

Geschichte der Biologie

- Theorien, Methoden, Institutionen, Kurzbiographien -

Herausgegeben von **Ilse Jahn**, Berlin

unter Mitwirkung von Erika Krauß, Rolf Löther, Hans Querner,
Isolde Schmidt und Konrad Senglaub

Bearbeitet von 21 Fachwissenschaftlern

3., neubearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 227 Abbildungen und 238 Porträts

Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg · Berlin

Inhaltsverzeichnis

Mitarbeiterverzeichnis	5
Vorwort	6
Einführung über Gegenstand, Methodik und Traditionen der Biologiegeschichtsschreibung (I. JAHN).....	17
Teil I. Vorwissenschaftliche biologische Kenntnisse und Traditionen	27
1. Kenntnisse und Vorstellungen über Lebewesen und Lebensprozesse in frühen Kulturen (R. LÖTHER).....	27
1.1. Vorgeschichtliche Zeugnisse	27
1.2. Frühe Hochkulturen und ihre Überlieferungen	32
1.2.1. Erfahrungswissen und religiöses Weltbild im alten Ägypten	33
1.2.2. Erfahrungswissen und religiöses Weltbild im alten Mesopotamien.....	36
1.2.3. Erfahrungswissen und Naturphilosophie im alten Indien	39
1.2.4. Erfahrungswissen und Naturphilosophie im alten China	44
2. Naturforschung und Naturphilosophie in der Antike (G. HARIG † und J. KOLLESCH) ...	48
2.1. Biologisches Wissen in den homerischen Dichtungen	48
2.2. Frühgriechische Naturlehren	49
2.2.1. Empirische Quellen	50
2.2.2. Biologische Fragestellungen in Philosophie und Medizin	51
2.2.2.1. Das Viererschema in der Humoralpathologie	54
2.2.2.2. Zeugungs- und Vererbungslehren	55
2.2.3. Zoologische und botanische Kenntnisse	58
2.3. Theoretische Konzeptionen und die Entwicklung biologischer Disziplinen	61
2.3.1. Theorien des Aristoteles über Lebensprozesse und seine Zoologie	62
2.3.1.1. Das Viererschema	64
2.3.1.2. Die Zeugungs- und Vererbungslehre	64
2.3.1.3. Zoologische Schriften und methodische Grundsätze	66
2.3.2. Die peripatetische Schule und die Botanik des Theophrast	68
2.4. Biologie im Hellenismus	69
2.4.1. Medizinische und philosophische Traditionen in Anatomie, Physiologie und Zoologie.....	70
2.4.2. Botanik in der Pharmakologie und Landwirtschaft	73
2.5. Biologie in der römischen Periode	74
2.5.1. Allgemeine theoretische Konzeptionen	75
2.5.2. Die enzyklopädische Literatur	79
2.5.3. Zoologische und botanische Schriften	81
3. Biologische Kenntnisse und Überlieferungen im Mittelalter (4.–15. Jh.) (R. NABIELEK)	88
3.0. Einleitung	88
3.1. Biologie der byzantinischen Periode	94
3.1.1. Die biologischen Kenntnisse in der Bibel	96
3.1.2. Theoretische Grundlagen der byzantinischen Biologie	100

