

Die Phylogenie der Pflanzen

Ein Überblick
über Tatsachen und Probleme

Von
DR. WALTER ZIMMERMANN

Professor an der Universität Tübingen

2. völlig neu bearbeitete Auflage

Mit 331 Abbildungen



GUSTAV FISCHER VERLAG · STUTTGART

1959

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

I. Geschichte der phylogenetischen Forschung an Pflanzen	1
A. Anfänge der phylogenetischen Betrachtung	1
a) Abstammungsmythen	1
b) Intuitive Verwandtschaftsgruppierungen	1
c) Erstes Erfassen phylogenetischer Belege	1
B. Wissenschaftliches Gruppieren	2
a) Systematik (Taxonomie)	2
1. Relative Verwandtschaft	2
2. Stufenleitern	7
b) Morphologie	10
1. Beschreibende Morphologie (Morphographie)	10
2. »Idealistische« Morphologie	10
3. Analytische Morphologie	12
c) Anatomie	13
d) Pflanzengeographie	14
C. Paläobotanik	14
D. Erbforschung	16
E. Phylogenetik als bewußte Wissenschaft	18
II. Aufgaben und Methoden	19
A. Die Aufgaben der Phylogenetik, Grundsätzliches	19
a) Der Zusammenhang zwischen Ontogenie und Phylogenie	19
b) Sippenphylogenetik und Merkmalsphylogenetik	22
(»Taxophylogenetik« und »Semophylogenetik«)	
B. Die Methoden der Phylogenetik	24
C. Phylogenetik, Taxonomie und Morphologie	25
Weiterführende Literatur	27

I. Teil: Der Ablauf der Phylogenie

I. Allgemeiner Überblick	28
II. Die Urzeugung (Probionta einschließlich Viren = Virobionta)	30
III. Allgemeiner Überblick über die thallosen Gewächse (Erstes Reich Akaryobionta = Schizophyten + Teilen des zweiten Reiches, der Karyobionta, nämlich der Protobionta Rothm. = Algen und Pilze)	36
IV. Das Reich der Akaryobionta Rothm. („akaryote“ Organismen, Anukleobionta, Schizophyten)	37

A. Allgemeine Probleme	37
a) Der Zellbau (»Archiblast«)	38
b) Die Verwandtschaftsstellung innerhalb der Organismenwelt	40
c) Verwandtschaft innerhalb der Akaryobionta	41
d) Merkmalsphylogenie	41
B. Bacteriophyta	43
C. Cyanophyta	43
a) Vorkambrische Formen	43
1. Kohlige Reste ohne erkennbare Zellstruktur	43
2. Spongiostromata	45
3. Der Zellgestalt nach erkennbare Formen	45
b) Kalkausscheidende Vertreter seit dem Kambrium	46
c) Die gestaltliche Entwicklung bei den Cyanophyceen	46
d) Zur Sippenphylogenie der Cyanophyta	51
<i>Weiterführende Literatur zu Akaryobionta (einschl. Urzeugung und Viren)</i>	51
V. Das Reich der Karyobionta (hier thallose Karyobionta)	52
A. Algen	
a) Assimilierende Flagellaten	52
b) Diatomeen (Bacillariophyta)	56
c) Vielzellige Algen	57
Chlorophyta (1. Abteilung der vielzelligen Algen)	58
α) Allgemeine Gestaltung	58
β) Generations- und Kernphasenwechsel der Chlorophyta	63
γ) Einige Chlorophytengruppen	65
Phaeophyta (2. Abteilung der vielzelligen Algen)	73
α) Allgemeine Gestaltung	73
β) Keimzellbehälter und Keimzellen der Phaeophyten	78
γ) Generations- und Kernphasenwechsel der Phaeophyten	80
Rhodophyta (3. Abteilung der vielzelligen Algen)	82
α) Fossile Vertreter	83
β) Fortpflanzung	83
γ) Die beiden Haupttypen des Generations- und Kernphasenwechsels	84
δ) Phylogenie des Rhodophyten-Generationswechsels	84
ϵ) Abweichungen von den beiden Haupttypen des Generationswechsels	86
ζ) Zur Sippenphylogenie der Rhodophyta	87
Nematophyta und andere Tange unsicherer Verwandtschaft	89
B. Fungi	89
a) Archimycetes + Phycomycetes	91
b) Eumycetes (Klassen Ascomycetes + Basidiomycetes)	92
c) Lichenes (als Anhang zu den Fungi)	93
C. Thallose Gewächse. Zusammenfassender Überblick	94
D. <i>Weiterführende Literatur</i>	94
VI. Das Reich der Karyobionta (hier kormöse Gewächse)	95
Allgemeines	95
Allgemeiner Aufbau der kormösen Gewächse	96

