

Wissenschaftliche Mitteilungen

aus dem
Institut für Meteorologie der Universität Leipzig



ISBN 3-9807315-6-1

Ein Modul zur spektralen Beschreibung von Wolken und Niederschlag in einem Mesoskalenmodell zur Verwendung auf Parallelrechnern

Martin Simmel

Leipzig 2002

Band 27

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein Modul zur spektralen Beschreibung von Wolken und Niederschlag vorgestellt. Dabei werden verschiedene Aspekte der spektralen Wolkenmodellierung und ihre numerische Umsetzung auch auf Parallelrechnern behandelt.

Das zentrale Problem der spektralen Modellierung stellt die Lösung der Gleichung für stochastisches Einsammeln dar, die das Koaleszenzwachstum der Hydrometeore beschreibt. Mit der Linearen Diskreten Methode (LDM) wurde ein Verfahren zur numerischen Lösung dieser Gleichung entwickelt. Durch Vergleiche mit analytischen Lösungen sowie drei weiteren numerischen Verfahren wird gezeigt, daß die Verwendung der LDM zu guten Ergebnissen hinsichtlich der Genauigkeit führt. Im Hinblick auf die numerische Effizienz ist sie den anderen Verfahren überlegen.

Auf Grundlage der LDM wird ein spektrales Mikrophysikmodul entwickelt. Es werden Simulationsrechnungen in einem Boxmodell sowie mit dem dreidimensionalen nichthydrostatischen Mesoskalenmodell GESIMA durchgeführt. Im Boxmodell wird der Einfluß der einzelnen mikrophysikalischen Prozesse und deren Zusammenwirken unter kontrollierten Umgebungsbedingungen beobachtet. In GESIMA erfolgt die Berechnung der spektralen Wolkenmikrophysik im Rahmen der kompletten Dynamik und unter Berücksichtigung ihrer Rückkopplung auf selbige.

Die explizite Kenntnis des Tropfengrößenspektrums ist eine wertvolle Information für andere atmosphärische Prozesse. So wird die Berechnung von Radarreflektivitäten und damit die Ableitung entsprechender Beziehungen zur Niederschlagsintensität (sog. *Z-R*-Beziehungen) möglich. Die simulierten *Z-R*-Beziehungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit empirischen Befunden.

Mit der spektralen Beschreibung der Mikrophysik ist trotz der Effizienz der LDM ein großer Rechenaufwand verbunden. Um die Rechenzeiten in einem akzeptablen Rahmen zu halten, wird das Wolkenmodul mittels expliziten Message Passing unter Verwendung von MPI (Message Passing Interface) parallelisiert. Dabei findet die Strategie der horizontalen Gebietszerlegung Anwendung. Dank der räumlich voneinander unabhängigen Berechnungen ist die Mikrophysik dafür besonders gut geeignet, aber auch andere Prozesse wie der advektive Transport der Hydrometeore lassen sich effektiv parallelisieren. Bei einer statischen Aufteilung des Integrationsgebiets kommt es durch die inhomogene Verteilung der Wolken auf die Teilgebiete zu Lastungleichheiten und damit zu Wartezeiten, was die ansonsten gute Effizienz der Parallelisierung deutlich mindert. Abschätzungen zeigen, daß die Verwendung einer dynamische Lastverteilung einen deutlichen Performancezugewinn erwarten läßt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Mikrophysikalische Prozesse in Wolken	5
2.1	Warme Wolke	7
2.1.1	Nukleation	7
2.1.2	Diffusion	9
2.1.3	Koaleszenz	9
2.1.4	Zerplatzen (Break-up)	10
2.1.5	Sedimentation	10
2.2	Kalte Wolke	11
2.2.1	Nukleation der Eisteilchen	11
2.2.2	Deposition	13
2.2.3	Kollisionen	13
2.2.4	Break-up und Eismultiplikation	15
2.2.5	Tauen und Gefrieren	16
2.2.6	Sedimentation	17
2.3	Grundlegende Modellierungsansätze	17
2.3.1	Bulk-Parametrisierung	18
2.3.2	Semi-spektrale Modellierung	18
2.3.3	Spektrale Modellierung	18
3	Die SCE und ihre Lösung	21
3.1	Die Stochastic Collection Equation	21
3.2	Die Lineare Diskrete Methode	22
3.3	Weitere Verfahren zur Lösung der SCE	23
3.4	Parameter der Testläufe	24
3.5	Der Stoßkern nach Golovin	25
3.5.1	Beschreibung	25
3.5.2	Ergebnisse	25
3.6	Der hydrodynamische Stoßkern	28
3.6.1	Der Stoßkern nach Long	28
3.6.2	Der Stoßkern nach Hall	32
3.6.3	Der Stoßkern nach Böhm	33

3.7	Der Rechenzeitbedarf der numerischen Verfahren	35
3.8	Verschiedene Typen von Hydrometeoren	36
3.8.1	Zwei Teilchentypen	37
3.8.2	Mehr Teilchentypen	37
3.9	Schlußfolgerungen	38
4	Ergebnisse der Wolkenmodellierung	41
4.1	Berechnung von Kondensation und Deposition	41
4.2	Das spektrale Wolkenmodul im Boxmodell	43
4.2.1	Warme Wolke	43
4.2.2	Kalte Wolke	45
4.3	Das spektrale Wolkenmodul im Mesoskalenmodell	46
4.3.1	Warme Wolke	46
4.3.2	Kalte Wolke	49
4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	51
5	Radar	53
5.1	Empirische Befunde	54
5.2	Die Radarreflektivität im spektralen Modell	55
5.2.1	Schwarz'sche Ungleichung	55
5.2.2	Lineare Verteilung	56
5.3	Die Radarreflektivität bei vorgegebenen Verteilungen	57
5.4	Ergebnisse	58
6	Parallelisierung	63
6.1	Einführung	63
6.1.1	Speedup und parallele Effizienz	65
6.1.2	Parallelisierungsstrategien	66
6.1.3	Parallele Performance	67
6.2	Beschreibung des Parallelisierungsverfahrens	68
6.3	Ergebnisse für die statische Zerlegung	68
6.3.1	Kleines Integrationsgebiet	70
6.3.2	Großes Integrationsgebiet	75
6.4	Dynamische Lastverteilung	78
6.4.1	Definition der Lastungleichheit	79
6.4.2	Lastungleichheit im Wolkenmikrophysikmodul	80
6.4.3	Simulation einer dynamischen Lastbalancierung	80
6.5	Zusammenfassung der parallelen Berechnungen	85
7	Zusammenfassung und Ausblick	89
A	Berechnung der linearen Verteilung	93

B Koaleszenzfunktion nach Böhm	95
B.1 Voraussetzungen	96
B.2 Symmetrie der Teilchen	96
B.3 Drag Koeffizient	97
B.4 Fallgeschwindigkeit	97
B.5 Hypothetisches Teilchen	98
B.6 Kollisionseffizienz	100
B.7 Verteilung der Fallgeschwindigkeit	100
B.8 Potential flow	101
B.9 Parameter der verwendeten Teilchen	101
B.9.1 Tropfen	101
B.9.2 Eisteilchen	102
C Liste der verwendeten Symbole	105
C.1 Indices	105
C.2 Physikalische Größen	106
D Liste der verwendeten Akronyme	109
Danksagung	121

