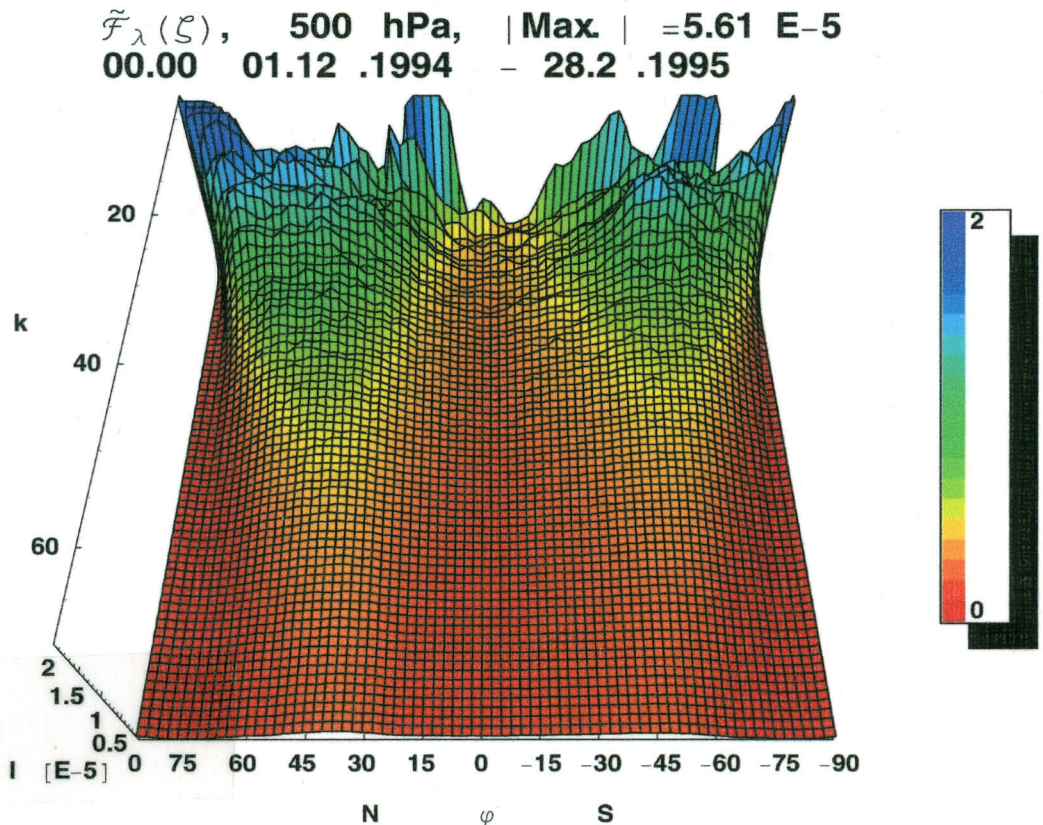


Andreas Hauschild

# Skalentrennung von Wetter und Klima

Ein Beitrag zu Möglichkeiten und Grenzen der Vorhersage  
in der Klimamodellierung



DER ANDERE VERLAG

Andreas Hauschild

# Skalentrennung von Wetter und Klima

-

Ein Beitrag zu Möglichkeiten und Grenzen der Vorhersage  
in der Klimamodellierung

DER ANDERE VERLAG 2004

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Klimamodellierung</b>	<b>5</b>
2.1	Struktur des Klimavorhersageproblems . . . . .	6
2.1.1	Von der Problemstellung zu den Modellgleichungen . . . . .	7
2.1.2	Fehlerbetrachtung . . . . .	9
2.2	Zuverlässigkeit der Messungen . . . . .	11
2.2.1	Die Korrelation von Temperatur und $CO_2$ . . . . .	11
2.2.2	Analysierte Daten . . . . .	18
2.3	Querabhängigkeit von Parameterisierungen . . . . .	25
2.3.1	Parameterisierungen in Energiebilanzmodellen . . . . .	26
2.3.2	Die Kopplung von Strahlungshaushalt und Transport . . . . .	28
2.4	Schließung konservativer Gleichungen . . . . .	29
2.5	Zusammenfassung . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Mittelung atmosphärischer Transporte</b>	<b>33</b>
3.1	Theorie der Mittelung . . . . .	36
3.1.1	Das Ensemblemittel und die Reynoldsforderungen . . . . .	37
3.1.2	Mittelungsverfahren und die Reynoldsforderungen . . . . .	41
3.1.3	Quantifizierung der Reynoldsnäherung . . . . .	45
3.1.4	Mittelung an den Rändern . . . . .	51
3.1.5	Zusammenfassung . . . . .	52
3.2	Lösungsansätze . . . . .	53
3.2.1	Direkte Numerische Simulation . . . . .	54
3.2.2	Large-Eddy-Simulation . . . . .	55
3.2.3	Anwendung der LES in der Klimamodellierung . . . . .	62
3.2.4	Theorie und Praxis der Diffusions- und Eddy-Viskositätsansätze . . . . .	68
3.2.5	Parameterisierung subskaliger Transporte mithilfe der FDR . . . . .	74
3.3	Schlußfolgerungen . . . . .	79
<b>4</b>	<b>Diagnose der Reynoldsnäherung</b>	<b>83</b>
4.1	Methodische Grundlagen . . . . .	84

