

1	Chaos und Turbulenzen im Universum	1
1.1	Chaos und Turbulenz im täglichen Umfeld	2
1.1.1	Turbulenzen im Flugverkehr	2
1.1.2	Über die Notwendigkeiten einer Turbulenzreduzierung	5
1.1.3	Positive Aspekte der Turbulenz	6
1.1.4	Einfluss der Turbulenz auf Wolkenbildung	6
1.2	Chaos- und Turbulenzerscheinungen auf unserem Planeten .	9
1.2.1	Turbulente Auswirkungen von Naturkatastrophen . .	9
1.2.2	Verwirbelungen innerhalb des Golfstroms	9
1.2.3	Atmosphärische Turbulenzen	13
1.2.4	Auswirkungen des turbulenten Weltraumwetters . . .	20
1.3	Chaos- und Turbulenzerscheinungen im Sonnensystem . . .	24
1.3.1	Die Sonne als astrophysikalisches Forschungslabor . .	24
1.3.2	Solare Magnetfelder, Turbulenzen und Sonneneruptionen	24
1.3.3	Atmosphärische Turbulenzen und die Aufheizung der Sonnenkorona	28
1.3.4	Der Sonnenwind und sein Einfluss auf die Heliosphäre	30
1.4	Stellare Turbulenzen	34
1.4.1	Turbulenzen im interstellaren Medium	35
1.4.2	Turbulente frühe Phasen der Sternentstehung	41
1.4.3	Turbulente Sternentwicklungsprozesse	50
1.5	Galaktische Turbulenzen	70
1.5.1	Turbulenzen in der Umgebung unserer Milchstraße .	70

1.5.2	Aktive Galaxien	73
1.5.3	Turbulenzen in kollidierenden Galaxienhaufen	78
	Weiterführende Literatur	80
2	Geordnete und sich selbstorganisiert entwickelnde kosmische Objekte	83
2.1	Kosmische Turbulenzen und Selbstorganisationsprozesse in enger Wechselbeziehung	83
2.2	Kosmologische Entwicklungsszenarien	89
2.2.1	Das kosmologische Urknallparadigma	89
2.2.2	Ideengehalt des Urknalls	95
2.2.3	Frühe kosmologische Entwicklungsepochen nach dem Urknall	97
2.2.4	Möglicher kosmologischer Einfluss primordialer magnetischer Feldstrukturen	109
2.2.5	Pop-III-Sterne, frühe Supernovae und massereiche stellare Schwarze Löcher	113
2.2.6	Entstehung erster Proto- und Zwerggalaxien	119
2.3	Wohlgeordnete galaktische Strukturen	121
2.3.1	Vielfalt der Galaxientypen	121
2.3.2	Galaktische Kollisionsstrukturen	125
2.4	Scheibe-Jet-Strukturen um kompakte Himmelsobjekte	129
2.4.1	Galaktische Scheibe-Wind-Strukturen der Milchstraße	129
2.4.2	Das kosmische Scheibe-Jet-Paradigma	129
2.4.3	Scheibe-Jet-Strukturen aktiver galaktischer Kerne	132
2.4.4	Protostellare Scheibe-Jet-Strukturen	133
2.4.5	Stellare Scheibe-Jet-Strukturen	137
2.5	Selbstorganisationsprozesse im Sonnensystem	143
2.5.1	Geordnete Scheibenstrukturen im Sonnensystem	144
2.5.2	Solare magnetische Selbstorganisationsprozesse	147
2.5.3	Selbstorganisationsprozesse im Erdsystem	149
	Weiterführende Literatur	152
3	Turbulenz- und Chaostheorien	153
3.1	Turbulenz in neutralen Fluiden	161
3.1.1	Erzeugung von Turbulenzen	161
3.1.2	Zur Entwicklung von Turbulenzmodellen	169
3.1.3	Zur Vermessung und statistischen Analyse von Turbulenzfeldern	179
3.2	Deterministisches Chaos	189

3.2.1	Grenzen der Naturerkenntnis	189
3.2.2	Grundlagen der Chaostheorie	193
3.2.3	Ordnungsstrukturen und Deterministisches Chaos in der Populationsdynamik	200
3.2.4	Chaos und Turbulenz: eine enge Verwandtschaftsbeziehung	204
3.3	Turbulenz in magnetisierten Medien	207
3.3.1	Zur Bedeutung der Plasmaturbulenz	207
3.3.2	Magnetohydrodynamische Fluidturbulenzen	219
3.3.3	Datengewinnung im Rahmen der kosmischen Plasmaturbulenz	225
3.3.4	MHD-Turbulenztheorien	228
3.3.5	Zur besonderen Komplexität magnetischer Turbulenzen	234
3.4	Kinetische Plasmaturbulenzen	239
3.4.1	Magnetohydrodynamische und kinetische Turbulenz .	239
3.4.2	Kinetische Turbulenzmodelle	242
3.4.3	Kollisions-, Dämpfungs- und Dissipationsprozesse in kosmischen Plasmen	247
3.5	Zur Bedeutung kosmischer Turbulenzforschung	250
3.5.1	Elemente der Turbulenzforschung	250
3.5.2	Grenzen der Turbulenzanalyse und Schließungsprobleme	253
3.5.3	Die Eigenschaften kosmischer Turbulenzen	255
	Weiterführende Literatur	256
4	Theorien zur Selbstorganisation	259
4.1	Kosmische Selbstorganisation	259
4.2	Zur historischen Entwicklung und Verwendung des Begriffs der Selbstorganisation	263
4.2.1	Selbstorganisation – Vom Urknall bis zum menschlichen Geist	268
4.2.2	Synergetik, die Lehre der Selbststrukturierung von Materie und Natur	269
4.2.3	Hyperzyklen und die Entwicklung des Lebens	270
4.2.4	Die Gaia-Hypothese und das Leben auf unserem Planeten	271
4.3	Selbstorganisierte Strukturbildungsprozesse in Fluiden	275
4.3.1	Ausbildung von Taylor-Wirbeln in rotierenden Fluiden	275

