

SIMULATION DER KONVEKTIVEN GRENZSCHICHT BEI EINEM KALTLUFTAUSBRUCH ÜBER DEM MEER

Andreas Chlond

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Das Ausfließen kalter, stabil geschichteter Luftmassen von Land- oder Eisflächen über relativ wärmeres Wasser bezeichnet man allgemein als Kaltluftausbruch. Infolge der Heizung von unten bildet sich eine Grenzschicht aus, die mit Ausnahme einer überadiabatischen bodennahen Schicht eine leicht stabile Schichtung aufweist. Nach oben hin wird die Grenzschicht durch eine Inversion begrenzt, deren Höhe mit zunehmendem Küstenabstand anwächst. Mit einer derartigen Situation ist gleichzeitig die Entwicklung von Grenzschichtrollen und Wolkenstraßen parallel zum mittleren Wind verbunden, die ihren Abstand zueinander stromabwärts vergrößern und nach einiger Zeit in zellulare Strömungsmuster übergehen.

Zum Studium der Rollen in der Anfangsphase von Kaltluftausbrüchen steht ein dreidimensionales, nichthydrostatisches Gitterpunktsmodell (Chlond, 1991) zur Verfügung, welches Phasenübergänge des Wassers bei der Wolkenbildung und -dissipation, die Strahlungsabkühlung in Wolken und den Einfluß einer großräumigen Vertikalbewegung berücksichtigt. Subskalige turbulente Transportprozesse werden durch einen Austauschkoeffizientenansatz beschrieben, bei dem der Diffusionskoeffizient über die turbulente kinetische Ener-

gie von der Windscherung, den Stabilitätsverhältnissen und einer an die Gitterweite angepaßte Mischungslänge abhängt. Das Modellgebiet ist in der Horizontalen über ein Gebiet von 6400 m Kantlänge in x- und y-Richtung ausgedehnt. In der Vertikalen erstreckt sich das Modellgebiet bis zu einer Höhe von 1600 m, wo ein undurchlässiger, reibungsfreier Rand angenommen wird. Seitlich werden für das Strömungsfeld periodische Randbedingungen benutzt. Der horizontale Gitterabstand beträgt 100 m und in der vertikalen wird eine Auflösung von 50 m benutzt. Um die zeitliche Entwicklung des zu untersuchenden Phänomens besser verfolgen zu können, wird das Modellgebiet mit der mittleren Strömung mitgeführt.

Angelehnt an einen während ARKTIS '88 beobachteten Fall einer abeisigen Strömung wurde mit dem oben beschriebenen Modell versucht, die Grenzschichtentwicklung während des Kaltluftausbruches zu simulieren. Als Anfangsbedingung wird dem Modell eine horizontal homogene Grenzschichtströmung vorgegeben, die der beobachteten Situation beim Übertritt der Luftmasse vom Eis auf das offene Wasser entspricht. Die an der Eiskante eintreffende Luft ist stabil geschichtet und weist eine relative Feuchte von 90% auf.

Bei Vorgabe des beobachteten Temperaturunterschiedes von etwa 5 K zwischen Luft und Wasser bilden sich im Modell als Reaktion auf eine kurzzeitige Störung des horizontal homogenen Temperaturfeldes bereits nach ca. 15 min Grenzschichtrollen und Wolkenstraßen aus. Nach einer Simulationszeit von 30 min stimmen sowohl die Wolkenhöhe von 550 m als auch die Wellenlänge der entstehenden Wolkenbänder von etwa 1300 m gut mit den Beobachtungen überein. Die maximale Vertikalgeschwindigkeit der Sekundärzirkulation von 1-2 m/s befindet sich etwa in der Höhe des Wendepunktes der lateralen Grundstromkomponente, was auf eine dynamische Anregung der Rollen hindeutet. Im Laufe der Integration verschiebt sich die Lage zum Gebiet großer Dichteinstabilität in Bodennähe. Die Mächtigkeit der Wolkenschicht und der Bedeckungsgrad nehmen mit zunehmendem Abstand von der Eiskante zu. Nach 2 h Integrationszeit hat sich eine 450 m mächtige geschlossene Wolkendecke gebildet, in der die rollenförmige Strömungsstruktur jedoch noch klar erkennbar bleibt.

Eine mit dem Modell durchgeführte Parameterstudie zeigt, daß sowohl die Intensität der Sekundärzirkulation als auch der Bedeckungsgrad besonders empfindlich auf die Struktur des großräumigen Feuchtefeldes reagiert. So bildet sich in einer trockeneren Atmosphäre, die oberhalb der Inversion eine relative Feuchte von 50% aufweist, eine flachere, durchbrochene Wolkenschicht aus, da die durch das Einmischen trockener Luft bedingte Verdunstung von Wolkenwasser die konvektive Entwicklung abschwächt und den mit Wolken bedeckten Flächenanteil erheblich reduziert.

CONTROL RUN

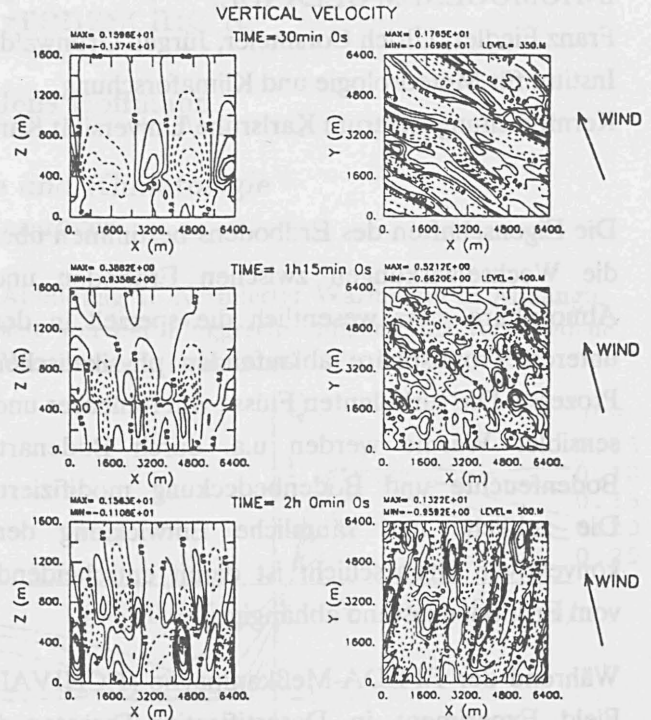


Abb. 1: Simulation der Grenzschichtentwicklung während eines im Experiment ARKTIS '88 angetroffenen Kaltluftausbruchs (Kontrolllauf). Dargestellt sind Isolinien der Vertikalgeschwindigkeit in Vertikal- (links) und Horizontalschnitten durch das Modellgebiet mit 64×64 Gitterpunkten in der Horizontalen (100 m Gitterabstand) und 34 Gitterpunkten vertikal (50 m Gitterabstand) zu verschiedenen Zeitpunkten der konvektiven Entwicklung. Durchgezogene Linien repräsentieren positive, unterbrochene Linien kennzeichnen negative Vertikalgeschwindigkeiten. Die Normierung der Vertikalgeschwindigkeiten erfolgte mit dem Maximum des Betrages im jeweiligen Schnitt. Das Kontourintervall beträgt 0.2.

Literaturverzeichnis

- Chlond, A. (1991): Three-dimensional simulation of cloud street development during a cold air outbreak. Bound. Layer Met. (im Druck).