

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Definitionen</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung . . . . .	1
1.2	Physikalische Größen und Einheiten . . . . .	2
1.3	Vektor- und Tensornotation . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Gase und Gasgemische</b>	<b>9</b>
2.1	Thermodynamische Systeme . . . . .	9
2.2	Ideale Gase . . . . .	11
2.3	Reale Gase und Gasgemische . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>17</b>
3.1	Innere Energie . . . . .	17
3.2	Erster Hauptsatz und Enthalpie . . . . .	19
3.3	Das Joulesche Gesetz . . . . .	21
3.4	Spezifische Wärmen . . . . .	23
3.5	Funktionale Zusammenhänge für Energie und Enthalpie . . . . .	24
3.6	Zustandsänderungen . . . . .	26
3.7	Adiabatische Zustandsänderungen . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Wasserdampf in der Atmosphäre</b>	<b>31</b>
4.1	Wasserdampf als ideales Gas . . . . .	31
4.2	Feuchtemaße . . . . .	32
4.3	Die Zustandsgleichung für das Gemisch feuchte Luft . . . . .	33
4.4	Spezifische Wärmen für feuchte Luft . . . . .	35
4.5	Heterogene Systeme . . . . .	37
4.6	Latente Wärmen . . . . .	39
4.7	Der Wasserdampfdruck bei Sättigung . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Thermodynamische Prozesse in der Atmosphäre</b>	<b>49</b>
5.1	Der thermodynamische Zustand der Atmosphäre . . . . .	49
5.2	Zur diabatischen Wärmezufuhr $\delta Q$ . . . . .	50
5.3	Zur Berücksichtigung der latenten Wärme $L$ . . . . .	56
5.4	Kondensation in der Atmosphäre . . . . .	58
5.5	Der Treibhauseffekt . . . . .	61
<b>6</b>	<b>Der vertikale Aufbau der Atmosphäre</b>	<b>65</b>
6.1	Das Geopotential . . . . .	65
6.2	Die statische Grundgleichung . . . . .	66
6.3	Der vertikale Temperaturgradient . . . . .	72
6.4	Die statische Stabilität . . . . .	75

6.5	Innere Energie und potentielle Energie in der Atmosphäre . . . .	81
<b>7</b>	<b>Geschwindigkeitsfelder und deren Eigenschaften</b>	<b>87</b>
7.1	Die Eulersche Zerlegung . . . . .	87
7.2	Die Divergenz von Geschwindigkeitsfeldern . . . . .	89
7.3	Die Vorticity . . . . .	91
7.4	Die Deformation . . . . .	93
7.5	Die Zirkulation eines Geschwindigkeitsfeldes . . . . .	94
7.6	Die Stromfunktion . . . . .	96
7.7	Das Geschwindigkeitspotential . . . . .	98
7.8	Stromfunktion und Geschwindigkeitspotential . . . . .	99
<b>8</b>	<b>Die Kontinuitätsgleichung</b>	<b>101</b>
8.1	Flüsse und Transporte . . . . .	101
8.2	Die Kontinuitätsgleichung . . . . .	102
8.3	Bodendrucktendenz und Kontinuitätsgleichung . . . . .	105
<b>9</b>	<b>Die Eulerschen Bewegungsgleichungen</b>	<b>107</b>
9.1	Die Schwerkraft . . . . .	107
9.2	Die Druckkraft . . . . .	108
9.3	Zur Ursache von atmosphärischen Bewegungsvorgängen . . . . .	111
9.4	Die Bernoulli-Gleichung . . . . .	115
9.5	Die Zentrifugalkraft und die Coriolis-Kraft . . . . .	117
9.6	Die Bewegungsgleichungen im rotierenden System . . . . .	124
9.7	Analyse der Bewegungsgleichung . . . . .	125
9.8	Die Bewegungsgleichungen in Kugelkoordinaten . . . . .	127
9.9	Die Bewegungsgleichungen im $p$ -System . . . . .	129
<b>10</b>	<b>Der geostrophische Wind</b>	<b>135</b>
10.1	Definition des geostrophischen Windes . . . . .	135
10.2	Der thermische Wind . . . . .	137
10.3	Geostrophischer und thermischer Wind im $p$ -System . . . . .	140
10.4	Barotrope und barokline Atmosphäre . . . . .	142
10.5	Gradientwind und zyklotrophischer Wind . . . . .	144
10.6	Skalenanalyse . . . . .	146
<b>11</b>	<b>Die Vorticitygleichung</b>	<b>149</b>
11.1	Vorticitygleichung für eine zweidimensionale Strömung . . . . .	149
11.2	Stromfunktion und Vorticitygleichung . . . . .	152
11.3	Die Vorticitygleichung für eine dreidimensionale Strömung . . . .	153
11.4	Die linearisierte Vorticitygleichung . . . . .	159
11.5	Die Zirkulationsgleichung . . . . .	162
<b>12</b>	<b>Gleichungen für atmosphärische Bewegungsvorgänge</b>	<b>169</b>
12.1	Grundgleichungen . . . . .	169

