

# Inhaltsverzeichnis

---

1	<b>Das Universum</b> .....	1
1.1	<b>Die Milchstraße und Galaxien</b> .....	1
1.2	<b>Teleskope</b> .....	3
1.3	<b>Entfernungen</b> .....	5
1.3.1	Sonnenentfernung des Aristarch von Samos .....	5
1.3.2	Die kosmische Entfernungsleiter .....	6
1.3.3	Cepheiden .....	6
1.3.4	Typ-Ia-Supernovae .....	7
1.4	<b>Rotverschiebung, Fluchtgeschwindigkeit</b> .....	8
1.5	<b>Das Hubble-Gesetz, der Urknall (Big Bang)</b> .....	9
1.6	<b>Die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung</b> .....	9
1.6.1	COBE-Resultate .....	10
1.6.2	WMAP und Planck-Ergebnisse .....	10
1.7	<b>Weltmodelle</b> .....	12
1.8	<b>Planck-Epoche, der Beginn der Welt?</b> .....	13
1.8.1	Die Planck-Zeit .....	14
1.8.2	Theorien der Quantengravitation .....	15
1.9	<b>Der Zoo der Elementarteilchen</b> .....	16
1.10	<b>Die Frühgeschichte des Universums bis zur Rekombination</b> .....	17
1.10.1	GUT-Epoche ( $10^{-43}$ – $10^{-36}$ s) .....	20
1.10.2	Elektroschwache Epoche ( $10^{-36}$ – $10^{-12}$ s) .....	20
1.10.3	Quark-, Hadronen- und Leptonen-Epoche ( $10^{-12}$ s bis 3 min) .....	21
1.10.4	Photonen-Epoche (3 min bis 380.000 Jahre) .....	22
1.11	<b>Die Rekombinationszeit, Analyse der kosmischen Hintergrundstrahlung</b> .....	23
1.12	<b>Galaxien, Sternhaufen und ihre Verteilung</b> .....	25
1.12.1	Morphologie der Objekte .....	25
1.12.2	Verteilung der Galaxien im Weltall .....	27
1.13	<b>Dunkle Materie</b> .....	28
1.13.1	Hinweise auf Dunkle Materie .....	28
1.13.2	Kandidaten für Dunkle Materie .....	30
1.14	<b>Die Strukturentwicklung nach der Rekombinationsepoche</b> .....	31
1.15	<b>Die frühen massereichen Objekte des Weltalls</b> .....	32
1.15.1	Beobachtung von frühen Galaxien und Quasaren .....	33
1.15.2	Die ersten Population-III-Sterne .....	33
1.15.3	Die Entstehung von Galaxien .....	35

1.15.4	Bildung von supermassereichen Schwarzen Löchern und Quasaren .....	37
1.15.5	Kugelhaufen und Offene Sternhaufen .....	37
1.15.6	Galaxienentwicklung bis zur Gegenwart .....	37
1.16	<b>Die zukünftige Entwicklung des Universums, das Ende der Welt</b> .....	38
1.16.1	Big Rip .....	39
1.16.2	Der Kältetod (Big Freeze) .....	40
1.17	<b>Multiversen, Weltgeschichte und das kosmische Archiv</b> .....	41
1.17.1	Beobachtungen und Theorie .....	41
1.17.2	Weltgeschichte, das kosmische Archiv .....	41
1.17.3	Andere Welten, Multiversen .....	43
	<b>Literatur</b> .....	44
2	<b>Sterne und Planeten</b> .....	47
2.1	<b>Sternentstehung</b> .....	47
2.1.1	Molekülwolken und Staub .....	47
2.1.2	Kollapssimulationen .....	48
2.2	<b>Vor-Hauptreihenentwicklung der Sterne</b> .....	49
2.2.1	Innere Entwicklung .....	49
2.2.2	T-Tauri-Stadium .....	51
2.3	<b>Nach-Hauptreihenentwicklung der Sterne</b> .....	53
2.4	<b>Die Mitglieder des Sonnensystems</b> .....	55
2.4.1	Planeten .....	55
2.4.2	Monde .....	58
2.4.3	Meteorite .....	60
2.4.4	Asteroiden .....	61
2.4.5	Kometen .....	64
2.5	<b>Planeten außerhalb des Sonnensystems</b> .....	66
2.5.1	Anzahl der extrasolaren Planeten .....	66
2.5.2	Radialgeschwindigkeitsmethode .....	67
2.5.3	Transit-Methode .....	68
2.5.4	Microlensing-Methode .....	69
2.5.5	Direkte Methoden .....	69
2.6	<b>Protoplanetare Scheiben</b> .....	70
2.7	<b>Planetesimale</b> .....	72
2.7.1	Bildung der Planetesimale .....	72
2.7.2	Altersbestimmung der Planetesimale und ihrer Bestandteile .....	73
2.7.3	Die ältesten Objekte des Sonnensystems .....	73
2.7.4	Schmelzvorgänge in Planetesimalen .....	74