3.1.2.1.	Die biologischen Anschauungen bei den Kirchenvätern	100
3.1.2.2.	Die großen medizinischen Kompilatoren	102
3.1.3.	Tierkunde	105
3.1.3.1.	Tierkundliche Spezialschriften	105
3.1.3.2.	Tierkundliches in Werken gemischten Inhalts	106
3.1.3.3.	Tierepen	107
3.1.3.4.	Jagdliteratur	107
3.1.3.5.	Tierzucht und Tierheilkunde	108
3.1.4.	Pflanzenkunde	109
3.1.4.1.	Medizinische Botanik	109
3.1.5.	Pflanzkultur und Landwirtschaft	110
3.1.5.1.	Gartenkultur	110
3.1.5.2.	Die Geponika	110
3.2.	Biologie der arabisch-islamischen Periode.	110
3.2.1.	Die biologischen Kenntnisse vor dem Islam	112
3.2.2.	Die biologischen Kenntnisse im Koran	113
3.2.3.	Die Entwicklung theoretischer biologischer Ansichten	116
3.2.4.	Tierkunde	125
3.2.4.1.	Philologische Tierkunde	127
3.2.4.2.	Tierkundliches in Werken gemischten Inhalts	127
3.2.4.3.	Die Gattung der <i>manāfiʿ al-hayawān</i> -Schriften	131
3.2.4.4.	Tierkundliches in medizinischen Schriften	131
3.2.4.5.	Jagdliteratur	132
3.2.4.6.	Tierzucht und Tierheilkunde	133
3.2.5.	Pflanzenkunde	133
3.2.5.1.	Philologische Pflanzenkunde	135
3.2.5.2.	Pflanzenkundliches in Werken gemischten Inhalts	135
3.2.5.3.	Medizinische Botanik	136
3.2.6.	Pflanzkultur und Landwirtschaft	138
3.2.6.1.	Gartenkultur	138
3.2.6.2.	Landwirtschaft	138
3.3.	Biologie der lateinisch-christlichen Periode	140
3.3.1.	Der Klerus als Bildungsträger	141
3.3.1.1.	Die enzyklopädische Literatur	141
3.3.2.	Die Scholastik	144
3.3.2.1.	Die Herausbildung der Universitäten	145
3.3.3.	Rezeption des arabisch-islamischen Wissensgutes und die Bekanntheit mit den naturwissen- schaftlichen Schriften des Aristoteles	146
3.3.4.	Naturphilosophie und Naturlehre an den mittelalterlichen Universitäten	149
3.3.5.	Die Entwicklung theoretischer biologischer Ansichten	150
3.3.5.1.	Die ersten Keime einer neuen Anatomie	151
3.3.6.	Tierkunde	152
3.3.6.1.	Bestiarien	153
3.3.6.2.	Jagdliteratur	154
3.3.6.3.	Tierzucht und Tierheilkunde	155
3.3.7.	Pflanzenkunde	156
3.3.7.1.	Die pflanzenkundlichen Lehrgedichte/Kräuterbücher	157
3.3.8.	Pflanzkultur und Landwirtschaft	159
3.3.8.1.	Gartenkultur	159
3.3.8.2.	Landwirtschaft	160
Teil II.	Die biologischen Wissenschaften im Einflußbereich der sich entwickelnden neuzeit- lichen Naturwissenschaften	161
4.	Botanik und Zoologie in der Zeit der Renaissance und des Humanismus (B. HOPPE) ..	161
4.1.	Grundlegende politische und kulturelle Wandlungen in der frühen Neuzeit	161
4.1.1.	Grundzüge der Naturwissenschaft und ihrer philosophischen Voraussetzungen	163
4.1.2.	Naturbeobachtung und -darstellung in der Kunst und Buchillustration	164
4.1.3.	Aus der Medizin erwachsene neue biologische Anschauungen	167
4.2.	Antike Tradition und neue Empirie in der Botanik und Zoologie	170
4.2.1.	Humanistische Aneignung antiker Texte	171
4.2.2.	Erneuerung der Forschungsgrundsätze	173

