

# INHALTSVERZEICHNIS

## 1 THERMODYNAMISCHE GRUNDLAGEN

<b>1.1 Massenpunkte und Luftteilchen</b>	<b>1</b>
(a) HAMILTON-THEORIE UND GIBBS-THEORIE	1
(b) EXTENSIVE UND INTENSIVE GRÖSSEN	3
<b>1.2 Thermodynamische Mittelung und Luftteilchen</b>	<b>5</b>
(a) GIBBS'SCHE FUNDAMENTALFORM DES TROCKENEN LUFTTEILCHENS	5
(b) ENERGIEARTEN UND ENERGIEFORMEN, THERMODYNAMISCHES GLEICHGEWICHT	7
(c) GIBBS'SCHE FUNDAMENTALFORM DES FEUCHTEN LUFTTEILCHENS	10
(d) ERSTE STATISTISCHE INTERPRETATION	13
<b>1.3 Chemische Energie und Oberflächenenergie</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Hauptsätze und Reduzierte Gibbsformen</b>	<b>16</b>
(a) HAUPTSÄTZE ALS AUSSAGEN ZU ENERGIE- UND ENTROPIQUELLEN	16
(b) WÄRME - UND ENTROPIESTROM BEI THERMISCHEM GLEICHGEWICHT	17
(c) DIE CLAUSIUS'SCHE WÄRME UND DER ZWEITE HAUPTSATZ	18
(d) DER ERSTE HAUPTSATZ ALS REDUZIERTER GIBBSFORM, REIBUNGSFREIE SYSTEME	18
(e) DER ERSTE HAUPTSATZ ALS REDUZIERTER GIBBSFORM, SYSTEME MIT REIBUNG	21
(f) DER BEZUG ZUR HYDRODYNAMIK, HEURISTISCHE EINFÜHRUNG	23
<b>1.5 Quasistatische Prozesse und Realisierungen in der Atmosphäre</b>	<b>25</b>
(a) ATMOSPHERISCHE REALISIERUNGS-APPROXIMATION	25
(b) QUASISTATISCHE PROZESSE	26
<b>1.6 Thermodynamische Potentiale und Legendretransformation</b>	<b>27</b>
<b>1.7 Euler'sche und Gibbs-Duhem'sche Gleichung</b>	<b>31</b>
<b>1.8 Thermodynamische Gleichgewichte und ihre Stabilität</b>	<b>32</b>
(a) VORBETRACHTUNGEN	32
(b) ISOLIERTE SYSTEME	34
(c) OFFENE SYSTEME	38
(d) ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE STABILITÄTSMITBETRACHTUNGEN	41
<b>1.9 Nichtgleichgewichts-Thermodynamik, Übersicht</b>	<b>45</b>
<b>1.10 Lineare Nichtgleichgewichte und ihre Stabilität</b>	<b>47</b>
(a) ONSAGER-THEORIE	47
(b) DAS PRIGOGINE-PRINZIP DER MINIMALEN ENTROPIEPRODUKTION	49
<b>1.11 Nichtlineare Nichtgleichgewichte und ihre Stabilität</b>	<b>51</b>
(a) DIE LIAPUNOV-METHODE	51
(b) EXCESS-GRÖSSEN ALS DEFINITE FUNKTIONEN	54
(c) ZUSAMMENFASSUNG, DISSIPATIVE STRUKTUREN	56
<b>1.12 Molekularkinetische Interpretationen</b>	<b>58</b>
(a) DIE MAXWELL'SCHE GESCHWINDIGKEITS-VERTEILUNG	58
(b) STATISTISCHE GLEICHVERTEILUNG DURCH DIFFUSION	59
(c) NEBENBEDINGUNGEN UND KANONISCHE VERTEILUNG	61
(d) STATISTISCHE INTERPRETATION DER REVERSIBLEN GASEXPANSION	63