2.7.5	Zusammensetzung der Planetesimale und der Erde .....	75
2.8	<b>Planetenentstehung</b> .....	75
2.9	<b>Migrationen, Instabilitäten</b> .....	77
	<b>Literatur</b> .....	79
3	<b>Die Erde und Erd-ähnliche Planeten</b> .....	81
3.1	<b>Die frühe Erde</b> .....	81
3.1.1	Die Entstehung des Mondes .....	81
3.1.2	Das späte schwere Bombardement (LHB) .....	82
3.1.3	Die Umwelt auf der frühen Erde .....	83
3.2	<b>Seismologie und der Aufbau der Erde</b> .....	85
3.3	<b>Vulkanismus und die Zusammensetzung der Gesteine</b> .....	87
3.4	<b>Zusammensetzung von Erdkern und Erdmantel</b> .....	91
3.5	<b>Das Erdmagnetfeld und die Spreizung des Ozeanbodens</b> .....	91
3.6	<b>Konvektion, Hotspots und Plattentektonik</b> .....	93
3.6.1	Mantelkonvektion .....	94
3.6.2	Plume-Konvektion .....	95
3.6.3	Plattengrenzen .....	95
3.7	<b>Gebirgsbildung und die Entwicklung der Kontinente</b> .....	97
3.8	<b>Die Atmosphäre</b> .....	100
3.8.1	Habitable Zone .....	100
3.8.2	Planetenmasse und das Festhalten der Atmosphäre .....	101
3.9	<b>Lebensdauer der Sterne</b> .....	103
3.10	<b>Gezeitenwirkungen auf die Planeten</b> .....	103
3.11	<b>Sonnenleuchtkraft und die kontinuierlich habitable Zone</b> .....	104
3.12	<b>Instabilitäten der Planetenatmosphären</b> .....	105
3.12.1	Der Carbonat-Silicat-Zyklus .....	106
3.12.2	Irreversibler und feuchter Treibhauseffekt .....	106
3.12.3	Irreversible Vereisung .....	107
3.13	<b>Achsenvariationen der Planeten</b> .....	108
3.14	<b>Biogene Auswirkungen auf die Atmosphären</b> .....	110
3.15	<b>Vereisungen des Proterozoikums, die Schneeball-Erde</b> .....	111
3.16	<b>Grenzen der kontinuierlich habitablen Zone</b> .....	112
3.17	<b>Anzahl der habitablen Planeten in der Galaxis</b> .....	113
	<b>Literatur</b> .....	114
4	<b>Die einzigartigen Substanzen Kohlenstoff und Wasser</b> .....	117
4.1	<b>Die chemischen Elemente</b> .....	117

