Rohres keine Berechnungen dazu anstellen, welche Temperaturdifferenz durch den Effekt erreicht wird.

3. Versuchsaufbauten

Im Laufe der Zeit haben wir verschiedene Aufbauten entwickelt, die sich vom Prinzip nicht unterscheiden, jedoch andere Dimensionen haben. Grundsätzlich besteht ein Wirbelrohr aus einem Hauptrohr,

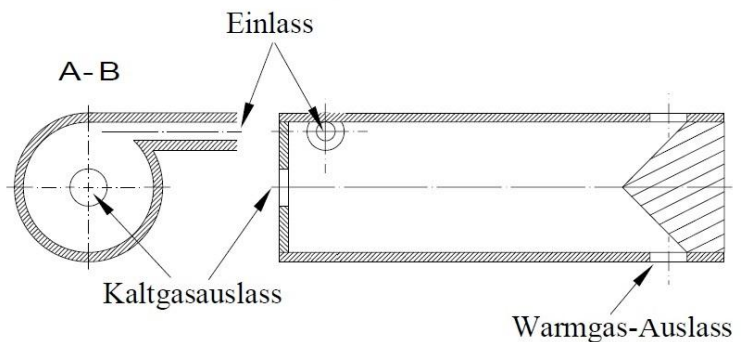


Abb. 2: Versuchsaufbau

an das ein kleineres Rohr tangential angeführt wird. Durch dieses wird mit einem Kompressor Druckluft eingespeist. Die Enden des Hauptrohres haben verschiedene Gasauslässe. Auf der einen Seite ist eine zentrische runde Öffnung. Hierbei handelt es sich um den Kaltluftauslass. Am anderen Ende ist eine ringförmige Öffnung, aus der die warme Luft ausströmt.

Zunächst begannen wir mit einem Kunststoffrohr mit einem Durchmesser von 36 mm. Der Kaltgasauslass besteht aus einem Klebeband mit einem Loch darin. Auf der anderen Seite haben wir einen Pappkegel eingeführt, sodass eine ringförmige Öffnung entstand. Hierbei konnten wir keine Temperaturdifferenz feststellen. Nach unserem bisherigen Kenntnisstand lässt sich das durch eine zu geringe Durchflussmenge im Rohr erklären.

Im Folgenden verkleinerten wir deshalb den Aufbau. Wir nutzten ein kleineres Kunststoffrohr mit einem Innendurchmesser von 8mm. Das Verhältnis der Proportionen haben wir nahezu beibehalten. An diesem Aufbau ließ sich ein



Abb. 3: Erster Versuch

minimaler Temperaturunterschied messen, der sich jedoch auf unter zwei Kelvin belief. Auch das in der Literatur angegebene Pfeifen war zu hören. Allerdings mussten wir feststellen, dass Klebeband und Pappe keine geeigneten

Werkstoffe darstellten; der Aufbau war nicht stabil genug, um reproduzierbare Ergebnisse zu liefern.

Also versuchten wir es erneut. Dieses Mal mit einem Hauptrohr aus Kupfer und einem Einflussrohr aus Messing, das war an das Kupfer löteten. Für den Kaltluftauslass verwendeten

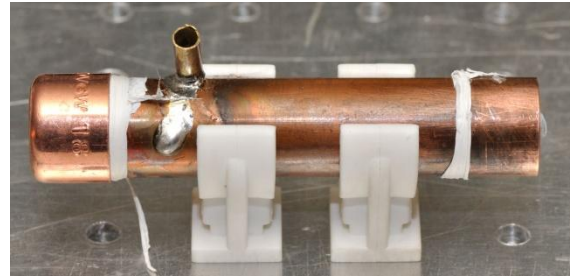


Abb. 4: kurzes Metallrohr

wir eine Endkappe mit einem Loch darin. Auf der anderen Seite lässt sich ein Kegel einführen, dessen Entfernung man durch eine Stellschraube einstellen kann. So lässt sich das Verhältnis der Luftströme durch die beiden Öffnungen variieren. Mit diesem Aufbau erhielten wir zum ersten Mal reproduzierbare Ergebnisse.