4.1.1	Transportterme und ihre Variablen . . . . .	84
4.1.2	Atmosphärische Spektrallücken . . . . .	85
4.1.3	Meßdaten . . . . .	87
4.2	Berechnung abgeleiteter Größen . . . . .	88
4.2.1	Horizontale Ableitungen . . . . .	88
4.2.2	Vorticity und Divergenz . . . . .	89
4.3	Fourieranalyse . . . . .	91
4.3.1	Fourierdarstellung und ihre Eigenschaften . . . . .	92
4.3.2	Fourierspektren der Feldvariablen . . . . .	94
4.4	Glättung der Advektionsterme . . . . .	101
4.4.1	Methodische Grundlagen . . . . .	101
4.4.2	Fehlerabschätzung der Glättung . . . . .	103
4.4.3	Diagnose der Glättung . . . . .	106
4.4.4	Zusammenfassung . . . . .	114
4.5	Zusammenfassung . . . . .	115
<b>5</b>	<b>Skalentrennung von Wetter und Klima</b>	<b>117</b>
5.1	Diagnostische Untersuchung der Spektralraumvariablen . . . . .	118
5.1.1	Unterscheidung von Wetter- und Klimavariablen . . . . .	119
5.1.2	Statistische Eigenschaften der Amplituden und Phasen . . . . .	121
5.1.3	Zuverlässigkeit der Ergebnisse . . . . .	125
5.1.4	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen . . . . .	127
5.2	Dynamik der Amplituden und Phasen . . . . .	128
5.2.1	Amplituden-Phasen-Darstellung gemittelter Felder . . . . .	129
5.2.2	Statistische Annahmen . . . . .	131
5.2.3	Diagnostische Skalentrennung . . . . .	133
5.2.4	Dynamische Skalentrennung . . . . .	134
5.3	Nebnenrechnungen . . . . .	138
5.3.1	Produkt der Leitterme . . . . .	139
5.3.2	Der Reynoldsterm $\mathcal{R}_{\Psi\nu\Phi\mu}$ . . . . .	139
5.3.3	Summe von Leonard- und Kreuzterm $\mathcal{L}_{\Psi\nu\Phi\mu} + \mathcal{K}_{\Psi\nu\Phi\mu}$ . . . . .	140
5.4	Klassifikation der Raumskalen . . . . .	141
5.4.1	Geostrophische Näherung . . . . .	144
5.4.2	Skalen minimaler Advektion und geostrophischer Dynamik . . . . .	145
5.5	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	147
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>151</b>
<b>A</b>	<b>Abbildungen</b>	<b>155</b>
<b>B</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>213</b>

B.1	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis . . . . .	213
B.2	Tabellenverzeichnis . . . . .	219
B.3	Abbildungsverzeichnis . . . . .	221
B.4	Literaturverzeichnis . . . . .	233

Kapitel

Einleitung

Die Aufgabe

Das Problem

Die Lösung

Die Ergebnisse

Die Diskussion

Die Zusammenfassung

Die Literatur

Die Quellen

Die Anmerkungen

Die Tabellen

Die Abbildungen

Die Formeln

Die Diagramme

Die Tabellen

Die Abbildungen

Die Formeln

Die Diagramme

Die Tabellen

Die Abbildungen

Die Formeln

Die Diagramme

Die Tabellen

Die Abbildungen

Die Formeln

Die Diagramme

Die Tabellen

Die Abbildungen

Die Formeln