# EXKURS: VEKTOREN UND TENSOREN IN DER HYDRODYNAMIK

<b>E.1</b>	<b>Vektor- und Tensoralgebra</b>	<b>65</b>
<b>E.2</b>	<b>Vektor- und Tensoranalysis</b>	<b>71</b>
<b>E.3</b>	<b>Anwendungen in Hydrodynamik und Meteorologie</b>	<b>74</b>
	(a) HORIZONTALE UND VERTIKALE VEKTORKOMPONENTEN	74
	(b) ADVEKTION UND KINEMATIK IN DREI UND ZWEI DIMENSIONEN	76
	(c) ZWEIDIMENSIONALE KINEMATIK UND TENSOR-INVARIANTEN	79
<b>E.4</b>	<b>Die Integralsätze von Gauß und Stokes</b>	<b>82</b>
<b>E.5</b>	<b>Invarianten, Orthogonaltransformation und Eigenwertgleichung</b>	<b>84</b>
<b>2</b>	<b>HYDRODYNAMISCHE GRUNDLAGEN</b>	
<b>2.1</b>	<b>Luftteilchen und Luftpakete</b>	<b>91</b>
<b>2.2</b>	<b>Hydrodynamische Bilanzgleichungen</b>	<b>93</b>
	(a) ALLGEMEINE BILANZGLEICHUNG FÜR RAUMFESTES VOLUMEN	93
	(b) ALLGEMEINE BILANZGLEICHUNG FÜR MATERIELLES VOLUMEN	95
	(c) DIE ENERGIE-BILANZGLEICHUNG	97
	(d) DIE BEWEGUNGSGLEICHUNG ALS IMPULS-BILANZGLEICHUNG. INTERN OFFENE SYSTEME	99
	(e) DIE KONTINUITÄTSGLEICHUNG ALS MASSEN-BILANZGLEICHUNG	101
	(f) HYDRODYNAMISCHE GRUNDGLEICHUNGEN IM RELATIVSYSTEM	102
	(g) BILANZEN FÜR DIE POTENTIELLE, KINETISCHE UND INNERE ENERGIE	104
<b>2.3</b>	<b>Hydrodynamik und Reduzierte Gibbsformen</b>	<b>106</b>
	(a) BEZIEHUNGEN ZWISCHEN HYDRODYNAMIK UND REDUZierter THERMODYNAMIK	106
	(b) HOMOGENE UND HETEROGENE THEORIEN	109
<b>2.4</b>	<b>Hydrodynamischer Bezug zur Verallgemeinerten Thermodynamik</b>	<b>110</b>
<b>2.5</b>	<b>Bilanzgleichungen heterogener Systeme</b>	<b>112</b>
	(a) GRUNDBEGRIFFE	112
	(b) MASSENBILANZ	113
	(c) IMPULSBILANZ	113
	(d) ENERGIEBILANZEN	114
	(e) KONTEXT ZUR REDUZierten THERMODYNAMIK	116
<b>2.6</b>	<b>Die Entropie-Bilanzgleichung homogener Systeme</b>	<b>117</b>
<b>2.7</b>	<b>Die Entropie-Bilanzgleichung heterogener Systeme</b>	<b>119</b>
	(a) HERLEITUNG	119
	(b) INTERPRETATION	122
	(c) NÄHERE DISKUSSION DES CHEMISCHEN UMWANDLUNGSTERMES	123
	(d) KONTEXT ZUR REALISIERUNGSTHEORIE UND ZUR STRALUNGSTHEORIE	125
<b>3</b>	<b>ANWENDUNGEN DER GRUNDGLEICHUNGEN</b>	
<b>3.1</b>	<b>Das verkürzte Gleichungssystem der großräumigen Atmosphäre</b>	<b>127</b>
	(a) DAS GESCHLOSSENE SYSTEM	127
	(b) "SCALE-ANALYSE" DER GROSSRÄUMIGEN BEWEGUNG	129