Dennoch stellten wir fest, dass das Verhältnis von Durchmesser des Hauptrohres und dessen Länge in den

Abb. 5: Kegel

Versuchen der Universitäten

deutlich größer war. Wir fertigten folglich ein weiteres Rohr nach den gleichen Prinzipien und mit gleichem Innendurchmesser, diesmal aber deutlich länger, an. Zum Vergleichen verwendeten wir verschiedene Kegel, deren Steigung variiert. Auch bei diesem Rohr konnten wir einen Temperaturunterschied feststellen. Die Kaltluft war deutlich kälter als die Warmluft.

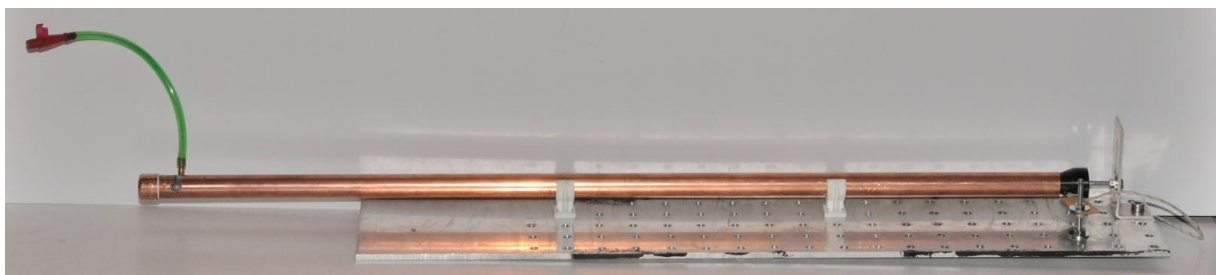


Abb. 6: Langes Metallrohr

4. Eigene Ergebnisse

Die nachfolgenden Untersuchungen haben wir am optimierten Wirbelrohr (Abb. 6) durchgeführt. Sie geben Aufschluss über verschiedene Effekte, die im Rohr vonstattengehen könnten. Durch die Variation der Ausgangsbedingungen lassen sich einige Faktoren bestimmen, die die Temperaturveränderung beeinflussen