4.3.	Die Pflanzenkunde	175
4.3.1.	Enzyklopädische Kräuterbücher	176
4.3.2.	Astrologische und magische Pflanzenkunde	181
4.3.3.	Floristisch ausgerichtete Werke	182
4.3.4.	Erweiterung der Botanik als Wissenschaft	182
4.3.4.1.	Ergebnisse empirischer Einzelforschung	182
4.3.4.2.	Dedukto-induktiv begründete Organographie und Systembildung	183
4.4.	Die Tierkunde	185
4.4.1.	Enzyklopädische Tierbücher	185
4.4.2.	Tierbücher unter dem Einfluß der christlichen Religion	188
4.4.3.	Faunistisch ausgerichtete Werke	189
4.4.4.	Studien über einzelne Tierarten, -klassen und zoologische Teilgebiete	191
5.	Naturphilosophie und Empirie in der Frühaufklärung (17. Jh.) (I. JAHN)	196
5.1.	Der Einfluß der Philosophien von F. Bacon und R. Descartes auf die Methoden der Forschung ..	196
5.1.1.	Vergleichende Anatomie und Iatromechnik – Erkenntnis organischer Strukturen und Funktionen	198
5.1.2.	Die Entwicklung der Mikroskopie und ihre Konsequenzen für biologische Theorien	204
5.2.	Die Verbindung empirischer Handwerkskultur mit Bacons Methodenideal zur chemisch-physiologischen Untersuchungstechnik	213
5.2.1.	Die Iatrochemie als Weg zu einem chemisch-physiologischen Organismuskonzept	214
5.2.2.	Die korpuskulartheoretische Richtung in der Iatrochemie und ihr Einfluß auf das mechanische Organismuskonzept	218
5.3.	Die Ordnung und Systematik der „drei Naturreiche“	219
5.3.1.	Voraussetzungen und Hilfsmittel (Gärten, Museen, Kataloge)	219
5.3.2.	Botanische Klassifikationssysteme	222
5.3.3.	Zoologische Klassifikationssysteme	225
6.	Biologische Fragestellungen in der Epoche der Aufklärung (18. Jh.) (I. JAHN)	231
6.1.	Philosophische Konsequenzen und alternative Konzepte der neuen Naturforschung	231
6.1.1.	Für biologische Fragen des 18. Jahrhunderts relevante Theorien	231
6.1.2.	Alternative Organismustheorien zur Mechanik	232
6.2.	Der Wandel der Naturgeschichte – Neue botanische und zoologische Systeme und Artenbestandsaufnahme	235
6.2.1.	Das Reformwerk Carl von Linnés und seine Folgen	235
6.2.2.	Kontroversen über künstliche und natürliche Systeme	242
6.2.3.	Die Stufenleiterordnung der Natur (Scala naturae)	245
6.3.	Beobachtungen und Experimente zur allgemeinen Biologie (Physiologie) im 18. Jahrhundert ...	248
6.3.1.	Empirische Studien zur allgemeinen Biologie (besonders der „Insekten“) unter physikotheologischer Motivation	249
6.3.2.	Experimentelle Forschungen zur Klärung biologischer Streitfragen	254
6.4.	Beobachtungen und Hypothesen über Zeugung und Keimesentwicklung	259
6.4.1.	Hypothesen über „Epigenese“	259
6.4.2.	Die Entwicklung einer „Theorie der Epigenese“ durch C. F. Wolff	262
6.4.3.	Die Auseinandersetzung über Präformation und Epigenese am Ende des 18. Jahrhunderts	266
6.5.	Vorstellungen über die Entwicklung der organischen Welt in der Spätaufklärung	270
Teil III.	Konsolidierung und Neubildung von Disziplinen und Theorien im 19. Jahrhundert ...	274
7.	„Biologie“ als allgemeine Lebenslehre (I. JAHN)	274
7.1.	Biologische Konzeptionen der Goethezeit	275
7.1.1.	Begründung der „Morphologie“ als Morphogenese	276
7.1.2.	Die Konzeption einer „allgemeinen vergleichenden Physiologie“	280
7.1.3.	Die Entstehung der Bezeichnung „Biologie“	283
7.2.	Die Spezifik der romantischen Naturphilosophie	290
7.2.1.	Die Prinzipien der naturphilosophischen „Physiologie“	290
7.2.2.	Die Grundsätze naturphilosophischer Pflanzen- und Tiersysteme	296

