

VERMITTLUNG STRÖMUNGSPHYSIKALISCHER VORGÄNGE  
IM EXPERIMENT  
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

---

**Versuch Wetter**  
**Protokoll**

---

Praktikant: Michael Lohmann  
E-Mail: m.lohmann@stud.uni-goettingen.de  
Versuchsdatum: 07.12.2015

Testat:

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aktuelles Wetter</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Aktuelle Wetterkarten</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Tornadoexperiment</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Höhenabhängigkeit des Drucks</b>	<b>5</b>

## 1 Einleitung

Das Wetter spielt eine große Rolle im Alltag eines jeden. Bei Glatteis gibt es erhöhte Verkehrsaufkommen, bei Regen kann man nicht draußen grillen. Nicht einmal einbezogen, die Millionen von Euros, die jährlich durch Wetterphänomene an wirtschaftlichem Schaden entstehen. So ist es in aller Interesse, eine möglichst genaue Wettervorhersage zu haben, um gezielt Gegenmaßnahmen zu treffen.

## 2 Aktuelles Wetter

Das Wetter am Nachmittag des 7. Dezember 2015 war geprägt durch Bewölkung mit einem Bedeckungsgrad von  $\frac{7}{8} - \frac{8}{8}$ . Die überwiegende Wolkenschicht bestand aus *Stratus*-Wolken, wie in Bild 1(b) zu sehen. Zusätzlich waren in den Löchern der Schicht *Alto-Cumulus*-Wolken zu sehen.

Die Temperatur lag bei 13°C und es war am Boden windstill. Auch die Windgeschwindigkeit in Wolkenhöhe war gering, was auf eine relativ stabile Wetterlage hindeutet, da sich die Wolken nicht wegbewegen können.

Die Wetterlage entsprach einem Wetter, wie es zwischen zwei Fronten herrscht.



(a) Blick Richtung Süden. Zu erkennen sind hauptsächlich Stratuswolken.



(b) Blick Richtung Norden. Zu sehen: Stratuswolken, welche vereinzelt aufreißen und Alto-Cumulus zeigen.

**Abbildung 1:** Wolken über Göttingen am 7. Dezember 2015.

## 3 Aktuelle Wetterkarten

Die Windstille war auch auf der Wetterkarte zu erkennen, da im Bereich von Göttingen die Dichte der Isobaren sehr gering war. Diese deuteten auf eine vorherrschende Wind-

richtung von Westen her hin. Die Warmfront, welche vor kurzem über Göttingen gezogen ist, bringt relativ warme Temperaturen. Das Hochdruckgebiet über Südeuropa bringt durch die Zirkulation im Uhrzeigersinn warme, feuchte Luft zu uns. Da es sehr stark ist (1040 hPa), ist zu vermuten, dass die Kaltfront die Warmfront zunächst nicht einholen kann, da sie nicht über das Hochdruckgebiet kommt. Deshalb wird die gesamte Front vermutlich Richtung Osten weggetrieben. Die weit voneinander entfernten Isobaren deuten auf sehr geringe Windgeschwindigkeiten hin.

In der Vorschau der nächsten Wochen war zu erkennen, dass bis ca. 15.12. das Wetter überwiegend durch Hochdruckgebiete über Südeuropa dominiert wird. Am 13.12. prophezeiten wir, dass ein Ausläufer eines Tiefdruckgebietes über Skandinavien uns kalte feuchte Luft bringen würde. Nach den Karten wäre es möglich, dass kurz vor Weihnachten ein Tiefdruckgebiet über Skandinavien kalte Luft bringt, welche eventuell sogar zu Schneefall führen könnte.

Tatsächlich war das Wetter eher milder, als wir es vermutet hätten. Aber gerade bei den langfristigen Vorhersagen werden natürlich die Wettermodelle schlechter, so dass den Vorhersagen von über 1-2 Wochen kaum mehr Bedeutung zukommen sollte.