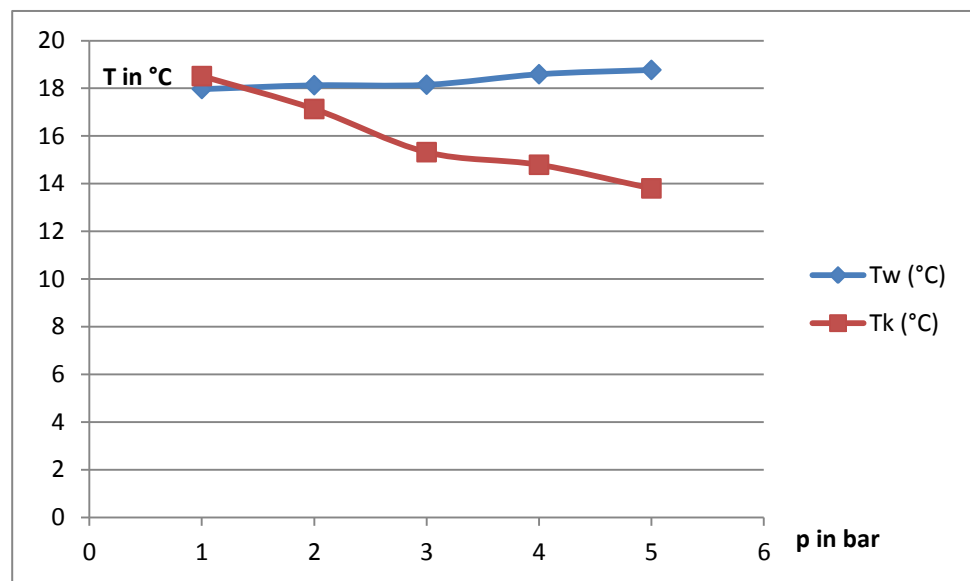
4.1. Versuch: Kegel C; Loch 4mm

Bei unseren Versuchen mit dem stumpfesten Kegel (C) konnten wir keine aussagekräftigen Messreihen aufnehmen. Die vorgenommenen Messungen ergaben Ergebnisse, die nicht mit den anderen Messungen in Bezug zu setzen sind.

4.2. Versuch: Kegel B; Loch 4mm

Unter Verwendung des Kegels B und der Endkappe mit dem größeren Loch konnten wir

feststellen, dass die Kaltluft bei höchstem Druck die kälteste Temperatur aufweist. Bei sinkendem Druck steigt die Temperatur. Die Warmluft



hingegen sinkt mit

Abb. 7: Kegel B; Loch 4mm

fallendem Druck leicht. Daraus ergibt sich, dass der Temperaturunterschied zwischen den beiden Ausgängen bei großem Druck am größten ist.

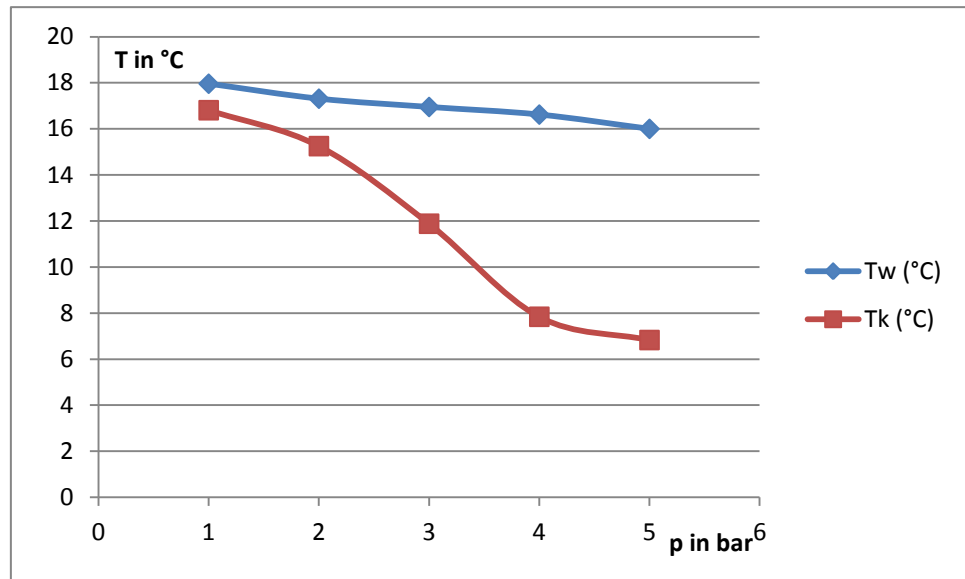
Dieser Verlauf lässt sich jedoch eher mit dem Joule-Thompson-Effekt erklären, als durch den thermischen Separationseffekt. Da beim Kaltluftausstrom die Öffnung kleiner ist, ist damit auch die Ausdehnung größer, als beim Warmluftausstrom; die Auswirkungen des Joule-Thompson-Effektes sind größer.

Dadurch lässt sich auch der Verlauf der Kurven erklären.

4.3. Versuch: Kegel B; Loch 2mm

Verwendet man den gleichen Kegel und die Endkappe mit dem kleineren Loch, stellt man fest, dass die Temperaturen insgesamt kleiner werden, der Verlauf der Kurven aber ähnlich bleibt.