8.	Botanische Disziplinen (V. EISNEROVA)	302
8.1.	Der Ausbau der Pflanzensystematik (Taxonomie)	302
8.1.1.	Die Suche nach natürlichen Systemen	302
8.1.2.	Botanische Gärten und Herbarien: neue Forschungsinstitutionen	306
8.1.3.	Die Entwicklung der Pflanzengeographie	308
8.2.	Neue methodische Programme für eine „wissenschaftliche Botanik“	310
8.2.1.	Die Pflanzenanatomie und M. J. Schleidens Zellbildungstheorie	310
8.2.2.	Entwicklungsgeschichte und Fortpflanzungsbiologie	314
8.2.3.	Weitere Zellen- und Organlehren	317
8.3.	Die Entwicklung der Pflanzenphysiologie und -ökologie	319
8.3.1.	Herausbildung experimenteller Methoden in der Physiologie	319
8.3.2.	Evolutionstheorie und Ökologie in der Botanik	322
9.	Zoologische Disziplinen (A. GEUS)	324
9.1.	Die Revision der Tiersystematik	324
9.1.1.	Vergleichende Anatomie und neue Klassifikationen	325
9.1.2.	Museen und Zoologische Gärten	331
9.1.3.	Institutionalisierung der Zoologie	333
9.2.	Vergleichende Entwicklungsgeschichte	336
9.2.1.	Die embryonale Entwicklung der Wirbeltiere	336
9.2.2.	Ontogenese und Larvenentwicklung bei Wirbellosen	339
9.2.3.	Generationswechsel, Parasitismus und Parthenogenese	340
9.3.	Entstehung und Konsequenzen der „Zellentheorie“	342
9.3.1.	Zellen- und Morphogenese-Lehre	342
9.3.2.	Experimentelle Zytologie und mikroskopische Technik	347
9.4.	Die Anfänge der Tierphysiologie	349
10.	Charles Darwin und die Evolutionstheorien des 19. Jahrhunderts (Th. JUNKER)	356
10.1.	Charles Darwins Wirken	356
10.1.1.	Darwins Reise auf der Beagle (1831–1836)	357
10.1.2.	Die Entstehung der Theorie (1836–1839)	358
10.1.3.	Die Entwicklung der Theorie (1840–1858)	361
10.1.4.	Wallace und die Publikation <i>On the Origin of species</i>	363
10.1.5.	Darwins weitere wissenschaftliche Arbeiten	365
10.2.	Biologische Disziplinen unter dem Einfluß Darwins	366
10.2.1.	Die Paläontologie	367
10.2.2.	Die vergleichende Anatomie und die Morphologie	370
10.2.3.	Die Embryologie	373
10.2.4.	Die Systematik und die Abstammung des Menschen	376
10.2.5.	Die Biogeographie	379
10.2.6.	Die Ökologie	382
10.3.	Anti-Selektionismus und Neo-Darwinismus	384
11.	Das Aufkommen der Vererbungsforschung unter dem Einfluß neuer methodischer und theoretischer Ansätze im 19. Jahrhundert (B. HOPPE)	386
11.1.	Empirische Züchtungsforschung über Erscheinungen der Variabilität in der ersten Jahrhunderthälfte	386
11.2.	Die Experimente über Pflanzenhybriden und die Entdeckung der Vererbungsregeln durch Gregor Johann Mendel	391
11.3.	Wandlungen des Artbegriffs	396
11.4.	Empirische Forschungen über die Variabilität der Arten unter dem Einfluß der Darwinschen Selektionstheorie	402
11.5.	Vererbungshypothesen unter dem Einfluß der Evolutionstheorie Darwins und der Zellentheorie	408
11.6.	Erneute Bestätigung und endliche Anerkennung der Mendelschen Regeln	414

12.	Die Methodenfrage in der Biologie des 19. Jahrhunderts: Beobachtung oder Experiment? (H. QUERNER)	420
12.1.	Das Primat der Morphologie	422
12.2.	Der Übergang zur experimentellen Methode in der Biologie des 19. Jahrhunderts	425
Teil IV.	Die weitere Differenzierung der Biowissenschaften und die Suche nach allgemeinen theoretischen Grundlagen	431
13.	Die theoretische und institutionelle Situation in der Biologie an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert (H. PENZLIN)	431
13.1.	Die theoretischen Auseinandersetzungen über das Lebensproblem	434
13.2.	Die Suche nach neuen Forschungsinstitutionen außerhalb der Universitäten	437
14.	Die Entwicklungsphysiologie (H. PENZLIN)	441
14.1.	Die Anfänge in Deutschland: Wilhelm Roux	442
14.2.	Hans Driesch und die „harmonisch-äquipotentiellen Systeme“	444
14.3.	Theodor Boveri	446
14.4.	Die Anfänge in Amerika	447
14.5.	Hans Spemann und seine Schule	447
14.6.	Chemische Embryologie	451
14.7.	Insekten als Objekt entwicklungsphysiologischer Forschung	453
14.8.	Experimentelle Regenerationsforschung	454
14.8.1.	Versuche an Wirbellosen	454
14.8.2.	Versuche an Wirbeltieren	456
14.8.3.	Die Entwicklung und Regeneration der Extremitäten	456
14.9.	„Gradienten“ und „Felder“	457
14.10.	Entwicklungsphysiologie und Genetik	458
15.	Die vergleichende Tierphysiologie (H. PENZLIN)	462
15.1.	Die Weiterentwicklung der Stoffwechselphysiologie	465
15.1.1.	Ernährung, Verdauung, Fermente und Enzyme	465
15.1.2.	Vitamine	465
15.1.3.	Atmung und Energetik	466
15.1.4.	Exkretion	469
15.2.	Die Entstehung der Hormonphysiologie und Neuroendokrinologie	470
15.2.1.	Die Anfänge im 19. Jahrhundert	470
15.2.2.	Entdeckung, Isolierung und Synthetisierung von Vertebraten-Hormonen	471
15.2.3.	Neurohormone	472
15.2.4.	Evertebraten-Hormone	474
15.3.	Neue Aspekte in der Neurophysiologie	477
15.3.1.	Elektrophysiologie	477
15.3.2.	Der Streit um die Neuronendoktrin	479
15.3.3.	Synapsenfunktion	480
15.3.4.	Rückenmark, Rückenmarksreflexe, Gehirn	483
15.3.5.	Neurobiologie der Crustaceen	485
15.4.	Die Sinnesphysiologie	485
15.4.1.	Gehörsinn	485
15.4.2.	Echoortung der Fledermäuse	488
15.4.3.	Gleichgewichts- und Rotationssinn	488
15.4.4.	Lichtsinn: Linsenauge	490
15.4.5.	Lichtsinn: Komplexauge	491
15.4.6.	Elektrophysiologie und Biochemie des Sehorgans	492
15.4.7.	Farbensehen	493
15.4.8.	Polarisationssehen	495
15.5.	Die Begründung der Biokybernetik	495

