

Inhaltsverzeichnis

1	Strahlung und Energie in dem System	
	Atmosphäre/Erdoberfläche	1
1.1	Einige Grundlagen	2
1.1.1	Die Erde als Planet	2
1.1.2	Die Gesetze der thermischen Strahlung	5
1.1.3	Grundlagen der Strahlungsübertragung	7
1.1.4	Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre	15
1.2	Die solare Einstrahlung	19
1.2.1	Das globale Bild der Umsätze solarer Strahlung	20
1.2.2	Absorption, Streuung und spektrale Verteilung	25
1.3	Terrestrische Strahlung	43
1.3.1	Das globale Bild – der Treibhauseffekt	45
1.3.2	Emission und Absorption terrestrischer Strahlung	47
1.3.3	Strahlungsübertragung, Strahlungsflüsse, Strahlungskühlung	51
1.4	Strahlungs- und Energiebilanzen	55
1.4.1	Die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche	56
1.4.2	Gesamtbilanz des Systems von Atmosphäre und Erdoberfläche	57
1.5	Temperaturen der bodennahen Luft	63
	Literatur	66
2	Die vertikale Struktur der Atmosphäre	69
2.1	Die Druckabnahme mit der Höhe	69
2.2	Das vertikale Temperaturprofil der Atmosphäre	75
2.2.1	Der trockenadiabatische Temperaturgradient und der Begriff der potenziellen Temperatur	76
2.2.2	Der feuchtadiabatische Temperaturgradient	80
2.2.3	Temperaturgradienten in der Nähe der Erdoberfläche	85

2.2.4	Das atmosphärische Temperaturprofil als Ganzes und der damit verbundene „Stockwerkaufbau“ der Atmosphäre	86
2.3	Schichtungsstabilität	91
2.3.1	Einige qualitative Überlegungen zur Schichtungsstabilität und zur Bildung von Inversionen	92
2.3.2	Quantitative Formulierung eines Stabilitätsmaßes, Brunt-Väisälä-Schwingungen und Schwerewellen	96
2.3.3	Effekte bei konvektiv-turbulenter Durchmischung und bei kollektiver Hebung und Senkung der Luft	98
2.3.4	Feuchtlabilität und Äquivalenttemperatur	100
	Literatur	102
3	Atmosphärische Dynamik	103
3.1	Kräfte in der Atmosphäre und die allgemeine Bewegungsgleichung	104
3.1.1	Gradient- und Coriolis-Kraft und der geostrophische Wind	104
3.1.2	Bewegung unter dem Einfluss von Reibungskräften . . .	109
3.1.3	Der Einfluss der Schwerkraft, das Geopotenzial	114
3.1.4	Die allgemeine Bewegungsgleichung	115
3.1.5	Die Kontinuitätsgleichung, Konvergenzen und Divergenzen	118
3.2	Die Erhaltung der Wirbelstärke („Vorticity“).	122
3.2.1	Vorticity und Vorticity-Gleichung	122
3.2.2	Potenzielle Vorticity	127
3.3	Beschleunigung und Windfelder als Folge horizontaler Temperaturgefälle, barotrope und barokline Schichtung, thermischer Wind	134
3.4	Bodenreibung und spezielle Dynamik der bodennahen Luftschichten	140
	Literatur	146
4	Die atmosphärische Zirkulation	147
4.1	Globale Zirkulationsmuster	147
4.2	Die Zone der Westwinddrift	152
4.2.1	Barotrope und barokline Wellen	153
4.2.2	Fronten	160
4.2.3	Zyklonen und Antizyklonen in der Westwinddriftzone	164
4.3	Weitere Details der globalen Zirkulation	174
4.3.1	Passate, Hadley-Zelle und Subtropenjet	174
4.3.2	Zeitliche und räumliche Variationen der Strömungsmuster	177
4.3.3	El Niño/ <i>Southern Oscillations</i> („ENSO“)	183

4.3.4	Einige Charakteristika der stratosphärischen Zirkulation und des Austauschs zwischen Stratosphäre und Troposphäre	190
4.4	Einige Anmerkungen zu kleinräumigen thermischen Zirkulationen	198
	Literatur.	199
5	Niederschlag, Wasserkreislauf, Klimazonen	201
5.1	Mikrophysik der Kondensation und der Niederschlagsbildung	202
5.1.1	Die homogene Kondensation	203
5.1.2	Heterogene Kondensation	210
5.1.3	Die weitere Entwicklung des Niederschlags	215
5.2	Der globale Wasserkreislauf, Niederschlags- und Klimazonen.	226
5.2.1	Der Kreislauf von Verdunstung und Niederschlag.	227
5.2.2	Klimazonen und regionale Verteilung von Niederschlag und Verdunstung.	230
5.3	Auswaschen atmosphärischer Spurenstoffe durch den Niederschlag.	237
5.3.1	Auswaschen von Aerosolpartikeln.	238
5.3.2	Auswaschen von Gasen durch den Niederschlag.	244
5.4	Grundlagen der Hydrometeorologie mit stabilen Isotopen	248
5.4.1	Isotopentrennung bei der Verdunstung.	250
5.4.2	Einfache Kondensationsmodelle	255
5.4.3	Stabile Isotope in der Natur	259
	Literatur.	264
6	Diffusion und Turbulenz.	267
6.1	Molekulare Diffusion	268
6.1.1	Ein- und dreidimensionale Zufallsbewegung als Idealtyp einer Diffusion	269
6.1.2	Diffusive Flüsse skalarer und vektorieller Beimengungen	276
6.1.3	Die Diffusionsgleichung	281
6.2	Grundlagen der Turbulenz	288
6.3	Die Beschreibung der turbulenten Bewegung	292
6.3.1	Energiedichtespektren (<i>power spectra</i>)	293
6.3.2	Autokorrelationen	296
6.3.3	Größenordnung der horizontalen und vertikalen Fluktuationen	299
6.4	Turbulente Diffusion	302
6.4.1	Quadratisch gemittelte Verschiebung und das Theorem von Taylor	304
6.4.2	Das Konzept der korrelierten Fluktuationen als allgemeiner Ansatz für turbulent-diffusive Flüsse und die hieraus folgende Transportgleichung	308
6.4.3	Der Gradientansatz für die turbulente Diffusion	312