## 4 Tornadoexperiment

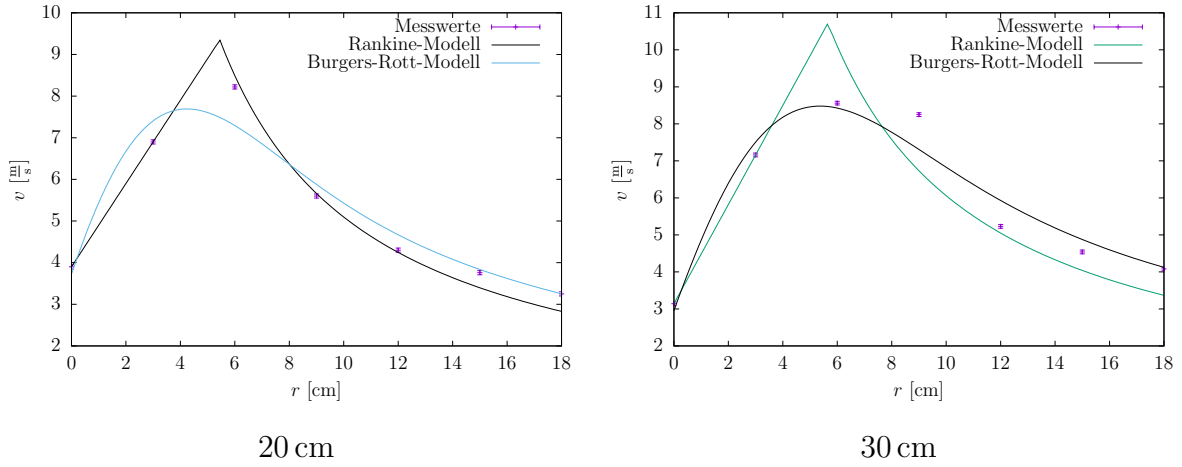
Es gibt verschiedene Arten, den Geschwindigkeitsverlauf eines Tornados zu beschreiben. das eine ist der Rankine-Wirbel, bei dem im inneren ( $r < R$ ) von einer linear wachsenden Geschwindigkeit ausgegangen wird. Dies wäre der Fall, wenn er einen festen Kern hätte. Äußerhalb des Radius  $R$  nimmt die Geschwindigkeit mit  $\frac{1}{r}$  ab:

$$v(r) = \begin{cases} \omega r & \text{falls } r \leq R \\ \omega \frac{R^2}{r} & \text{falls } r > R \end{cases} \quad (1)$$

Das andere ist das Burgers-Rott-Modell, welches von einem exponentiellen Abfall ausgeht.

$$v(r) = \frac{\Gamma}{2\pi r} [1 - \exp(-ar^2)] \quad (2)$$

In Abb. 2 sind die Geschwindigkeiten in einem Abstand radial von dem Zentrum in Höhen von 20 und 30 cm über dem Boden aufgetragen. Es zeigt sich, dass in 20 cm Höhe das Rankin-Modell augenscheinlich das bessere ist, während in 30 cm das Burgers-Rott-Modell dichter an den Messwerten liegt. Dies ist vermutlich durch Messfehler zu erklären, da die Messung sehr stark davon abhängt, wie man die Messsonde hält. Auch war uns zunächst nicht ganz klar, wie das Messgerät zu bedienen ist. Daher ist der hohe Wert bei 6 cm vermutlich durch einen Spitzenwert und nicht durch eine Mittelung über 10 s zu erklären.



**Abbildung 2:** Radiales Geschwindigkeitsprofil eines Modelltornados

Höhe [cm]	Burgers-Rott		Rankine	
	20	30	20	30
$\omega$ [s <sup>-1</sup> ]	$2.3 \pm 0.4$	$2.2 \pm 0.4$	$1.15 \pm 0.16$	$1.2 \pm 0.4$
$R$ [cm]	$5.3 \pm 0.7$	$6.0 \pm 0.7$	$7.9 \pm 0.8$	$8.3 \pm 1.6$
$\Delta$ [cm]	$1.7 \pm 0.5$	$1.4 \pm 0.5$	$3.2 \pm 0.7$	$2.9 \pm 1.2$

**Tabelle 1:** Aus dem Fit der jeweiligen Modelle bestimmte Parameter des Modelltornados.

## 5 Höhenabhängigkeit des Drucks

Aus der Euler-Gleichung

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g}$$

geht im stationären und statischen Fall (das Geschwindigkeitsfeld verändert sich nicht) hervor, dass der Druck logarithmisch mit anwachsender Höhe abnimmt, da die linke Seite verschwindet. Es folgt

$$\begin{aligned} \nabla p &= -\rho \vec{g} \\ \Rightarrow \frac{\partial p}{\partial z} &= -\rho g \end{aligned}$$