4.2	<b>Für das Leben wichtige Elemente</b>	117
4.3	<b>Die Einzigartigkeit des Elements Kohlenstoff, organische Verbindungen</b>	118
4.4	<b>Leben auf der Basis von anderen Elementen?</b>	120
4.5	<b>Die Einzigartigkeit von Wasser</b>	121
	<b>Literatur</b>	122
5	<b>Das Leben und seine Entstehung</b>	123
5.1	<b>Das Phänomen Leben</b>	123
5.2	<b>Elemente der Biochemie</b>	123
5.2.1	Proteine, Kohlenhydrate, Lipide und Nukleinsäuren	123
5.2.2	Der genetische Code	127
5.2.3	ATP, der Energielieferant der biochemischen Welt	127
5.2.4	Die Synthese von RNA, DNA und Proteinen	128
5.3	<b>Zellen und Organellen</b>	130
5.4	<b>Sequenzierung und Klassifikation der Organismen</b>	131
5.4.1	Methode der Sequenzierung	131
5.4.2	Molekulare Uhren	132
5.4.3	Der evolutionäre Baum der Bakterien	132
5.4.4	Zeitskala der Evolution des Lebens	133
5.4.5	Sequenzierung und das komplette Genom	134
5.5	<b>Geologische Spuren des Lebens</b>	134
5.6	<b>Die Umwelt zu Beginn des Lebens</b>	136
5.6.1	Die Urey-Miller Experimente	137
5.6.2	Synthetische Biologie und die Schaffung von Leben	138
5.6.3	Die Suche nach LUCA	139
5.6.4	Randbedingungen	139
5.7	<b>Abiotische chemische Evolution und Lebensbildungstheorien</b>	140
	<b>Literatur</b>	143
6	<b>Die Darwinsche Theorie und die Eukaryoten</b>	145
6.1	<b>Die Darwin-Theorie der Evolution</b>	145
6.2	<b>Gerichtete Evolution und Konvergenz</b>	146
6.3	<b>Entwicklung der Eukaryoten und die Endosymbiose</b>	147
6.4	<b>Sauerstoff als Umweltkatastrophe</b>	148
6.5	<b>Zellkern und Mitose</b>	150
6.6	<b>Sexualität und Meiose</b>	151
6.7	<b>Genetische Evolution</b>	152
	<b>Literatur</b>	153

7	<b>Mehrzelligkeit</b> .....	155
7.1	<b>Mehrzelligkeit, Organe und der programmierte Zelltod</b> .....	155
7.2	<b>Leben auf dem Land</b> .....	158
7.3	<b>Eroberung des Landes durch die Pflanzen</b> .....	159
7.3.1	Die Devonische Revolution .....	161
7.3.2	Wurzeln und Nahrungsbedarf .....	161
7.3.3	Leitungssysteme .....	161
7.3.4	Stämme .....	162
7.4	<b>Die Radiation der Landpflanzen</b> .....	162
7.4.1	Moose und Gefäßsporenpflanzen .....	162
7.4.2	Nacktsamige Pflanzen (Gymnospermen) .....	162
7.4.3	Blütenpflanzen (Angiospermen) .....	164
7.5	<b>Die Eroberung des Landes durch Tiere</b> .....	164
	<b>Literatur</b> .....	167
8	<b>Säugetiere und Intelligenz</b> .....	169
8.1	<b>Geschichte der Säugetiere</b> .....	169
8.2	<b>Das große Massensterben an der K/T-Grenze</b> .....	171
8.3	<b>Das Tertiär und die Evolution der Säugetiere</b> .....	174
8.4	<b>Evolution der Primaten</b> .....	174
8.5	<b>Gehirngrößen</b> .....	178
8.6	<b>Entwicklung der Intelligenz</b> .....	179
8.7	<b>Die Spiegelselbsterkenntnis</b> .....	181
8.8	<b>Künstliche Intelligenz und Robotik</b> .....	183
8.8.1	Zentraleinheiten (CPUs), Mikro-Maus-Roboter .....	183
8.8.2	Reaktive Gehirnarchitektur .....	184
8.8.3	Imaginative Gehirnarchitektur .....	185
8.9	<b>Das Phänomen Bewusstsein</b> .....	186
8.9.1	Was ist Bewusstsein? .....	186
8.9.2	Das „leichte“ und „harte“ Problem des Bewusstseins .....	187
8.10	<b>Höhere Gehirnfunktionen bei Tieren</b> .....	187
8.10.1	Gedächtnisse .....	187
8.10.2	Analyse von Sinneswahrnehmungen .....	188
8.10.3	Imagination, mentale Bilder, Vorwärtsmodelle .....	188
8.10.4	Aufmerksamkeit .....	188
8.10.5	Selbstbewusstsein, das „Ich“ .....	188
8.10.6	Zweckbestimmtes Handeln .....	189
8.10.7	Emotionalität .....	190