12.2	Gleichungen für synoptische Bewegungsvorgänge . . . . .	170
12.3	Quasi-geostrophische Gleichungen . . . . .	172
12.4	Die Omega-Gleichung . . . . .	176
12.5	Die potentielle Vorticity . . . . .	177
12.6	Energiegleichungen für eine reibungsfreie Atmosphäre . . . . .	180
12.7	Die Boussinesq-Approximation . . . . .	183
<b>13</b>	<b>Wellen in der Atmosphäre</b>	<b>187</b>
13.1	Periodische Bewegungen in der Atmosphäre: Wellen . . . . .	187
13.2	Schallwellen . . . . .	189
13.3	Schwerewellen . . . . .	190
13.3.1	Externe Schwerewellen . . . . .	191
13.3.2	Interne Schwerewellen . . . . .	195
13.3.3	Schwerewellen über ebenem Untergrund . . . . .	199
13.3.4	Schwerewellen über nicht-ebenem Untergrund . . . . .	201
<b>14</b>	<b>Instabilitäten und Zyklogenese</b>	<b>207</b>
14.1	Stabilitätsanalyse . . . . .	207
14.2	Barotrope Instabilität . . . . .	209
14.3	Barokline Instabilität . . . . .	214
14.3.1	Störungsgleichungen für das Zwei-Schichten-Modell . . . . .	214
14.3.2	Störungsanalyse . . . . .	219
14.3.3	Erläuterungen zum Mechanismus der baroklinen Instabilität	222
14.4	Kleinträumige Instabilitäten . . . . .	227
<b>15</b>	<b>Wirbeldynamik</b>	<b>231</b>
15.1	Wirbel in der Atmosphäre . . . . .	231
15.2	Die Wirbelgleichung . . . . .	232
15.3	Mechanismen der Wirbelbildung . . . . .	233
<b>16</b>	<b>Einführende Bemerkungen zur Allgemeinen Atmosphärischen Zirkulation</b>	<b>237</b>
16.1	Die Allgemeine Atmosphärische Zirkulation . . . . .	237
<b>17</b>	<b>Einführung in die numerische Wettervorhersage und Klimamo- dellierung</b>	<b>243</b>
17.1	Numerische Wettervorhersage . . . . .	243
17.2	Einführung in die Klimamodellierung . . . . .	250
<b>18</b>	<b>Bewegungsgleichungen mit Reibung</b>	<b>255</b>
18.1	Oberflächenkräfte . . . . .	255
18.2	Die Navier-Stokes-Gleichungen . . . . .	257
18.3	Einfache Lösungen der Navier-Stokes-Gleichungen . . . . .	262
<b>19</b>	<b>Die gemittelten Bewegungsgleichungen</b>	<b>267</b>

19.1	Begriffe und Regeln zu Mittelbildungen . . . . .	267
19.2	Die Reynolds-Gleichungen . . . . .	271
19.3	Gradientansatz und Mischungsweg für turbulente Transporte . . .	275
<b>20</b>	<b>Kinetische Energie einer turbulenten Strömung</b>	<b>281</b>
20.1	Gleichung für die gesamte kinetische Energie . . . . .	281
20.2	Gleichung für die kinetische Energie der mittleren Strömung . . .	282
20.3	Gleichung für die Turbulenzenergie . . . . .	283
20.4	Maßzahlen für die Turbulenz . . . . .	287
20.5	Mikro- und Makroturbulenz . . . . .	291
<b>21</b>	<b>Die atmosphärische Grenzschicht</b>	<b>297</b>
21.1	Die Einteilung der atmosphärischen Grenzschicht . . . . .	297
21.2	Die bodennahe Grenzschicht: Die Prandtl-Schicht . . . . .	299
21.3	Das Windprofil in der Prandtl-Schicht . . . . .	300
21.4	Das Windprofil bei diabatischer Schichtung . . . . .	303
21.4.1	Erläuterungen zum allgemeinen Sprachgebrauch . . . . .	303
21.4.2	Die Monin-Obukhov-Stabilitätslänge . . . . .	304
21.4.3	Das Windprofil und der Diffusionskoeffizient . . . . .	305
21.4.4	Die Profildfunktionen in der Prandtl-Schicht . . . . .	307
21.5	Das Potenzprofil für die Windgeschwindigkeit . . . . .	309
21.6	Das Temperaturprofil in der Prandtl-Schicht . . . . .	312
21.6.1	Temperaturprofil und Profildfunktion . . . . .	312
21.6.2	Die Profildmethode für turbulente Flüsse . . . . .	315
21.7	Die atmosphärische Grenzschicht: Ekman-Schicht . . . . .	316
21.8	Die Höhe der atmosphärischen Grenzschicht . . . . .	320
21.9	Die turbulente Schubspannung in der Ekman-Schicht . . . . .	321
21.10	Die Ekman-Spirale oberhalb einer Prandtl-Schicht . . . . .	322
21.11	Grenzschicht-Modelle mit einem Mischungswegansatz . . . . .	327
21.12	Die Wechselwirkung zwischen Grenzschicht und freier Atmosphäre	328
21.13	Die instationäre Ekman-schicht . . . . .	333
21.14	Das Temperaturprofil in der Grenzschicht . . . . .	336
<b>22</b>	<b>Die Ausbreitung von Substanzen in der Atmosphäre</b>	<b>341</b>
22.1	Die Diffusionsgleichung . . . . .	341
22.2	Die Konzentrationsverteilung für momentane Punktquellen . . .	343
22.3	Konzentrationsverteilung für kontinuierliche Punktquellen . . .	345
22.4	Die Konzentrationsverteilung als Gaußsche Normalverteilung . . .	348
22.5	Diffusion unter Berücksichtigung des Erdbodens . . . . .	349
22.6	Praktische Anwendung der Ausbreitungsrechnung . . . . .	351
22.7	Lagrange Partikelmodelle . . . . .	354
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>361</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>371</b>



<http://www.springer.com/978-3-540-75978-2>

Theoretische Meteorologie

Eine Einführung

Etling, D.

2008, X, 376 S. 149 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-540-75978-2