16.	Physiologie und Biochemie der Pflanzen (E. HÖXTERMANN)	499
16.1.	Anfänge und frühe Richtungen der neueren Pflanzenphysiologie	499
16.2.	Perioden in der Geschichte der jüngeren Pflanzenphysiologie	502
16.3.	Wege der Pflanzenphysiologie im 20. Jahrhundert	504
16.3.1.	Differenzierung und Integration der Richtungen	504
16.3.2.	Determiniertheit und Kausalität versus „Unbestimmtheit“ und „Komplementarität“ in der pflanzenphysiologischen Ursachenforschung	505
16.3.3.	Technisierung und Standardisierung der Experimente	507
16.4.	Bedeutsame Erkenntnisse der Pflanzenphysiologie zwischen 1900 und 1970	509
16.4.1.	Physiologische Anatomie und Morphologie der Pflanzenzelle	509
16.4.2.	Physiologie der Permeabilität	509
16.4.3.	Physiologie des Stofftransportes und des Wasserhaushaltes	511
16.4.4.	Physiologie und Biochemie des Stoff- und Energiewechsels	513
16.4.5.	Physiologie des Wachstums, der Entwicklung und der Bewegung	520
16.4.6.	Ökophysiologie und Pathophysiologie	532
17.	Begründung und Entwicklung der Genetik nach der Entdeckung der Mendelschen Gesetze (J. SCHULZ)	537
17.1.	Aspekte der Würdigung von Mendels Arbeit nach 1900	537
17.1.1.	Weitere botanische Arbeiten	537
17.1.2.	Zoologische Arbeiten mit gleichen Ergebnissen	540
17.2.	Zytologische Erkenntnisse und ihre Synthese mit der Bastardforschung	542
17.2.1.	Die Chromosomentheorie der Vererbung	542
17.2.2.	Die Gentheorie der Morgan-Schule	542
17.3.	Die Populations- und Züchtungsforschung	548
17.3.1.	Populationsstatistik	551
17.3.2.	Populationsgenetik	553
17.4.	Neuorientierung in der Genetik seit Watson und Crick	556
18.	Neue Auseinandersetzungen mit dem Darwinismus (K. SENGLAUB)	558
18.1.	Konflikte zwischen Mendelismus, Darwinismus, Lamarckismus	558
18.1.1.	Die kritische Periode des Darwinismus	558
18.1.2.	Positionen der „Frühgenetiker“ gegen Darwin	559
18.1.3.	Lamarckismus und evolutionistischer Dualismus	561
18.2.	Die Korrektur des Darwinschen Artkonzeptes	564
18.2.1.	Darwinscher und Biologischer Artbegriff	564
18.2.2.	Der Beitrag der Taxonomen	565
18.2.3.	Die Speciationsproblematik	567
18.3.	Der Rückgewinn Darwinscher Positionen in der Integrationsphase	568
18.3.1.	Ergebnisse naturorientierter Forschung und Konflikte in Kausalfragen	569
18.3.2.	Genetik und mathematisch-statistische Modellierungen	570
18.3.3.	Integrationsprozesse und Synthese	571
19.	Die Herausbildung der Verhaltensbiologie (I. JAHN und U. SUCKER)	581
19.1.	Von der deskriptiven zur experimentellen Tierpsychologie	581
19.1.1.	Empirisch-deskriptive und vergleichende Tierpsychologie	581
19.1.2.	Experimentelle „Psychophysiologie“	583
19.2.	Der Behaviorismus	585
19.3.	Alternative Konzepte zu Behaviorismus und Tierpsychologie	587
19.3.1.	Die Umweltlehre Jakob von Uexkülls	587
19.3.2.	Die Entwicklung biokybernetischer Konzeptionen	588
19.4.	Die Entwicklung der Ethologie zur eigenständigen Disziplin	589
19.4.1.	Pioniere der Vergleichenden Tierphysiologie und Ethologie	589
19.4.2.	Wandel und Konsolidierung des Begriffes Ethologie	593
19.4.3.	Die Begründung der Vergleichenden Verhaltensbiologie (Ethologie)	594
19.4.4.	Versuche zur Institutionalisierung der <i>Ethologie</i> (Vergleichende Verhaltensbiologie)	597