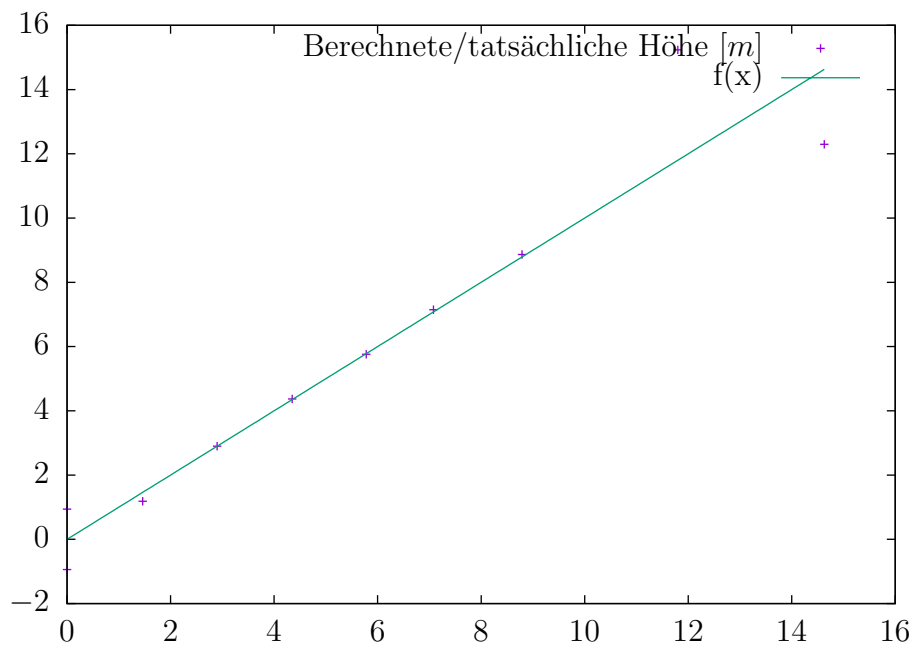
wobei mit  $\rho = \frac{pm}{RT}$  (ideale Gasgleichung,  $m$  Masse,  $T$  Temperatur,  $R$  Gaskonstante) eine partielle DGL entsteht, welche durch eine Exponentialfunktion gelöst wird.

Es ergibt sich die Barometrische Höhenformel

$$\delta z(h) = h_s \ln \frac{p(h_0)}{p(h)} \quad (3)$$

mit  $\Delta z$  als Höhendifferenz zwischen  $h$  und  $h_0$  und  $h_s = \frac{pm}{RT}$  (der Druckscalenhöhe). Bei der Messung stellten wir fest, dass das Messgerät sehr sensibel war, was die Temperatur angeht. So haben wir auf dem Boden des Erdgeschosses angefangen, sind dann Stück für Stück hoch gegangen und haben abschließend erneut eine Messung im Erdgeschoss gemacht. Es stellte sich heraus, dass das Gerät von 1014.15hPa auf 1013.92hPa gefallen ist. Dies mag nicht viel erscheinen, entspricht aber einer Höhendifferenz von rein theoretisch ca. 2m. Dies ist vermutlich nicht darauf zurückzuführen, dass sich der Umgebungsdruck verändert hat, sonder hängt vermutlich damit zusammen, dass sich das Messgerät abgekühlt hat, weil wir es auf den Boden gelegt haben.

In der Abb. 3 ist die aus dem Druck berechnete gegen die gemessene Höhe aufgetragen. Für eine perfekte Übereinstimmung sollten also alle Werte auf der Winkelhalbierenden liegen, welche auch eingezeichnet ist. Zu erkennen ist einerseits, dass wir auf dem Boden zweimal die Höhe gemessen haben und dass die meisten Werte gut übereinstimmen. Der höchste Wert ist auch um ca. 2 m niedriger, als tatsächlich, was sich vermutlich wieder durch die Temperatur des Messgerätes erklären lässt.



**Abbildung 3:** Auftragung der aus dem Druck berechneten gegen die gemessene Höhe.