



Messungen an einem Modell-Tornado

Vergleich verschiedener Messtechniken

Benjamin Dimond, Christoff Krüger, Charlotta Lorenz,
Wieland Lühder, Nick Scholand

Betreuer: Prof. Dr. Andreas Dillmann
Dr. Oliver Boguhn



Projektpraktikum 2014 der Universität Göttingen in Kooperation mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Motivation

Tornados richten jedes Jahr Schäden in Millionenhöhe an und kosten oft Menschenleben. Trotz intensiver Forschungsarbeit ist die Vorhersage, ob eine Superzelle einen Tornado bildet, kaum möglich. Um dieses Wetterphänomen besser zu verstehen, beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Geschwindigkeits- und Druckfeld eines Miniaturaufbaus des School_Lab am DLR in Göttingen. Verschiedene Messmethoden werden verglichen und die Messwerte in Relation zum makroskopischen Vorbild gesetzt.

Theorie

Das **Rankine-Wirbel-Modell** $v_{\phi}^R(r)$ beschreibt bei Zirkulation Γ im Tornado ($r \leq R$) ein lineares Anwachsen. Im Fernfeld ($r > R$) erfolgt ein inverser Abfall. [MAM]

$$v_{\phi}^R(r) = \frac{\Gamma}{2\pi R} \begin{cases} \frac{r}{R} & r \leq R \\ \frac{R}{r} & R < r \end{cases}$$

Das **Burgers-Rott-Modell** $v_{\phi}^{BR}(r)$ beinhaltet mit der Viskosität ν Reibungseffekte der bewegten Massen. Es beschreibt eine exakte Lösung der Navier-Stokes-Gleichung. Für den Sogparameter a ergibt sich folgende Tangentialgeschwindigkeit:

$$v_{\phi}^{BR}(r) = \frac{\Gamma}{2\pi r} \left(1 - \exp\left(-\frac{a}{2\nu} r^2\right) \right)$$

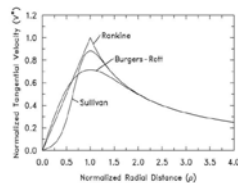


Abbildung 1: Vergleich dreier Modelle zur Beschreibung eines Tornado-Geschwindigkeitsfeldes in 2D

Aufbau

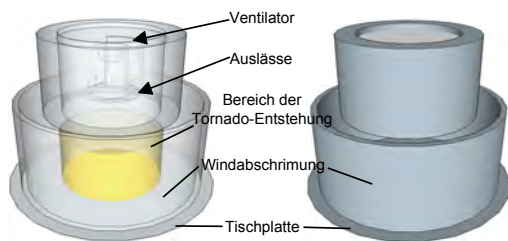


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Tornados.



Abbildung 3: Aufbau des Tornados.

Der Aufbau ist in den obigen Abbildungen dargestellt. Kernstück dieses Modells ist ein Ventilator innerhalb der Wolkenverkleidung. Mit Hilfe eines Windschutzes wird der Tornado an einem festen Ort gehalten.

Bodendruckmessung

Für die Druckmessung wird eine Schiene mit 18 Drucksensoren verwendet. Diese ist in der Tischoberfläche nahtlos eingelassen und vermisst einzelne Punkte. Wird der Tornado seitlich verschoben, kann durch mehrere Messungen ein zweidimensionales Profil erstellt werden.

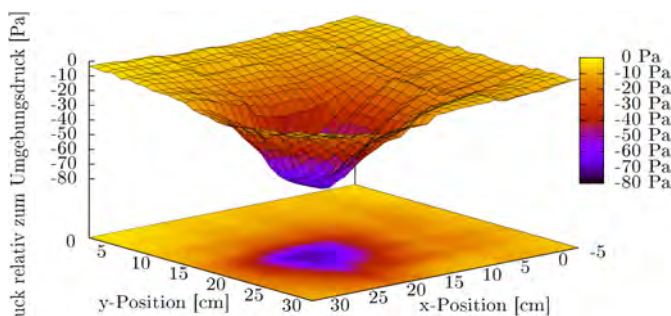
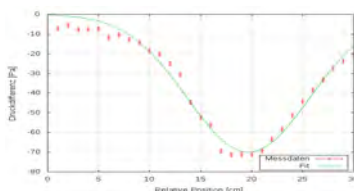


Abbildung 4: 2D-Druckverlauf bei Tornadostärke 7 und Druckquerschnitt bei $x=18\text{cm}$

Direkte Messung der Horizontalgeschwindigkeit

Die Horizontalgeschwindigkeit einer festen Höhe wird in Abhängigkeit zur Tornadomitte vermessen, indem ein verschiebbares Hitz-Draht-Anemometer durch ein Loch in die Windabschirmung eingeführt wird.