20.	Ökologie und Ökosystemforschung (G. LEPS)	601
20.1.	Die besondere Stellung der aquatisch-ökologischen Richtungen in der Geschichte der Ökologie.	602
20.1.1.	Meeresbiologie und der Begriff der Lebensgemeinschaft.	603
20.1.2.	Biozönotik und die Grundlagen der Limnologie	606
20.2.	Terrestrische Ökologie und der Begriff des Biotops	608
20.2.1.	Die Synthese von Autökologie und Synökologie – der Begriff des Ökosystems.	610
20.2.2.	Die Entwicklung der quantitativen Analyse und der mathematischen Modellierung von Ökosystemen	613
20.3.	Wandel und Evolution von Ökosystemen	616
20.3.1.	Paläoökologische Erkenntnisse und Organismenwandel	616
20.3.2.	Erkenntnisse über den anthropogenen Einfluß auf den Wandel von Ökosystemen	617
21.	Entwicklung der Mikrobiologie mit besonderer Berücksichtigung der medizinischen Aspekte (W. KÖHLER)	620
21.1.	Frühe Hypothesen und Beobachtungen über Bakterien	620
21.2.	Mikroorganismen als Krankheitserreger	622
21.3.	Die Urzeugung	622
21.4.	Tiere oder Pflanzen? Probleme der Nomenklatur und Systematik	623
21.5.	Entwicklung der Mikrobiologie als medizinisches Spezialfach	624
21.5.1.	Die Entdeckung der Viren	629
21.5.2.	Virulenz und Pathogenität der Mikroorganismen	633
21.5.3.	Streit über die Abwehrmechanismen	633
21.5.4.	Entwicklung von Schutzmaßnahmen	636
21.6.	Die Mikrobiologie als interdisziplinäres Spezialfach	640
22.	Kurze Geschichte der Molekularbiologie (H.-J. RHEINBERGER)	642
22.1.	Methodische Vorbemerkungen	642
22.2.	Die wichtigsten Entwicklungslinien zwischen 1930 und 1950	644
22.2.1.	Von der Kolloidchemie zum Makromolekül: Ultrazentrifugation	644
22.2.2.	Röntgenstruktur-Analyse	645
22.2.3.	UV-Spektroskopie	645
22.2.4.	Biochemische Genetik: Neurospora	646
22.2.5.	Das Tabakmosaikvirus	646
22.2.6.	Elektronenmikroskopie	647
22.2.7.	Bakteriophagen	648
22.2.8.	Die Transformation von Pneumokokken	648
22.2.9.	Bakteriengenetik	650
22.2.10.	Nukleinsäure-Papierchromatographie	650
22.2.11.	Protein-Modellbau	651
22.2.12.	Radioaktive Markierung und Proteinsynthese	651
22.2.13.	Zusammenfassung: Eine neue „technologische Landschaft“	652
22.3.	Die DNA-Struktur und die Etablierung eines neuen Paradigmas (1950–1965)	652
22.3.1.	Die DNA-Doppelhelix: Röntgenstrukturanalyse und Modellbau	653
22.3.2.	Das „Zentrale Dogma“ der Molekularbiologie	655
22.3.3.	In-vitro-Proteinsynthese und Transfer-RNA	656
22.3.4.	Von der enzymatischen Adaptation zur Genregulation: Messenger RNA	656
22.3.5.	Ein In-vitro-System zur Entschlüsselung des genetischen Codes	659
22.3.6.	Zusammenfassung: Die neuen Schlüsselworte	660
22.4.	Molekularbiologie und die Anfänge der Gentechnologie	660
22.4.1.	Rekombinante DNA	661
22.4.2.	Genomanalyse	663
22.5.	Molekularbiologie und Evolution	663
	Verzeichnis der historiographischen Literatur der einzelnen Kapitel	664
Teil V.	Kurzbiographien und Porträts (I. SCHMIDT und S. HACKETHAL)	753
	Literaturverzeichnis der Biographien und biographischen Nachschlagewerke	1000
	Sachregister	1031
	Personenregister	1044