

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Chaos und Turbulenzen im Universum . . . . .</b>	<b>1</b>
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

XXVII

1.5.2 Aktive Galaxien . . . . .	73
1.5.3 Turbulenzen in kollidierenden Galaxienhaufen . . . . .	78
Weiterführende Literatur . . . . .	80
<b>2 Geordnete und sich selbstorganisiert entwickelnde kosmische Objekte . . . . .</b>	<b>83</b>
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
<b>3 Turbulenz- und Chaostheorien . . . . .</b>	<b>153</b>
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	<b>Theorien zur Selbstorganisation</b> . . . . .	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
<b>4.4 Theorien zur Selbstorganisation . . . . .</b>	<b>282</b>
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
<b>4.5 Allgemeine Charakteristika selbstorganisierter Systeme . .</b>	<b>303</b>
Weiterführende Literatur . . . . .	307
<b>5 Astrophysikalische Strukturbildungsprozesse . . . . .</b>	<b>309</b>
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 Saatfelder . . . . .	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 Planetesimalen .	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

<b>6 Unser Leben im Universum . . . . .</b>	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
<b>Epilog . . . . .</b>	503
<b>A Mathematische Grundlagen . . . . .</b>	511
<b>B Physikalische Grundlagen . . . . .</b>	529
<b>Glossar . . . . .</b>	571
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	587