<b>3.2 Die Flachwasser-Atmosphäre</b>	<b>131</b>
(a) MODELLGLEICHUNGEN	131
(b) VERGLEICH ZWISCHEN FLACHWASSER- UND HOMOGENER ATMOSPHERE	133
<b>3.3 Darstellungen in natürlichen Koordinaten</b>	<b>135</b>
(a) HORIZONTALBEWEGUNG IN NATÜRLICHEN KOORDINATEN	135
(b) INTERPRETATION DER TANGENTIALGLEICHUNG (ISOTACHENGLEICHUNG)	137
(c) INTERPRETATION DER NORMALGLEICHUNG (ISOGONENGLEICHUNG)	138
(d) STROMLINIEN UND TRAJEKTORIEN, BLATON'SCHE GLEICHUNG	139
(e) DIVERGENZ UND VORTICITY IN NATÜRLICHEN KOORDINATEN	141
(f) DER GRADIENTWIND	142
<b>3.4 Drucktendenz, longitudinale und transversale Divergenz</b>	<b>144</b>
(a) KONTINUITÄTSGLEICHUNG UND DRUCKTENDENZ	144
(b) DRUCKTENDENZ UND LONGITUDINALE MASSENDIVERGENZ, QUALITATIV	144
(c) DRUCKTENDENZ UND LONGITUDINALE MASSENDIVERGENZ, QUANTITATIV	146
<b>3.5 Barotropie, Baroklinität und planetare Wellen</b>	<b>149</b>
(a) BAROKLINITÄT UND THERMISCHER WIND	149
(b) BAROTROPE PLANETARE WELLEN	151
(c) BAROKLINE PLANETARE WELLEN UND BAROKLINE INSTABILITÄT	152
(d) DIE STEUERUNG VON ZYKLONEN DURCH DIE PLANETAREN WELLEN	154
<b>3.6 Der Erste Hauptsatz und die statische Stabilität</b>	<b>155</b>
(a) ERSTER HAUPTSATZ IN ENERGIE - UND ENTHALPIEFORM	155
(b) POTENTIELLE TEMPERATUR UND STATISCHE STABILITÄTSKRITERIEN	157
(c) ERSTER HAUPTSATZ IN ENTROPIEFORM	159
(d) "ADIABATENGLEICHUNGEN" DER PHYSIK	159
<b>3.7 Entropiefunktionen</b>	<b>160</b>
<b>3.8 Polytrope Prozesse</b>	<b>162</b>
<b>3.9 Kreisprozesse und Wärmekraftmaschinen</b>	<b>165</b>
<b>3.10 Linearisierte Gleichungen und atmosphärische Wellen</b>	<b>171</b>
(a) STÖRANSATZ UND WELLENTYPEN	171
(b) SCHALLWELLEN	173
(c) EINFACHSTE SCHWEREWELLEN IM FLACHWASSERMODELL	175
(d) ROSSBYWELLEN UND HAURWITZWELLEN	177
(e) VERGLEICH MIT DER LONGITUDINALDIVERGENZ – METHODE	180
<b>3.11 Nichtlineare Wellenlösung der Vorticitygleichung</b>	<b>183</b>
<b>3.12 Barokline und barotrope Instabilität</b>	<b>184</b>
(a) BAROKLINE INSTABILITÄT ALS NEIGUNGS-KONVEKTION	184
(b) INSTABILE BAROKLINE WELLEN	186
(c) INSTABILE BAROTROPE WELLEN	187
<b>3.13 Sphärische Wellen und das Phillips'sche Stromfeld</b>	<b>188</b>
<b>3.14 Allgemeine Übersicht über numerische Modelle</b>	<b>196</b>

