

Helmut Pichler
**Dynamik
der Atmosphäre**

BI

Wissenschaftsverlag
Bibliographisches Institut

Dynamik der Atmosphäre

von

Prof. Dr. Helmut Pichler

Universität Innsbruck



Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich
B.I.-Wissenschaftsverlag

	Seite
1. Einleitung	11
2. Das Skalar-, Vektor- und Tensorfeld; Kinematische Analyse	13
2.1 Skalare und vektorielle Größen	13
2.2 Skalares und vektorielles Produkt	14
2.2.1 Mehrfache Produkte	17
2.3 Dyadisches Produkt - Tensorielle Größen	18
2.3.1 Rechenregeln für Tensoren	21
2.4 Differentiation von skalaren und vektoriellen Größen	22
2.4.1 Räumliche Ableitungen	22
2.4.2 Zeitliche Ableitungen	26
2.5 Krummliniges Koordinatensystem	27
2.6 Integralsätze	33
2.6.1 Satz von GAUSS	34
2.6.2 Satz von STOKES	36
2.7 Die Bilanzgleichung	38
2.8 Stromlinien und Trajektorien	41
2.9 Darstellung von Geschwindigkeitsfeldern	43
2.9.1 Reine Bewegungstypen	46
2.10 Das natürliche Koordinatensystem	52
2.10.1 Darstellung von Stromfeldeigenschaften eines horizontalen Geschwindigkeitsfel- des in natürlichen Koordinaten	58
2.11 Anhang: Transportgleichungen	60
3. Physikalische Grundlagen	65
3.1 Grundbegriffe der Mechanik	65
3.1.1 Die NEWTON'schen Axiome; der Begriff der Kraft	65
3.1.2 Arbeit, Energie, Leistung	66
3.2 Grundlagen der Thermodynamik	69
3.2.1 Die Zustandsgleichung für ideale Gase	69
3.2.2 1. Hauptsatz der Wärmelehre	71
3.2.3 2. Hauptsatz der Wärmelehre; der Be- griff der Entropie	76
3.2.4 Adiabatische Prozesse	79
4. Die Grundgleichungen der Dynamik der Atmosphäre	82
4.1 Die Bewegungsgleichungen in einem Inertialsystem	82
4.1.1 Die fundamentalen Kräfte	85
4.2 Die Bewegungsgleichungen in einem rotierenden Koordinatensystem	90
4.2.1 Die Komponentendarstellung der Bewegungs- gleichungen in einem rotierenden orthogo- nalen krummlinigen Koordinatensystem	96
4.2.2 Spezifische Koordinatensysteme	99
4.3 Die Kontinuitätsgleichung	104

	Seite	
4.4	Die Bilanzgleichung für den Impuls	106
4.5	Energetik der laminaren Strömung; Bilanzgleichungen für die Energie	107
4.5.1	Verallgemeinerte BERNOULLI-Gleichung	115
4.6	Die Bilanzgleichung für die Entropie	116
4.7	Wirbelodynamik	118
5.	"Scale"-Analyse	133
5.1	Methodik	134
6.	Der vertikale Aufbau der Atmosphäre	141
6.1	Das hydrostatische Gleichgewicht	141
6.2	Die barometrische Höhenformel	144
6.3	Modellatmosphären	145
6.4	Hydrostatische Stabilität	151
6.5	Energetische Betrachtungen	154
7.	Quasistatische reibungsfreie atmosphärische Bewegungen	161
7.1	Die Bewegungsgleichungen für quasi- statische reibungsfreie Bewegungen	162
7.1.1	Quasistatische reibungsfreie Bewegungen in einem kartesischen Koordinatensystem	169
7.2	Die Adiabatangleichung	171
7.3	Die Kontinuitätsgleichung	174
7.4	Quasistatische reibungsfreie Bewegungen in einem natürlichen Koordinatensystem	175
7.4.1	Reibungsfreie horizontale quasistatische Bewegungen	178
7.4.2	Horizontale Trägheitsbewegung	180
7.5	Die thermische Windgleichung	181
7.6	Die Drucktendenzgleichung	185
7.7	Abweichung vom geostrophischen Gleichge- wicht	187
7.8	Die Vorticitygleichung	193
7.8.1	Scale-Analyse der Vorticitygleichung	201
7.8.2	Darstellung der Vorticitygleichung in natürlichen Koordinaten	205
7.9	"Physikalische" Koordinaten	207
7.9.1	Isobare Koordinaten	211
7.9.1.1	Die Bewegungsgleichungen	213
7.9.1.2	Die Kontinuitätsgleichung	215
7.9.1.3	1. Hauptsatz der Wärmelehre	218
7.9.1.4	Die Vorticitygleichung	221
7.9.1.5	Die ω -Gleichung	225
7.9.1.6	Ein Divergenztheorem - Balancegleichung	231
7.9.1.7	Nichtgeostrophische Modellgleichungen	233
7.9.2	Isentrope Koordinaten	237
7.9.2.1	Die Bewegungsgleichungen	238
7.9.2.2	Die Kontinuitätsgleichung	239

