

Inhaltsverzeichnis

1	Das Haushaltskonzept	1
1.1	Einleitung	2
1.1.1	Das Klimasystem	5
1.1.2	Der Zustand des Klimasystems	6
1.1.3	Klimamechanismen	8
1.2	Das Ordnungsproblem der Klimatologie	10
1.2.1	Erhebung und Sammlung von Klimadaten	10
1.2.2	Qualitative Ordnung und Inventar der Klimadaten	11
1.2.3	Ordnungsprinzip Klimaklassifikation	13
1.2.4	Gliederung nach Genese der Klimate	16
1.3	Das Haushaltsprinzip	16
1.3.1	Die Kraft des Bilanzierens	17
1.3.2	Bilanzfähigkeit von Klimagrößen	20
1.3.3	Ursachen von Zustandsänderungen	21
1.3.4	Das allgemeine Haushaltsprinzip	24
1.3.5	Ein Wolkentropfenexperiment	25
1.3.6	Komponenten des Haushalts	28
1.4	Hierarchien der Haushalte	32
1.4.1	Räumliche Kopplung	34
1.4.2	Kopplung von Stoffen	34
1.5	Bemerkungen zur Terminologie und Begriffsbildung	41
2	Prototyp der Klimahaushaltsgleichung	45
2.1	Diskrete und stetige Haushalte	46
2.1.1	Punkt- (0-D-)Haushalte	46
2.1.2	Von Linien- zu Volumenhaushalten	47
2.2	Die fluiddynamische Kontinuitätsgleichung	49
2.2.1	Die FKG in einer Dimension – diskrete Formulierung	50
2.2.2	Der Weg ins Kontinuum	53
2.2.3	Die totalzeitliche Ableitung	55
2.2.4	Verallgemeinerung auf 2D	57

2.2.5	Die allgemeine FKG	60
2.3	Geofluidkoordinaten	61
2.3.1	Generalisierte Koordinaten	62
2.3.2	Sphärische Polar- plus Druckkoordinaten	62
2.4	Massenerhaltung der Geofluide	66
2.4.1	Die hydrostatische Näherung	67
2.4.2	Die Massenkontinuitätsgleichung (MKG) der Geofluide	68
2.4.3	Flussform der Zeitableitung	70
2.5	Prototyp der Klimahaushaltsgleichung	71
2.5.1	Das globale Transporttheorem	71
2.5.2	Das lokale Transporttheorem	73
2.6	Die <i>Moden</i> der Klimaformel	74
2.6.1	Der diagnostische Modus	75
2.6.2	Der prognostische Modus	76
2.6.3	Der Modus der modernen Datenanalyse	77
3	Von Messungen über Analysen zu Haushalten	79
3.1	Einige Grundbegriffe der Statistik	80
3.1.1	Prozesse	80
3.1.2	Ereignisse und deren Wahrscheinlichkeiten	81
3.1.3	Zufallsvariable und Verteilungsfunktionen	86
3.1.4	Bivariate Zufallsvariablen	90
3.1.5	Erwartungswerte	93
3.1.6	Stichproben und Schätzwerte	95
3.1.7	Maximum-Likelihood-Schätzer (MLE)	98
3.2	Stochastische Prozesse	101
3.2.1	Autoregressive Prozesse	101
3.2.2	Bayes-Schätzer und dynamische Datenassimilation	106
3.2.3	Assimilation mit einem Energiebilanzmodell	108
3.2.4	Interpretation des analysierten Klimazustands	114
3.2.5	Anwendung auf eine Klimabox	117
3.3	Berechnen von Haushaltgrößen aus dem Klimazustandsvektor	120
3.3.1	Auswertung des atmosphärischen Massenhaushalts	121
3.3.2	Horizontale Feuchtetransportdivergenz	124
3.3.3	Vertikale Feuchtstromdivergenz und Feuchtetendenz	125
3.3.4	Variationelle Anpassung überbestimmter Haushalte	126
3.3.5	Die Bestimmung subskaliger Flüsse im Inneren der Atmosphäre	128
3.4	Zeitreihenanalyse	129
3.4.1	Homogenität von Zeitreihen	131
3.4.2	Trendanalyse	133
3.4.3	Korrelationsanalyse	134
3.4.4	Signifikanz	136
3.4.5	Bivariate Analyse von Zeitreihen	137
3.5	Raumzeitliche Analyse	138