6.4.4	Die frei diffundierende Beimengungswolke und die $K \sim \sigma^{4/3}$ -Beziehung	321
6.5	Empirische Bestimmung der Diffusionsparameter	327
	Literatur	332
7	Dynamik der bodennahen Luftschichten, Diffusion und Austausch in Bodennähe.	335
7.1	Austausch und Dynamik in der Prandtl-Schicht bei neutraler Temperaturschichtung	336
7.1.1	Das logarithmische Windprofil	336
7.1.2	Der Einfluss wechselnder Bodenreibung	344
7.2	Austausch und Dynamik in der Prandtl-Schicht bei thermisch nicht-neutraler Schichtung	349
7.2.1	Kenngrößen zur Parametrisierung labilisierender oder stabilisierender Auftriebskräfte	349
7.2.2	Zusammenhang zwischen Flüssen und Gradienten	357
7.2.3	Der Einfluss von Wasserdampf auf die Stabilität bzw. Labilität	362
7.2.4	Freie Konvektion	364
7.3	Transport skalarer Beimengungen zur Erdoberfläche hin bzw. von der Erdoberfläche weg, Transferwiderstände und Transfergeschwindigkeiten	367
7.3.1	Transferwiderstand und Transfergeschwindigkeit	368
7.3.2	Bulk-Transferkoeffizienten	374
7.3.3	Modelle für den Transferwiderstand und die Transfergeschwindigkeit skalarer Beimengungen in der laminar-viskosen Unterschicht.	375
7.3.4	Gasaustausch zwischen Luft und Wasser.	383
7.3.5	Trockene Deposition von Aerosolpartikeln	387
7.4	Einige Anmerkungen zum Anschluss an die Ekman-Schicht und an die äußere Atmosphäre.	392
	Literatur	396
8	Atmosphärische Spurengase	399
8.1	Überblick	401
8.1.1	Radikalchemie	401
8.1.2	Heterogene Reaktionen	403
8.1.3	Reaktionsgeschwindigkeiten und atmosphärische Lebensdauer	405
8.2	Wichtige chemische Reaktionszyklen in der Atmosphäre	409
8.2.1	Ozon in der Stratosphäre	409
8.2.2	Ozonproduktion und -verteilung	410
8.2.3	Abbaureaktionen	412
8.2.4	Das „Ozonloch“	419
8.2.5	Vulkanische Einflüsse auf die Ozonschicht	425
8.2.6	Globale Ozonabnahme	426

8.3	Ozonchemie in der Troposphäre	429
8.3.1	Photochemische Smogbildung	432
8.3.2	Oxidationskapazität der Atmosphäre	437
8.4	Kohlendioxid	438
8.4.1	Übersicht	438
8.4.2	Der CO ₂ -Anstieg seit dem Beginn der Industrialisierung	443
8.4.3	Kohlendioxid im Ozean	447
8.4.4	Einfluss ozeanischer Karbonatsedimente	454
8.5	Kreisläufe weiterer atmosphärischer Spurengase	456
8.5.1	CH ₄ und CO	457
8.5.2	Schwefelverbindungen	461
8.5.3	Stickstoffverbindungen	463
8.5.4	Halogenverbindungen	465
	Literatur	466
9	Aerosole	473
9.1	Entstehung und Lebenslauf atmosphärischer Aerosole	474
9.1.1	Aerosolproduktion: Nukleation und Dispersion	474
9.1.2	Lebenslauf troposphärischer Aerosole und Größenverteilungen	483
9.1.3	Globale Aerosolquellen und Häufigkeit chemischer Elemente	492
9.2	Grundzüge der Aerosoldynamik	498
9.2.1	Reibungskräfte	499
9.2.2	Thermische Diffusion und thermische Koagulation ...	505
9.3	Stratosphärische Aerosole	515
9.4	Troposphärische Aerosole und atmosphärischer Strahlungshaushalt	522
	Literatur	528
10	Klima und Klimaveränderungen	533
10.1	Klimaänderungen in der Vergangenheit	534
10.1.1	Paläoklima	534
10.1.2	Klima seit der Industrialisierung	545
10.2	Kenngrößen zur Beschreibung des Klimawandels: Klimaantriebe und Klimasensitivität	548
10.2.1	Verschiedene Definitionen für das <i>radiative forcing</i>	552
10.2.2	Übersicht über verschiedene Klimaantriebe	557
10.2.3	Rückkopplungsmechanismen und Klimasensitivität	559
10.2.4	Methoden zur Bestimmung der Klimasensitivität	569

10.3	Klimamodelle.	570
10.3.1	Überblick	571
10.3.2	Zirkulationsmodelle (<i>general circulation models</i> , GCM)	578
10.3.3	Klimaprognosen	584
	Literatur.	587
	Stichwortverzeichnis.	593