	Seite	
7.9.2.3	Die Vorticitygleichung	241
7.9.2.4	Der Einfluß der Gebirge auf die großräumige Strömung	242
8.	Wellenbewegungen in der Atmosphäre	246
8.1	Darstellung von Wellen	247
8.2	Perturbationstheorie	252
8.3	Schallausbreitung in einem kräftefreien Gas	255
8.4	Einfache Schwereloszillation	256
8.5	Die Grundgleichungen für die Wellenausbreitung in der Atmosphäre	257
8.5.1	Dispersionsgleichung	261
8.5.2	Energie und Impulstransport durch Wellen	267
8.5.3	Randbedingungen	271
8.6	Schwerewellen an Diskontinuitäten	274
8.7	Der Einfluß der vertikalen Windscherung auf Schwerewellen	282
8.8	Leewellen	284
8.8.1	Impuls- und Energietransport zufolge von Leewellen	294
8.9	ROSSBY-Wellen	297
8.9.1	Energietransport zufolge von ROSSBY-Wellen	301
8.9.2	Erzwungene ROSSBY-Wellen	303
8.10	Barotrope Instabilität	311
8.11	Zyklogenese - Barokline Instabilität	315
9.	Energetik der Atmosphäre	326
9.1	Die verfügbare potentielle Energie	332
9.2	Energetik barokliner Wellen	340
9.3	Energetik der globalen Zirkulation	345
9.3.1	Der Energiezyklus der Atmosphäre nach E.N. LORENZ	354
9.4	Der Impulshaushalt der Atmosphäre	363
10.	Die Grenzschicht der Atmosphäre	370
10.1	Turbulente Bewegungen	370
10.2	Das Turbulenzkonzept nach REYNOLDS	373
10.3	Die Energetik einer turbulenten Strömung	379
10.4	Die BOUSSINESQ-Approximation	387
10.5	Das Schließungsproblem - Austauschkonzept	391
10.5.1	Das Konzept der Mischungsweglänge nach PRANDTL - Austausch vom Impuls	393
10.5.2	Der turbulente Wärmetransport	395
10.6	Das RICHARDSON-Kriterium	398
10.7	Der Aufbau der Grenzschicht der Atmosphäre	400
10.7.1	Die PRANDTL-Schicht	402
10.7.2	Die EKMAN-Schicht	407

	Seite
10.7.2.1 Die Sekundärzirkulation in der EKMAN-Schicht	415
10.8 Die Ausbreitung von Schadstoffen in der atmosphärischen Grenzschicht	418
11. Grundlagen der numerischen Wettervorhersage	427
11.1 Problemstellung	427
11.2 Filterung	430
11.3 Parametrisierung	434
11.4 Schlußbemerkungen	438
Anhang	441
A. Die äquivalentpotentielle Temperatur	441
B. Maße und Einheiten	443
C. Wichtige Konstanten und Parameter	446
Bildquellenverzeichnis	449
Sachwörterverzeichnis	450