



Ein PV-freies axialsymmetrisches Modell der tropischen Zyklone

T. Frisius

Institut fuer Atmosphäre und Umwelt, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Altenhöferallee 1, D-60438 Frankfurt am Main (E-Mail: Frisius@iau.uni-frankfurt.de)

Bei gegebener axialer Symmetrie kann mathematisch das Modellkonzept einer verschwindenden potentiellen Vorticity (PV) für tropische Orkane begründet werden. Zum einen kann gezeigt werden, dass PV-Freiheit resultiert, wenn bei einem stationären Wirbel keine Viskosität vorliegt und die der PV zugeordnete skalare Feldfunktion χ eine individuelle Erhaltungsgröße ist. Zum anderen ist ein sich in der Gradientwind-Balance befindlicher Wirbel dann neutral bezüglich einer hydrodynamischen Instabilität, wenn die entropische PV verschwindet (d.h. χ ist die Entropie). Beide Fälle erweisen sich für tropische Orkane als angemessen, wenn χ durch die Entropie feuchter Luft gegeben ist.

Bei Annahme entropischer PV-Freiheit, axialer Symmetrie sowie der Boussinesq-Approximation können die Balance-Gleichungen für die trockene Atmosphäre stark vereinfacht werden. Die Ersetzung der geometrischen Radialkoordinate durch den von der Drehimpulsdichte abhängigen potentiellen Radius mittels einer Transformation führt zu Gleichungen, die nicht mehr von der Vertikalkoordinate abhängen. Die resultierenden Modellgleichungen werden als PV-freies Wirbelmodell bezeichnet. Bei einer feuchten (gesättigten) Atmosphäre gelingt dies auch, wenn χ die Sättigungsentropie feuchter Luft ist.

Wird im PV-freien Wirbelmodell eine stationäre Entropiequelle vorgegeben, so kann man im reibungsfreien Grenzfall analytische Lösungen finden. Diese Lösungen können die Entwicklung eines Wirbels, welcher einem tropischen Orkan gleicht, beschreiben. Allerdings tritt in diesen Lösungen ein frontaler Kollaps auf, durch welchen die Transformation der Lösungsfelder in den geometrischen Raum gebiets-

weise nicht mehr möglich ist. Dieses Phänomen kann mittels der Berücksichtigung von horizontalem Impulsaustausch in den Modellgleichungen verhindert werden.

Zur Modellierung tropischer Orkane mit dem PV-freien Wirbelmodell wird eine Parametrisierung des konvektiven Austausches notwendig. Hierfür werden zwei Ansätze betrachtet. Gemäß der klassischen CISK-Theorie (CISK ist Abkürzung für "conditional instability of the second kind") ist der konvektive Fluss proportional zur großskaligen Strömungskonvergenz. Dieser Ansatz führt zum Wachstum von kleinskaligen Störungen, die nicht einer tropischen Zyklone gleichen. Wird dagegen der konvektive Austausch proportional zur Entropiedifferenz zwischen Grenzschicht und freier Atmosphäre parametrisiert, so kann man mit dem PV-freien Wirbelmodell die Entstehung einer Zyklone beschreiben. Die maximale Windgeschwindigkeit dieser Zyklone liegt allerdings bei weitem unter der eines tropischen Orkans. Ein anderer Parametrisierungsansatz erfolgt nach der WISHE-Theorie (WISHE ist Abkürzung für "wind-induced surface heat exchange"), nach welcher der konvektive Austausch zwischen der Grenzschicht und der freien Atmosphäre proportional zum Wärmefluss an der Wasseroberfläche ist. Dieser Ansatz kann nicht die tropische Zyklone erklären, da hiermit der Radius des maximalen Windes sich mit der Zeit erhöht, ohne dass eine Windverstärkung stattfindet. Erst durch die Unterdrückung des konvektiven Austauschs im Außenbereich der anfänglichen Zyklone mittels eines sogenannten Effizienzparameters resultiert die Entwicklung eines tropischen Orkans. Der Bereich, in dem der Effizienzparameter abnimmt, schrumpft im geometrischen Raum und bildet am Ende der Entwicklung den Eyewall des tropischen Orkans. Da innerhalb des Radius, bei dem das Windmaximum liegt, eine Front entsteht, ist die Berücksichtigung des horizontalen Impulsaustausches im Modell essentiell. Es zeigt sich weiterhin, dass die kombinierte Anwendung der beiden Konvektionsparametrisierungen ebenfalls nur dann die tropische Zyklone erklären kann, wenn der konvektive Austausch im Außenbereich unterdrückt wird.

Vergleiche mit dem wolkenauflösenden axialsymmetrischen Modell HURMOD zeigen ähnliche Entwicklungen. Allerdings ist das PV-freie Wirbelmodell nicht geeignet die Entstehung des Auges adäquat zu beschreiben. Dennoch erweist sich das Konzept der verschwindenden entropischen PV als sinnvoll, um die Dynamik der tropischen Zyklone besser zu verstehen.