Hier lässt sich der Joule-Thompson-Effekt anwenden. Da aufgrund des kleineren Kaltluftauslasses im Inneren ein höherer Druck



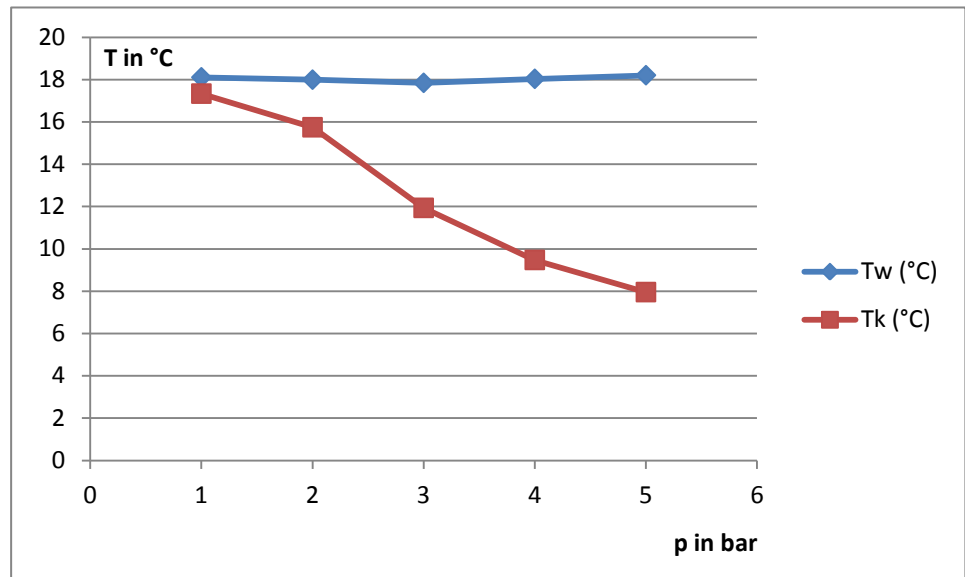
herrscht, dehnt sich die Luft beim

Abb. 8: Kegel B; Loch 2mm

Ausströmen stärker aus; die Luft wird im Vergleich zum größeren Loch kälter.

4.4. Versuch: Kegel A; Loch 4mm

Unter Verwendung des dritten Kegels und der Endkappe mit der größeren Bohrung werden deutlich tiefere Temperaturen beim



Kaltstromauslass erreicht. Warum

Abb. 9: Kegel A; Loch 4mm

genau dieses Phänomen auftritt, lässt sich nur schwer erklären.

Unser Erklärungsansatz ist, dass durch eine andere Strömungsablenkung am Kegel eine veränderte Verwirbelung im Rohr entsteht. Durch Druckunterschiede und Temperaturabgabe im inneren können verschiedene Temperaturen gemessen werden.

4.5. Versuch: Kegel A; Loch 2mm

Verwendet man die Endkappe mit der kleineren Bohrung, behält aber den Aufbau ansonsten bei, sinken die Temperaturen der Kaltluft, wie erwartet, noch