<b>3.15 Numerische Modellierung im kartesischen Gitter</b>	<b>199</b>
(a) MODELLGLEICHUNGEN	199
(b) ANFANGSBEDINGUNGEN	201
(c) DISKRETISIERUNG UND RANDBEDINGUNGEN	203
<b>3.16 Numerische Modellierung im sphärischen Gitter</b>	<b>205</b>
(a) MODELLGLEICHUNGEN UND ANFANGSBEDINGUNGEN	205
(b) DISKRETISIERUNG UND RANDBEDINGUNGEN	206
<b>3.17 Sensible Abhängigkeiten in einem sphärischen Flachwassermodell</b>	<b>208</b>
 <b>4 DIVERGENZ, WIRBELGRÖSSEN UND QUASIGEOSTROPHISCHE DYNAMIK</b>	
<b>4.1 Divergenz- und Balancegleichung</b>	<b>213</b>
(a) HERLEITUNG DER DIVERGENZGLEICHUNG	213
(b) FILTERUNG VON SCHWEREWELLEN UND BALANCEGLEICHUNG	215
<b>4.2 Vorticitygleichung</b>	<b>216</b>
<b>4.3 Die Gleichungen im "p-System"</b>	<b>217</b>
(a) HORIZONTALE BEWEGUNGSGLEICHUNG UND HYDROSTATISCHE APPROXIMATION	218
(b) KONTINUITÄTSGLEICHUNG	219
(c) ERSTER HAUPTSATZ	219
(d) DIVERGENZGLEICHUNG, BALANCEGLEICHUNG UND VORTICITYGLEICHUNG	220
<b>4.4 "Scaleanalyse" der Balance- und der Vorticitygleichung</b>	<b>221</b>
(a) DIE DIVERGENTE VORTICITYGLEICHUNG	221
(b) DIE DIVERGENZFREIE VORTICITYGLEICHUNG, ROSSBYWELLEN	223
(c) VOLLSTÄNDIGE VORTICITYGLEICHUNG IN LOKALER UND INDIVIDUELLER FORM	224
(d) BALANCEGLEICHUNG	225
<b>4.5 Konsistenzbedingung für die Vorticitygleichung</b>	<b>225</b>
<b>4.6 Das quasisolenoidale System</b>	<b>227</b>
<b>4.7 Das quasigeostrophische System</b>	<b>229</b>
<b>4.8 Qualitative Form der quasigeostrophischen Gleichungen</b>	<b>230</b>
<b>4.9 Diskussion der quasigeostrophischen Primärzirkulation</b>	<b>234</b>
(a) BAROTROPE VORTICITYADVEKTION	234
(b) BAROKLINE ADVEKTIONEN VON VORTICITY UND TEMPERATUR	235
(c) ZUSAMMENFASSUNG	236
<b>4.10 Barokline Sekundärzirkulation und Anpassungsprozesse</b>	<b>237</b>
(a) VORTICITY-TEMPERATUR-KOPPLUNG UND GROSSRÄUMIGE GLEICHGEWICHTE	237
(b) BAROKLINE SEKUNDÄRZIRKULATION UND STABILISIERUNG DER GLEICHGEWICHTE	238
(c) ZUSAMMENFASSUNG UND LENZ'SCHE REGEL	241
<b>4.11 Zur Physik des geostrophisch-hydrostatischen Gleichgewichtes</b>	<b>243</b>
(a) FOLGERUNGEN AUS DER GEOSTROPHISCHEN DIVERGENZ UND VORTICITY	243
(b) GEOSTROPHISCH-HYDROSTATISCHES GLEICHGEWICHT UND PARTIKELMETHODE	245