8.10.8	Freier Wille .....	190
8.11	<b>Materie, Geist und Information</b> .....	190
8.12	<b>Simulation der Evolution?</b> .....	192
	<b>Literatur</b> .....	193
9	<b>Der Moderne Mensch</b> .....	197
9.1	<b>Geschichte des modernen Menschen</b> .....	197
9.1.1	Entwicklung der Hominiden .....	197
9.1.2	Aufrechter Gang, Freilegung der Hände .....	200
9.1.3	Gehirnentwicklung .....	200
9.2	<b>Technologische Evolution</b> .....	201
9.2.1	Werkzeuggebrauch bei den Menschenaffen .....	201
9.2.2	Werkzeuggebrauch der Hominini .....	202
9.2.3	Steinwerkzeuge .....	203
9.2.4	Speere .....	204
9.2.5	Feuer, Kochen .....	205
9.2.6	Arbeitsteilung, Unterricht, Monogamie .....	206
9.2.7	Bauten, Siedlungen .....	206
9.2.8	Kommunikation, Sprache .....	208
9.2.9	Ötzi .....	208
9.2.10	Hochtechnologie, Schrift .....	210
9.3	<b>Kulturelle Evolution</b> .....	210
9.3.1	Recht .....	211
9.3.2	Religion .....	212
9.4	<b>Die Biologie des Gehirns</b> .....	214
9.5	<b>Neurophysiologische Untersuchungsmethoden</b> .....	215
9.5.1	Magnetresonanztomographie (MRT) .....	216
9.5.2	Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRI) .....	217
9.5.3	Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und andere Verfahren .....	217
9.6	<b>Zentren des Gehirns</b> .....	218
9.6.1	Die verschiedenen Gehirnareale .....	218
9.6.2	Somatosensorischer und motorischer Cortex .....	219
9.6.3	Visueller und auditorischer Cortex .....	220
9.6.4	Hypothalamus, Hippocampus, Thalamus und Kleinhirn .....	221
9.7	<b>Die höchsten Gehirnfunktionen beim Menschen</b> .....	221
9.7.1	Bewusstsein .....	222
9.7.2	Selbstbewusstsein, das Ich, die Erste-Person-Perspektive .....	223
9.7.3	Emotionalität .....	224

9.7.4	Freier Wille.....	224
9.7.5	Zielorientiertes Handeln.....	228
9.7.6	Logisches verbales Denken.....	228
9.8	<b>Der Unterschied zwischen Mensch und Tier.....</b>	<b>229</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>231</b>
10	<b>Die Zukunft der Menschheit.....</b>	<b>235</b>
10.1	<b>Der unaufhaltsame technologische Fortschritt.....</b>	<b>235</b>
10.2	<b>Die anhaltende kulturelle Evolution.....</b>	<b>236</b>
10.3	<b>Der evolutionäre Konvergenzpunkt.....</b>	<b>237</b>
10.4	<b>Extraterrestrisches intelligentes Leben.....</b>	<b>238</b>
10.5	<b>Gefahren, das Fermi-Paradox.....</b>	<b>239</b>
10.6	<b>Die „Gotthypothese“ – für und wider.....</b>	<b>240</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>242</b>
	<b>Anhangtabellen.....</b>	<b>243</b>