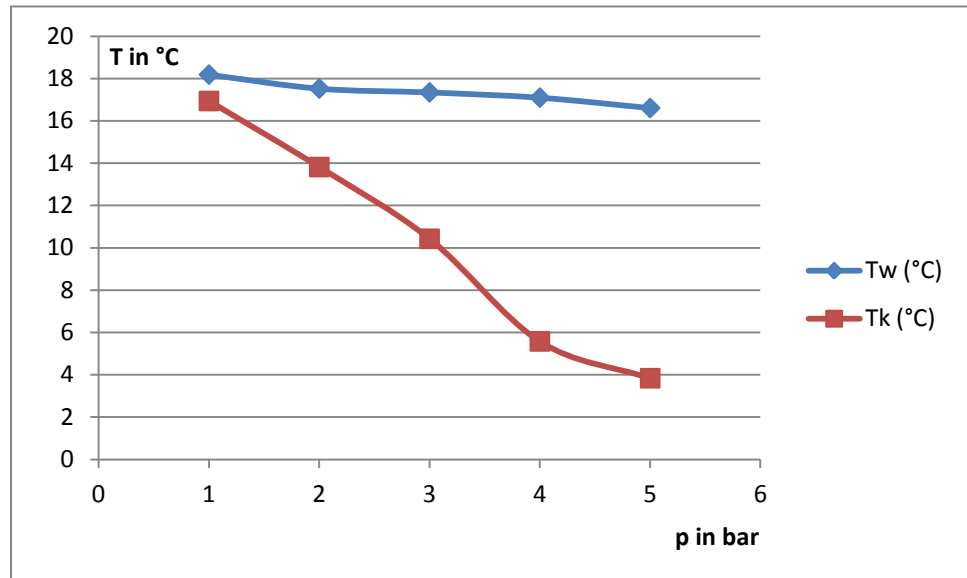


Abb. 10: Kegel A; 2mm

tiefer. Auch lässt sich erkennen,

dass die Warmluft bei höherem Druck nicht mehr wärmer wird.

4.6. Versuch: Langzeitmessungen

Das Ziel der Langzeitmessung ist es, Effekte, die sich bei Erwärmung oder Abkühlung der Umgebung einstellen, nachweisen und analysieren zu können. Dabei

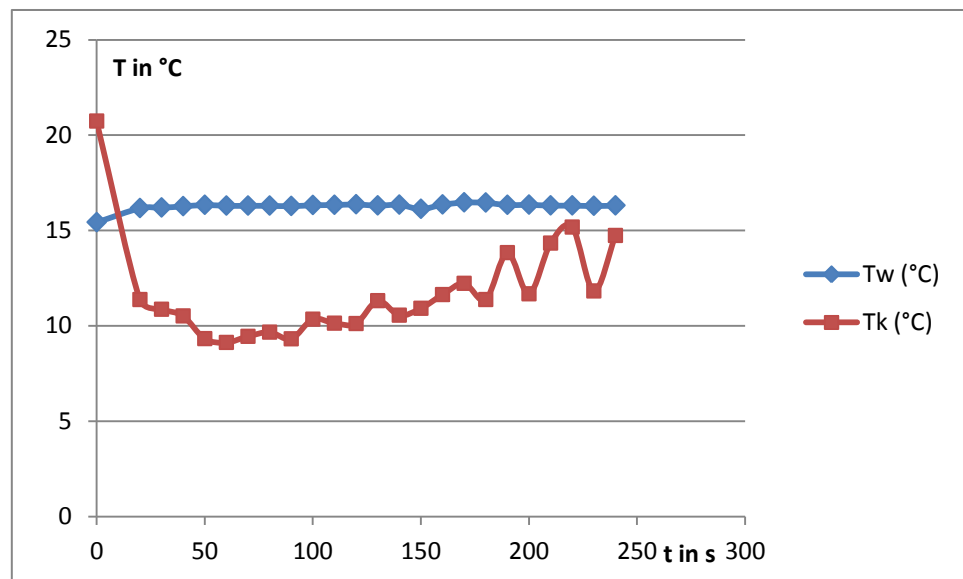
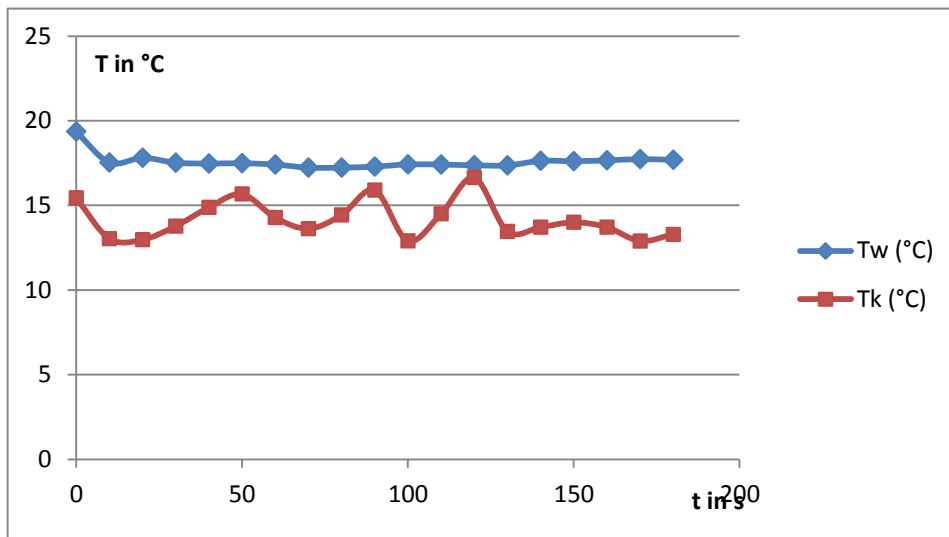