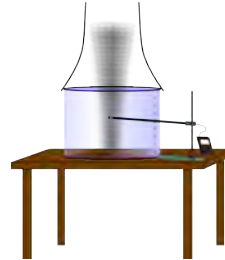


Abbildung 5: Geschwindigkeitsmessung.

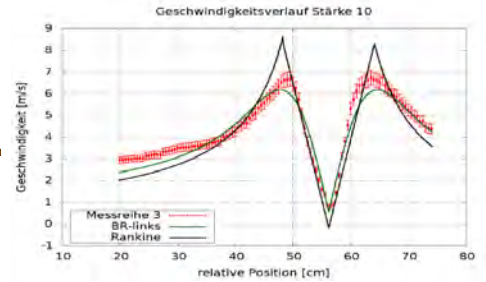


Abbildung 6: Horizontaler Geschwindigkeitsverlauf.

Der Verlauf des Geschwindigkeitsprofils ähnelt am meisten dem BURGERS-ROTT-Modell. Am **Rand** gibt es bei dieser Messmethode **Abweichungen**. Hier hat die Windabschirmung den Tornado zu sehr beeinflusst.

Messungen der Horizontalgeschwindigkeit mit PIV

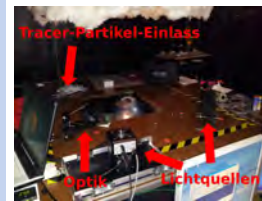


Abbildung 7: PIV-Aufbau

Als Tracer-Partikel werden mit Helium gefüllte Seifenblasen verwendet, deren Bewegung mit dem **Particle Image Velocimetry**-Verfahren (PIV) beobachtet wird. Eine ca. 2-3 cm dicke, horizontale Schicht aus diesen Seifenblasen wird mit zwei Lichtquellen angestrahlt. Das an den Partikeln gestreute Licht wird von einer Kamera unterhalb der durchsichtigen Tischplatte detektiert und in ein Bild umgesetzt.

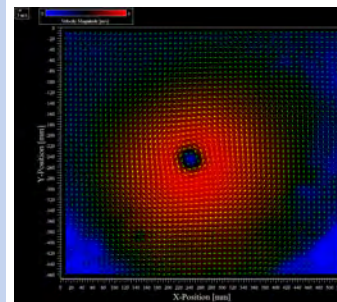


Abbildung 8: 2D-Geschwindigkeitsverlauf.

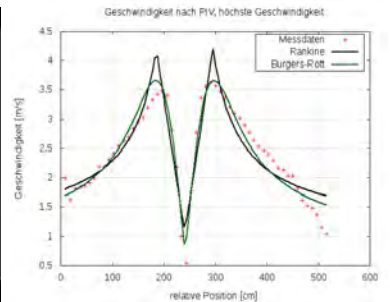


Abbildung 9: Querschnitt bei $y=240\text{mm}$.

Das Geschwindigkeitsfeld lässt sich mit dem BURGERS-ROTT-Modell am sinnvollsten beschreiben. Mit dem PIV Verfahren lässt sich ein zweidimensionales Geschwindigkeitsprofil aus Momentaufnahmen erstellen, welches aber eine geringere räumliche Auflösung als die direkte Messung hat. Dabei entstehen die Messwerte aus vielen gemittelten Einzelwerten, so dass die Bewegung des Tornados die Messwerte negativ beeinflusst.

Ergebnis

Die Messwerte passen in beiden Verfahren zu den theoretischen Modellen. Aus den Näherungen ergeben sich Skalierungskonstanten, die zur Umrechnung auf einen realen Tornado verwendet werden können. Nur der Wert für die Skalierung der Geschwindigkeit erscheint sinnvoll. Demnach ist ein realer Tornado ungefähr zwanzigmal so groß und schnell. Die Druckmessung erfüllt das zyklotropische Gleichgewicht, lässt sich aber nicht auf Druckwerte eines realen Tornados umrechnen. Ähnliche Ergebnisse liefert eine Entdimensionalisierung der Problematik, die unterschiedlichen Verhalten des Modell- und des realen Tornados zeigen.

Referenzen

- N. Rott: *On the Viscous Core of a Line Vortex*. Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik, 9, S. 542-553, 1958.
- B. A. Maicke, J. Majdalani: *Characterization of the Bidirectional Vortex Using Particle Image Velocimetry*, PhD. Giovanna Cavazzini (Ed.), InTech, 2012.