<b>4.12 Alternative Formen der quasigeostrophischen Gleichungen</b>	<b>246</b>
(a) DIE GEOPOTENTIALTENDENZ-GLEICHUNG ALS ERHALTUNGSGLEICHUNG FÜR DIE QUASIGEOSTROPHISCHE POTENTIELLE VORTICITY	247
(b) UNGEFILTERTE QUASIGEOSTROPHISCHE GLEICHUNGEN	247
(c) DIE OMEGAGLEICHUNG IN DER HOSKIN'SCHEN Q-VEKTOR FORM	249
<b>4.13 Quasigeostrophische Dynamik nach N��vir</b>	<b>250</b>
(a) ISOTROPER LAPLACEOPERATOR IN DEN QUASIGEOSTROPHISCHEN GLEICHUNGEN	250
(b) ZUSAMMENFASSUNG VON BEWEGUNGSGLEICHUNG UND ERSTEM HAUPTSATZ	252
(c) GEOPOTENTIALTENDENZ-, BALANCE- UND SAWYER-ELIASSEN-GLEICHUNG ALS SPEZIALFÄLLE DER N��VIR'SCHEN GLEICHUNG	253
(d) DIE VERALLGEMEINERUNG DES HOSKIN'SCHEN Q-VEKTORS UND DIAGNOSE-GLEICHUNGEN FÜR DIE DREIDIMENSIONALE SEKUNDÄRZIRKULATION	256
<b>4.14 Die Ertel'sche Potentielle Vorticity</b>	<b>257</b>
(a) DIE DREIDIMENSIONALE WIRBELGLEICHUNG	257
(b) DIE ERHALTUNG DER ERTEL'SCHEN POTENTIELLEN VORTICITY	259
(c) ZUSAMMENHANG MIT DER QUASIGEOSTROPHISCHEN POTENTIELLEN VORTICITY	260
(d) PHYSIKALISCHE INTERPRETATION	260
<b>5 DIE FEUCHTE ATMOSPHÄRE</b>	
<b>5.1 Einführung</b>	<b>263</b>
(a) TYPISCHE BERECHNUNGEN IN TROCKENER LUFT	263
(b) BEMERKUNGEN ZUR QUASISTATISCHEN ANNAHME	265
<b>5.2 Zustandsgleichungen und Feuchtema��e</b>	<b>266</b>
(a) ABSOLUTE FEUCHTEMASSE	266
(b) ZUSTANDSGLEICHUNG DER FEUCHTLUFT	267
(c) VIRTUELLE TEMPERATUR	268
(d) RELATIVE FEUCHTEMASSE	269
<b>5.3 Enthalpie und individuelle Temperaturgradienten</b>	<b>271</b>
(a) ENTHALPIE DER WOLKENLUFT	271
(b) INDIVIDUELLE TEMPERATURGRADIENTEN FEUCHTER LUFT	273
<b>5.4 Entropie und Feucht-Temperaturen</b>	<b>277</b>
<b>5.5 Instabilitäten im van der Waals'schen Gas</b>	<b>281</b>
<b>5.6 Phasenumwandlungen</b>	<b>283</b>
(a) GLEICHGEWICHTS-PHASENUMWANDLUNGEN	283
(b) NICHTGLEICHGEWICHTS-PHASENUMWANDLUNGEN	287
(c) THEORIE DER MAXWELL'SCHEN GERADEN UND METASTABILE ZUSTÄNDE	289
<b>5.7 Dampfdruckkurve und Clausius-Clapeyron'sche Gleichung</b>	<b>292</b>
<b>5.8 Tripelpunkt und Phasendiagramme</b>	<b>294</b>
<b>5.9 Oberflächenspannung und Gleichgewichtsbeziehungen</b>	<b>295</b>
<b>5.10 Tröpfchenbildung</b>	<b>296</b>
(a) DAMPFDRUCKERHÖHUNG ÜBER TRÖPFCHEN	296
(b) HERDBILDUNG UND KRITISCHER TROPFENRADIUS	298