4.3.2	Thermisch getriebene Konvektionsströmungen	278
4.3.3	Musterbildungsprozesse bei chemischen Reaktionen	281
4.4	Theorien zur Selbstorganisation	282
4.4.1	Entropie und Selbstorganisationsprozesse in dissipativen Strukturen	282
4.4.2	Synergetik, Ordnungsparameter und das Prinzip der Versklavung	286
4.4.3	Selbstorganisationsprozesse in autokatalytischen Hyperzyklen	293
4.4.4	Selbstorganisierte Kritikalität und Katastrophentheorie	298
4.5	Allgemeine Charakteristika selbstorganisierter Systeme	303
	Weiterführende Literatur	307
5	Astrophysikalische Strukturbildungsprozesse	309
5.1	Magnetische Selbstorganisationsprozesse	316
5.1.1	Dynamoprozesse zur Erzeugung kosmischer Magnetfelder	320
5.1.2	Turbulente kleinskalige Dynamos	321
5.1.3	Dynamotheorie mittlerer Felder	323
5.1.4	Der turbulente magnetische Aktivitätszyklus der Sonne	328
5.1.5	Turbulente Planetare Dynamoprozesse	332
5.1.6	Erzeugung magnetischer Saalfelder	341
5.1.7	Spezielle Organisationsformen magnetischer Felder	346
5.2	Selbstorganisationsprozesse in stellaren und galaktischen Systemen	348
5.2.1	Stellare Entwicklungsprozesse	349
5.2.2	Organisationsformen galaktischer Systeme	356
5.2.3	Selbstorganisationsprozesse in Scheibe-Jet-Systemen	369
5.3	Entstehung der Planetensysteme	380
5.3.1	Historisches zur Planetensystementwicklung	380
5.3.2	Besondere Eigenschaften extrasolarer Planetensysteme	384
5.3.3	Staubbildung und die Entstehung der Planetesimale	387
5.3.4	Das „Grand-Tack-Modell“ und die Entwicklung des inneren Sonnensystems	396
5.3.5	Die Entstehung des Erde-Mond-Systems	405
5.3.6	Das „Nizza-Modell“ und die Entwicklung des äußeren Sonnensystems	407
5.3.7	Die Atmosphären der Planeten	413
	Weiterführende Literatur	419

6	Unser Leben im Universum	421
6.1	Grundlagen für die Evolution des Lebens	421
6.1.1	Über die Möglichkeit von Leben auf Planeten	423
6.1.2	Astrophysikalische und geologischen Grundlagen für die Evolution des Lebens auf der Erde	426
6.1.3	Erdatmosphärische Lebensgrundlagen	429
6.1.4	Über die Zellstrukturen als Basiselemente der Lebensentwicklung	431
6.2	Sonne, Heliosphäre und das Weltraumwetter	433
6.2.1	Der Sonnenwind in der Heliosphäre	434
6.2.2	Einflussnahme auf Prozesse in der Erdmagnetosphäre	436
6.2.3	Auswirkung des Weltraumwetters auf den Menschen	439
6.3	Biochemische Entwicklung des Lebens auf der Erde	442
6.3.1	Zur Definition des Lebensbegriffs	443
6.3.2	Geeignete Orte und notwendige Bedingungen für die frühe Entstehung von Leben	448
6.3.3	Makromoleküle und Zellstrukturen	454
6.3.4	Zellatmung und die Erzeugung des Energieträgers ATP	457
6.3.5	Die Entwicklung der Zellstrukturen	463
6.3.6	Selbstorganisation des Lebens	467
6.4	Stoff-, Energiekreisläufe und das Erdklima	477
6.4.1	Stoffkreisläufe im System Erde	479
6.4.2	Die Energiekreisläufe des Erdsystems	488
6.4.3	Das komplexe Klimasystem der Erde	491
6.5	Wachstumsgrenzen für das Erdsystem	494
6.5.1	Die zunehmende Abstrahlung „thermischen Mülls“	494
6.5.2	Über die Grenzen regenerativer Energien	495
6.5.3	Die Entladung der Erdbatterie	498
	Weiterführende Literatur	500
	Epilog	503
	A Mathematische Grundlagen	511
	B Physikalische Grundlagen	529
	Glossar	571
	Sachverzeichnis	587