Abb. 11: Langzeitmessung: Kegel B

ergab sich, dass die Temperatur der Warmluft relativ konstant bleibt und keine großen Schwankungen zeigt.



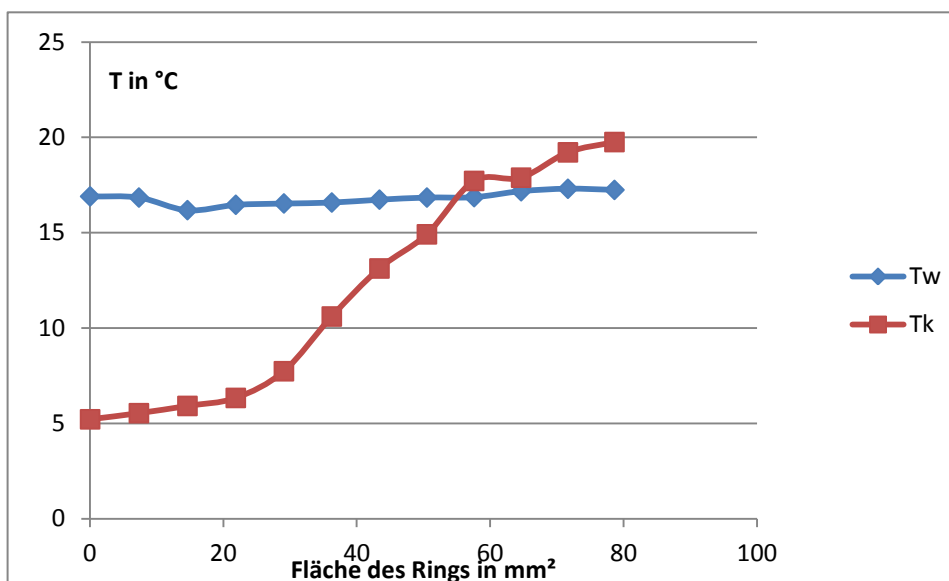
Bei der Temperatur der Kaltluft lassen sich zwar einige Schwankungen erkennen, die aber vermutlich auf Messungenauigkeiten

Abb. 12: Langzeitmessung: Kegel A

zurückzuführen sind, da die Messspitze nicht fest arretiert war und somit an unterschiedlichen Stellen gemessen wurde. Die Tendenz ist auf längere Sicht gesehen aber steigend.

4.7. Versuch: Änderung der Ringgröße

Zusätzlich untersuchten wir die Auswirkung der Größe der Ringöffnung, die durch den Kegel festgelegt wird, auf die Temperatur der ausströmenden Luft. Dafür führten wir den Kegel immer weiter an das Rohr heran, um so die Öffnung zu verkleinern.