<b>6</b>	<b>DIE ATMOSPHERISCHE GRENZSCHICHT</b>	<b>301</b>
<b>6.1</b>	<b>Scale-Wechselwirkung und Energietransfer</b>	<b>301</b>
	(a) TURBULENZ UND REYNOLDS-TERM	303
	(b) TEST DES REYNOLDS'SCHEN POSTULATES	306
	(c) VERANSCHAULICHUNG DER NICHTLINEAREN SKALENWECHSELWIRKUNG	308
<b>6.2</b>	<b>Gewöhnliche und gewogene Mittelung</b>	<b>311</b>
<b>6.3</b>	<b>Die "turbulenten" Energiegleichungen</b>	<b>315</b>
<b>6.4</b>	<b>Auftrieb und vertikaler Wärmestrom</b>	<b>315</b>
	(a) BOUSSINESQ-APPROXIMATION, DEFINITION	316
	(b) VERTIKALE BEWEGUNGSGLEICHUNG IN BOUSSINESQ-APPROXIMATION, AUFTRIEB	316
	(c) DIE ENERGIEGLEICHUNGEN IN BOUSSINESQ-APPROXIMATION	318
	(d) EINFÜHRUNG DES TURBULENTEN ENTHALPIETRANSPORTES	320
	(e) BRUNT-VÄISÄLÄ-SCHWINGUNG UND VERTIKALER WÄRMESTROM	322
<b>6.5</b>	<b>Unterteilung der atmosphärischen Grenzschicht</b>	<b>322</b>
<b>6.6</b>	<b>Die Prandtl-Schicht</b>	<b>322</b>
	(a) DIE "HAUPTGLEICHUNG" DER PRANDTL-SCHICHT	324
	(b) DAS LOGARITHMISCHE PROFIL	325
	(c) ÄHNLICHKEITSTHEORIE UND MISCHUNGSWEGKONZEPT	326
	(d) DIABATISCHE PROFILE	330
	(e) DIE "KEYPS"-GLEICHUNG	336
<b>6.7</b>	<b>Die lineare Ekman-Schicht</b>	<b>336</b>
	(a) DIE EKMAN-SPIRALE	338
	(b) DIE REIBUNGSBEDINGTE SEKUNDÄRZIRKULATION	342
	(c) LINEARES EKMAN-PUMPING NACH CHARNEY UND ELIASSEN	346
<b>6.8</b>	<b>Die nichtlineare Ekman-Schicht</b>	<b>346</b>
	(a) NICHTLINEARES EKMAN-PUMPING NACH FORTAK UND LANGE	352
	(b) GRENZSCHICHT-STRAHLSTRÖME ("LOW LEVEL JETS")	355
<b>7</b>	<b>STRAHLUNG UND ATMOSPHERISCHE ENERGETIK</b>	<b>355</b>
<b>7.1</b>	<b>Strahlung und Thermodynamik</b>	<b>358</b>
<b>7.2</b>	<b>Grundbegriffe der Strahlungsphysik</b>	<b>358</b>
	(a) DAS ELEMENTARE STRAHLENBÜNDEL	360
	(b) RADIOMETRISCHE STRAHLUNGSGRÖSSEN	364
	(c) ÜBERBLICK ÜBER IRREVERSIBLE STRAHLUNGSVORGÄNGE	365
<b>7.3</b>	<b>Strahlungsgesetze</b>	<b>365</b>
	(a) DAS PLANCK'SCHE GESETZ UND SPEZIALFÄLLE	365
	(b) EMISSION, ABSORPTION, REFLEXION, TRANSMISSION	368
	(c) DAS KIRCHHOFF'SCHE GESETZ	369
<b>7.4</b>	<b>Die Gibbs'sche Beschreibung des Strahlungsfeldes</b>	<b>370</b>
<b>7.5</b>	<b>Die Strahlungsübertragungsgleichung</b>	<b>375</b>
<b>7.6</b>	<b>Die Gibbs'sche Beschreibung elementarer Strahlungsbündel</b>	<b>380</b>
<b>7.7</b>	<b>Energiebilanzen der Materie und des Strahlungsfeldes</b>	<b>384</b>