- 4 Der Massenhaushalt der Geofluide** 145
 - 4.1 Darstellung des Massenhaushalts 146
 - 4.1.1 Ausdehnungsloser Massenhaushalt 146
 - 4.1.2 Die Klimasäule 147
 - 4.2 Massenhaushalt der Atmosphäre 151
 - 4.2.1 Die Säulenmasse..... 151
 - 4.2.2 Der Horizontaltransport 153
 - 4.2.3 Zonale Mittelung und Stromfunktion 155
 - 4.3 Massenhaushalt des Ozeans 157
 - 4.4 Grenzen der hydrostatischen Näherung 159
- 5 Der globale Impulshaushalt** 161
 - 5.1 Die allgemeine Zirkulation 162
 - 5.2 Der Impulshaushalt 166
 - 5.2.1 Das Newtonsche Kraftgesetz..... 167
 - 5.2.2 Die wirkenden Kräfte..... 168
 - 5.2.3 Hydrostatische Bewegungsgleichungen 169
 - 5.2.4 Die Scheinreibung 171
 - 5.2.5 Die zeitlich gemittelten Bewegungsgleichungen 175
 - 5.2.6 Windschub und Bergdrehmoment 177
 - 5.3 Das globale Windfeld 179
 - 5.3.1 Der geostrophische Wind 179
 - 5.3.2 Das mittlere zonale Windfeld 181
 - 5.3.3 Der Strahlstrom 182
 - 5.4 Der Drehimpulshaushalt 183
 - 5.4.1 Impuls und Drehimpuls 183
 - 5.4.2 Vertikaler Drehimpulsstrom 186
 - 5.4.3 Horizontaler Drehimpulsstrom 187
 - 5.4.4 Drehimpulshaushalt im zonalen Mittel 189
 - 5.4.5 Das ozeanische Strömungssystem 191
 - 5.5 Zusammenschau: Globaler Impulskreislauf 191
- 6 Der globale Energiezyklus** 193
 - 6.1 Der Strahlungshaushalt des Planeten..... 194
 - 6.1.1 Strahlungsfluss und Strahlungsstrom 195
 - 6.1.2 Solare und terrestrische Strahlung 198
 - 6.1.3 Der 0D-Strahlungshaushalt 202
 - 6.1.4 Das Strahlungsfeld am Oberrand der Atmosphäre 205
 - 6.1.5 Der Treibhauseffekt 213
 - 6.1.6 Das Strahlungsfeld an der Erdoberfläche 217
 - 6.1.7 Die Strahlungsstromdivergenz 220
 - 6.2 Theorie des 3D-Energiehaushalts 223
 - 6.2.1 Thermodynamische Grundbegriffe..... 224
 - 6.2.2 Die Energiegleichung für Geofluide 225
 - 6.2.3 Die mittlere Energiegleichung für die Atmosphäre 229