Dabei konnten wir feststellen, dass die Temperatur der Kaltluft mit zunehmender Öffnungsgröße sinkt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass mehr Luft aus

Abb. 13: Änderung der Ringgröße

dem Warmauslass strömt, wenn die Öffnung groß ist. Dadurch sinkt der Druck im Innern des

Rohres, was wiederum dazu führt, dass die Auswirkung des Joule-Thompson-Effekts abgeschwächt wird.

Dass die Temperatur der Kaltluft bei großer Öffnung über der der Warmluft liegt, ist darauf zurückzuführen, dass bei großer Öffnung nur wenig Luft durch den Kaltluftauslass strömt und diese sich so nicht von der Umgebungsluft unterscheiden lässt.

Auffällig ist, dass die Temperatur am anderen Ende bei kleiner Öffnung kurzzeitig über der Temperatur bei großer Öffnung liegt. Auch hier liegt die Ursache vermutlich in der Durchflussmenge. Bei kleiner Öffnung kann kaum Luft aus der Ringöffnung entweichen, weshalb höhere Temperaturen gemessen wurden.

4.8. Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt lässt sich feststellen, dass unsere Ergebnisse zwar Ähnlichkeiten zu denen in der Literatur aufweisen, vermutlich aber zum Teil auf den Joule-Thompson-Effekt zurückzuführen sind. Der Versuch unter 4.4. scheint besonders deutlich den erwarteten Effekt zu zeigen. Hierbei könnte es sich tatsächlich um den thermischen Separationseffekt handeln, wobei sich dieser nur schwer nachweisen lässt.

5. Andere Messungen

Auf der Suche nach Informationen zum Wirbelrohr stießen wir auf Messungen, deren Aussagekraft deutlich größer ist. In der nebenstehenden Messung ist die Temperaturdifferenz in Abhängigkeit zum Massenbruch des Kaltluftstroms angegeben. Dieser gibt an, welcher Anteil der Luft durch die Kaltgasöffnung entweicht. Hierbei zeigt sich, dass bei zunehmendem Anteil der

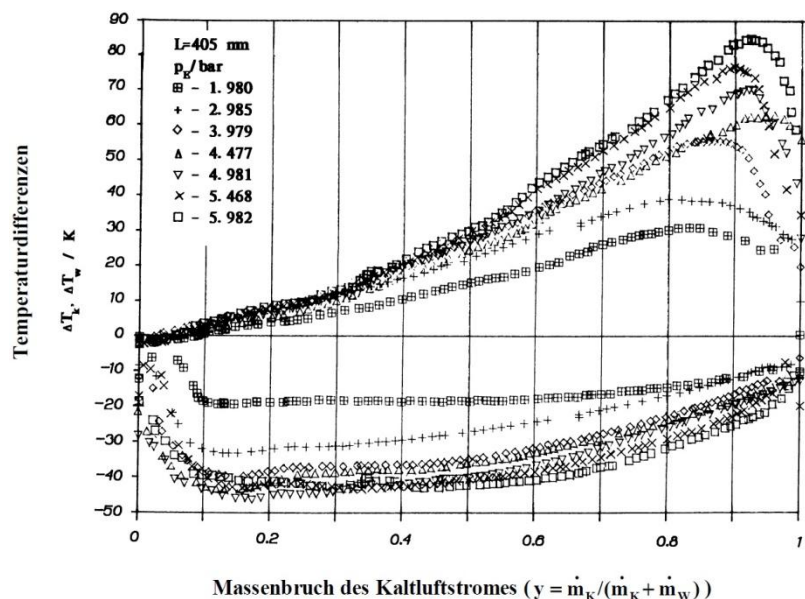


Abb. 14: Messung Uni Siegen

Kaltluft die Temperatur am Warmluftende steigt. Der Abfall am Ende ist dadurch zu erklären, dass die Menge der

Luft zu klein wird. Die Temperatur der Kaltluft ist bei geringem Kaltluftanteil am kleinsten. Außerdem zeigt sich, dass der Druck einen entscheidenden Einfluss auf die Stärke der Temperaturänderung hat, sich jedoch nicht auf das Entstehen des Effektes auswirkt.