<b>7.8</b>	<b>Entropiebilanzen nach Callies und Herbert</b>	<b>387</b>
<b>7.9</b>	<b>Strahlungsbilanzen und Treibhauseffekt</b>	<b>390</b>
<b>7.10</b>	<b>Entropik und Energetik der Atmosphäre</b>	<b>396</b>
	(a) DIFFERENTIELLE ERWÄRMUNG UND ENTROPIK	396
	(b) ZUM HAUSHALT DER TOTALEN POTENTIELLEN ENERGIE	397
	(c) DIFFERENTIELLE ERWÄRMUNG UND ENERGETIK	399
<b>7.11</b>	<b>Verfügbare Potentielle Energie und atmosphärischer Kreisprozeß</b>	<b>401</b>
<b>7.12</b>	<b>Die Bilanzgleichungen der Verfügbaren Potentiellen Energie</b>	<b>404</b>
	(a) KINETISCHE UND TOTALE POTENTIELLE ENERGIE	404
	(b) REFERENZ-ATMOSPHERE UND VERFÜGBARE POTENTIELLE ENERGIE	407
	(c) DIE BILANZGLEICHUNGEN	409
	(d) DIE GROSSTURBULENTE AUFSPALTUNG DER BILANZGLEICHUNGEN	411
<b>7.13</b>	<b>Zur Klimatologie des Lorenz'schen Energiezyklus</b>	<b>413</b>
<b>7.14</b>	<b>Energetik der Flachwasser – Atmosphäre</b>	<b>417</b>
<b>8</b>	<b>KLIMA UND KLIMATHEORIEN</b>	
<b>8.1</b>	<b>Definition und Phänomenologie des Klimasystems</b>	<b>427</b>
	(a) SYSTEMKOMPONENTEN UND SKALEN DES KLIMAS	427
	(b) KLIMAGESCHICHTE	430
	(c) BESCHREIBUNG DES STATIONÄREN GEGENWARTSKLIMAS	436
	(d) BESCHREIBUNG DES OSZILLIERENDEN GEGENWARTSKLIMAS	441
	(e) BESONDERHEITEN IN STRATOSPHERE UND MESOSPHERE	443
<b>8.2</b>	<b>Klimaphysik: Extraterrestrische Wirkungsfaktoren und Tektonik</b>	<b>446</b>
<b>8.3</b>	<b>Klimaphysik: Interne Wirkungsfaktoren im Klimasystem</b>	<b>449</b>
	(a) OZEANISCHE DRIFTSTRÖME, WALKERZIRKULATION UND SÜDLICHE OSZILLATION	449
	(b) DIE THERMOHALINE ZIRKULATION	451
	(c) DER EINFLUSS DER KRYOSPHERE	452
	(d) DER KOHLENSTOFFKREISLAUF UND SEINE "UNTERKREISLÄUFE"	453
	(e) SPURENGASE UND DAS OZONPROBLEM	456
	(f) AEROSOLE, HYDROMETEORE, WOLKEN UND STRÖMUNGEN	460
	(g) EIN VERGLEICH MIT DER KLIMATOLOGIE VON MARS UND VENUS	462
	(h) ATMOSPHERÄRISCH-INTERNE WECHSELWIRKUNGEN	464
	(i) ZUSAMMENFASSUNG	467
<b>8.4</b>	<b>Übersicht über Methoden und Probleme der Klimamodellierung</b>	<b>469</b>
<b>8.5</b>	<b>Allgemeine Bemerkungen zur Skalenwechselwirkung und Signaltrennung in Statistisch-Dynamischen Modellen</b>	<b>471</b>
<b>8.6</b>	<b>Exemplarische Beschreibung einiger Modellansätze</b>	<b>474</b>
	(a) EIN STRAHLUNGSBILANZ-KLIMAMODELL	474
	(b) EIN KLIMAMODELL NACH HASSELMANN	477
	(c) SKALENTRENNUNG WETTER-KLIMA NACH HAUSCHILD, LANGE UND SPITZER	479
	(d) ZUR STRUKTUR PALÄOKLIMATISCHER MODELLE NACH SALTZMAN	486

<b>9</b>	<b>DER EINFLUSS DER CHAOSTHEORIE</b>	
<b>9.1</b>	<b>Grundlegende Begriffsbestimmungen</b>	<b>489</b>
	(a) STARKE UND SCHWACHE KAUSALITÄT	489
	(b) GRUNDLAGEN DER SYSTEMTHEORIE	490
	(c) CHAOTISCHE ATTRAKTOREN IN KONTINUIERLICHEN UND DISKRETEN SYSTEMEN	492
<b>9.2</b>	<b>Eindimensionale Iterationen</b>	<b>494</b>
	(a) FEIGENBAUM-SZENARIO IN DER STRAHLUNGSBILANZ-ITERATION	494
	(b) LOGISTISCHE ITERATIONSGLEICHUNG UND FRAKTALE	497
	(c) BERNOULLI-VERSCHIEBUNG UND GEDÄCHTNISVERLUST DES SYSTEMS	501
	(d) LOGISTISCHE DIFFERENTIALGLEICHUNG UND NUMERISCHE EFFEKTE	502
<b>9.3</b>	<b>Zweidimensionale Iterationen</b>	<b>505</b>
	(a) DIE BÄCKERTRANSFORMATION	505
	(b) CHAOSTHEORIE UND DAS PRINZIP DER ATMOSPHERISCHEN STEUERUNG	506
	(c) DETERMINISTISCHES UND STOCHASTISCHES CHAOS	508
<b>9.4</b>	<b>Chaos in kontinuierlichen Systemen</b>	<b>509</b>
	(a) LORENZ-ATTRAKTOR, RÖSSLER-ATTRAKTOR UND HUFSEISENTRANSFORMATION	509
	(b) HÖHERDIMENSIONALE SYSTEME	513
	(c) DETERMINISTISCHES CHAOS IN KONSERVATIVEN HAMILTONSYSTEMEN	515
	(d) DETERMINISTISCHES CHAOS IM KONSERVATIVEN HÉNON-SYSTEM	517
	(e) CHAOSTHEORIE UND SENSIBLE ABHÄNGIGKEIT IM BAROTROPEN MODELL	520
	(f) FRONTENSTRUKTUREN AUS "SYNOPTISCHEM CHAOS"	522
	(g) ZUSAMMENFASSUNG: THERMODYNAMIK, CHAOS, SYNERGETIK UND EVOLUTION	523
<b>10</b>	<b>DIE ENERGIE-WIRBEL-THEORIE DER HYDRODYNAMIK UND DER PHYSIK DER ATMOSPHERE</b>	
<b>10.1</b>	<b>Motivation und heuristische Überlegungen</b>	<b>529</b>
	(a) DIE ANTISYMMETRISCHE STRUKTUR DER KANONISCHEN HAMILTON-THEORIE	529
	(b) DIE GRENZEN DER HAMILTON'SCHEN "ENERGIE-THEORIE"	531
<b>10.2</b>	<b>Nichtkanonische Hamilton-Theorie und Nambu-Theorie diskreter Systeme</b>	<b>535</b>
	(a) THEORIE-ENTWICKLUNG AM BEISPIEL DER KREISEL-GLEICHUNGEN	535
	(b) PHASENRAUMGEOMETRIE DES LORENZ-ATTRAKTORS	539
	(c) DIE ANTISYMMETRISCHE STRUKTUR DER NAMBU-THEORIE	540
<b>10.3</b>	<b>Die kontinuierliche Energie-Wirbel-Theorie</b>	<b>543</b>
	(a) VORTICITYDYNAMIK	543
	(b) DREIDIMENSIONALE INKOMPRESSIBLE WIRBELDYNAMIK	546
	(c) KOMPRESSIBLE "ADIABATISCHE" HYDRO-THERMODYNAMIK	548
	(d) STATIONÄRE ENERGIE-WIRBEL-THEORIE UND DER DSI	552
<b>10.4</b>	<b>Anwendungen der Energie-Wirbel-Theorie</b>	<b>555</b>
<b>10.5</b>	<b>Ausblick</b>	<b>559</b>