6.2.4	Die mittlere Energiegleichung für den Ozean	233
6.3	Vertikale Energieströme im Klimasystem	233
6.3.1	Strahlungs-konvektives Gleichgewicht	234
6.3.2	Vertikale Energieströme an der Erdoberfläche	239
6.3.3	Vertikale Energiestromdivergenz in den Klimafluiden	242
6.4	Horizontale Energietransporte im Klimasystem	244
6.4.1	Notwendiger meridionaler Energietransport	244
6.4.2	Beobachteter horizontaler Energietransport	247
6.5	Der Haushalt der verfügbaren potentiellen Energie	250
6.5.1	Verfügbare potenzielle Energie im Schwimmbecken	251
6.5.2	Die verfügbare potenzielle Energie der Atmosphäre	256
6.5.3	Der Lorenzsche Energiezyklus	257
6.6	Variabilität des Energiehaushalts	262
6.6.1	Die Energiegleichung für das Weltmeer	262
6.6.2	Globale Variabilität	264
6.6.3	Regionale Variabilität	267
6.7	Zusammenschau: Globaler Energiekreislauf	271
7	Der hydrologische Kreislauf	275
7.1	Komponenten des Wasserhaushalts	276
7.2	Theorie des 3D-Wasserhaushalts	280
7.2.1	Phasenflüsse: Die Umwandlungsraten des Wassers	281
7.2.2	Vertikales Integral	283
7.2.3	Meridionalprofil	284
7.2.4	Die Verweilzeit in den Wasserreservoirs	285
7.3	Wasserhaushalt der Atmosphäre	286
7.3.1	Der Wassergehalt der Atmosphäre	287
7.3.2	Wasserströme in vertikaler Richtung	289
7.3.3	Wassertransporte in horizontaler Richtung	292
7.3.4	Die Umwandlungsgrößen von Wasser	295
7.4	Wasserhaushalt des Weltmeeres	296
7.4.1	Die ozeanische Geofluidsäule	296
7.4.2	Globaler Wasserhaushalt Weltmeer/Kontinente	297
7.4.3	Haushalte großer Meeresbecken	299
7.4.4	Kopplung von Wasser- und Energiehaushalt	300
7.5	Wasser- und Energiehaushalt der Kryosphäre	301
7.5.1	Haushaltsgleichungen für Inlandeis und Meereis	302
7.5.2	Die Kryosphäre im Mittel	305
7.5.3	Die schrumpfende Kryosphäre	307
7.6	Wasser- und Energiehaushalt der Kontinente	309
7.6.1	Haushaltsgleichungen für die Landsäule	310
7.6.2	Globale Wasserhaushalte	313
7.6.3	Boxhaushalte einzelner Kontinente	315
7.6.4	Regionale und lokale Wasserhaushalte	316
7.7	Zusammenschau: Globaler Wasserkreislauf	318

8	Globale chemische Kreisläufe	321
8.1	Stöchiometrische Grundlagen	322
8.2	Stoffe im Klimasystem	326
8.2.1	Gasförmige Bestandteile	327
8.2.2	Partikelbestandteile	328
8.3	Der CO ₂ -Haushalt	328
8.3.1	Speicherung von CO ₂ in der Atmosphäre	329
8.3.2	Boxhaushalt von Kohlenstoff	332
8.3.3	Globale Flussprofile von Kohlenstoff in horizontaler Verteilung	338
8.3.4	Zusammenschau: Globaler Kohlenstoffkreislauf	342
8.4	Der Methanzyklus	343
9	Partikelkreisläufe	347
9.1	Wolken	348
9.1.1	Das Tropfenspektrum	348
9.1.2	Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion	352
9.1.3	Wolkenwasser	354
9.1.4	Phänomenologie der Wolken	355
9.2	Aerosole	356
9.2.1	Aerosol-Typen	356
9.2.2	Das Spektrum des Aerosols	357
9.2.3	Aerosol-Umwandlungen	359
9.3	Spektrale Haushalte	361
10	Der Klimabegriff im Wandel	365
10.1	Bioide	366
10.2	Haushaltsaspekte lebender Systeme	370
10.3	Finanzhaushalt	371
10.4	Ausblick: Wie weit trägt das Haushaltskonzept?	374
11	Anhänge	377
11.1	Koordinatensysteme	377
11.2	Ausgewählte Kartendarstellungen	379
11.3	Mittelungen	381
11.4	Verwendete Datensätze	386
11.5	Quellennachweis	388
	Literaturverzeichnis	391
	Sachverzeichnis	401