6. Fehlerbetrachtung

Bei unseren Versuchen sind wir auf einige Probleme gestoßen. Bei allen Messungen der Temperatur am Kaltluftauslass dürfte der Messfehler recht hoch sein, da wir die Messspitze mit der Hand vor die Öffnung halten mussten. Zudem ändert sich durch die Position des Messfühlers auch die Reibung an diesem, weshalb die Ergebnisse verfälscht werden können. Außerdem ist der von uns verwendete Temperaturfühler recht träge, weshalb er für die Messung der Temperatur von strömender Luft nicht geeignet ist.

Auch variierte die Umgebungstemperatur ständig, weshalb die Versuche nicht alle unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden konnten.

Hinzu kommt, dass der Kompressor, den wir bei allen Versuchen verwendeten, keinen konstant hohen Druck liefern kann. Um den Druck zu messen, verwendeten wir ein Handmanometer.

7. Fazit

Trotz einer recht schwachen Grundlage konnten wir viele Messungen durchführen und ihre Ergebnisse deuten. Ob es uns tatsächlich gelungen ist, den thermischen Separationseffekt zu erzeugen, bleibt schwer nachzuweisen. Dennoch lassen sich einige Parallelen zu anderen Messungen finden, weshalb es zumindest nicht unwahrscheinlich ist.

Dank unserer verschiedenen Versuchsaufbauten, konnten wir diese immer weiter optimieren und einen geeigneten Aufbau erarbeiten. Dabei konnten wir zeigen, dass Länge des Rohres und die Ausgangsstoffe Einfluss auf die möglichen Effekte im Innern des Rohres haben.

8. Ausblick

Nach der Arbeit wollen wir weiter an diesem Projekt arbeiten. So wollen wir, um die Messungengenauigkeit zu verringern, beide Temperaturfühler fest einstellbar machen und mit zwei Fühlern gleichzeitig messen.

Zudem wollen wir das Masseverhältnis von Warm- und Kaltluft bestimmen und dessen Auswirkungen auf die Temperaturen an den beiden Enden untersuchen.

9. Danksagung

Unser besonderer Dank gilt zuerst unserem Betreuungslehrer Thomas Biedermann, der uns immer mit als Helfer und Berater zur Seite steht und für uns, auch außerhalb seiner regulären Arbeitszeiten, seinen Keller geöffnet hat. Außerdem gebührt unser Dank seiner Frau Susanne, die sich immer um uns kümmert und uns mit allem versorgt, was wir außerhalb der Forschungen benötigen.

Desweiteren möchten wir noch Anja Hanßke und Prof. Dr. Felix Ziegler (beide TU Berlin) sowie Prof.i.R. Dr. Jürgen Keller (ehemals Universität Siegen) für die Unterstützung und die Bereitstellung weiterer Informationen danken.

10. Quellen

- https://www.eta.tu-berlin.de/fileadmin/a33371300/web_bilder/forschung/aufbau_wr2_02.jpg
- http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2002_undfrueher/DPG2002_uf_Vortraege/DPG2002_AKE3.2_Keller_Waermerohr.pdf
- http://www.mb.uni-siegen.de/tts/personen/juk/wr/das_wirbelrohr_grundlagen....pdf
- <http://www.jufo-hermannsburg.de/pdfs/2011-joulethomson.pdf>

11. Abbildungen

Abb. 1: Funktionsschema

https://www.eta.tu-berlin.de/fileadmin/a33371300/web_bilder/forschung/aufbau_wr2_02.jpg

Abb. 2: Versuchsaufbau

http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2002_undfrueher/DPG2002_uf_Vortraege/DPG2002_AKE3.2_Keller_Waermerohr.pdf

Abb. 14:

http://www.mb.uni-siegen.de/tts/personen/iuk/wr/das_wirbelrohr_grundlagen....pdf