**ANHANG A DEFORMATIONEN, SPANNUNGEN UND FLUIDE**

<b>A.1</b>	<b>Deformationstensor</b>	<b>561</b>
<b>A.2</b>	<b>Spannungstensor</b>	<b>564</b>
<b>A.3</b>	<b>Deformationsarbeit</b>	<b>566</b>
<b>A.4</b>	<b>Spannungs-Deformationsbeziehung und Definition eines Fluids</b>	<b>567</b>

**ANHANG B KUGELKOORDINATEN UND -FUNKTIONEN**

<b>B.1</b>	<b>Die Grundgleichungen in Kugelkoordinaten</b>	<b>571</b>
	(a) BEWEGUNGSGLEICHUNG	571
	(b) KONTINUITÄTSGLEICHUNG	576
	(c) ERSTER HAUPTSATZ	578
	(d) BAROTROPE VORTICITYGLEICHUNG	578
<b>B.2</b>	<b>Legendre-Polynome und Kugelfunktionen</b>	<b>580</b>

**ANHANG C WELLEN UND SPEKTRALTHEORIE**

<b>C.1</b>	<b>Ebene Wellen</b>	<b>585</b>
<b>C.2</b>	<b>Orthogonalsysteme</b>	<b>587</b>
<b>C.3</b>	<b>Spektralmodelle</b>	<b>589</b>
<b>C.4</b>	<b>Aspekte der spektralen Turbulenztheorie</b>	<b>592</b>
<b>C.5</b>	<b>Gruppengeschwindigkeit und Dispersion</b>	<b>595</b>
<b>C.6</b>	<b>Korrespondenz, Spin und PV-Thinking</b>	<b>597</b>

**ANHANG D FUNKTIONALE UND FUNKTIONALABLEITUNGEN**

<b>D.1</b>	<b>Definitionen</b>	<b>599</b>
<b>D.2</b>	<b>Beispiele</b>	<b>601</b>
<b>D.3</b>	<b>Funktionalableitungen in der Punktemechanik</b>	<b>603</b>
<b>D.4</b>	<b>Funktionalableitungen in der Feldtheorie</b>	<b>604</b>
	<b>Häufig verwendete Symbole</b>	<b>607</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>609</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>613</b>