A. Formen der Organverkettung	96
B. Die Urgestalt der Kormophyten (Gestalt der Urandpflanzen)	98
C. Telome und Emergenzen	98
D. Hologenie der Emergenzen und Telome als zelluläre Prozesse	101
E. Die phylogenetischen Elementarprozesse	103
F. Entwicklung der Leitbündelelemente	106
a) Gefäße (Tracheiden und Tracheen)	106
b) Siebelemente	109
c) Sonstige Elemente der Leitbündelsysteme	110
G. Die Stele und ihre Phylogenie (Primärbau)	110
a) Allgemeines zur „Stelärtheorie“	110
1. Homologie- und Nomenklaturprobleme	110
2. Aufgaben der phylogenetischen Stelärtheorie	112
b) Ahnengestalt der verschiedenen Stelentypen	112
c) Protoxylem und Metaxylem	113
d) Entstehungsprinzipien der abgewandelten Stelentypen	113
1. Vermehrung der Bündelinitialen (Prokambien bzw. Protoxylem) durch basipetale Verschiebung der Stelen-Verzweigung	116
2. Differenzierung der Bündelinitialen	117
3. Das Initialenbündelrohr	117
e) Die Haupttypen der abgeleiteten Stelen	118
H. Die Nicht-Leitbündel-Elemente der Stelen (Markstrahlen und Mark)	124
J. Sekundäres Dickenwachstum	124
Fortpflanzungseigentümlichkeiten der Kormophyten	124
A. Generationswechsel	124
a) Wie ist der Generationswechsel der Farne phylogenetisch geworden?	125
1. Die Keimzellphylogenie	125
2. Die Phylogenie der Keimzellbehälter (Gametangien und Sporangien)	127
3. Generationswechsel-Entstehung	128
b) Lassen sich von einem Generationswechsel nach Art der Farne die übrigen Formen der Fortpflanzung bei den Kormophyten ableiten?	131
B. Embryonalentwicklung des Sporophyten	134
a) Symmetrieverhältnisse, insbesondere Achsen und ihre Pole	138
b) Die Lage der künftigen Organbereiche am Embryo	139
C. Jugend- und Altersdifferenzierungen (einschl. Umbildungen des Vegetationspunktes)	141
Phylogenie der wichtigsten Kormophytenorgane	141
A. Allgemeines über die wichtigsten Sproßtypen	141
B. Der mikrophylle Laubsproß mit wechselständigen Blättern („Lycosproß“)	142

C. Der mikrophylle Laubsproß mit wirtelig gestellten Blättern („Sphenosproß“)	145
D. Der makrophylle Laubsproß („Pterosproß“)	145
E. Der Stamm	145
F. Sporangien und Sporangienstände	146
a) Sporangien	146
b) Einfachere Sporangienstände ohne Blütencharakter	146
c) Verbindung von Trophophyll- und Sporophyllteilen	148
d) Blüten	148
G. Die Wurzel	149
<i>Weiterführende Literatur zu Kormophyten (allgemein)</i>	150
1. Abteilung Bryophyta (Moose)	151
1. Klasse Hepaticae (Lebermoose)	151
1. Ordnung Anthocerotales	153
2. Ordnung Marchantiales	153
3. Ordnung Jungermanniales	154
2. Klasse Musci (Laubmoose)	154
<i>Weiterführende Literatur zu Bryophyta</i>	154
2. Abteilung Psilophyta	155
1. Ordnung Rhyniales	155
1. Familie Rhyniaceae	155
2. Familie Zosterophyllaceae	160
3. Familie Sciadophytaceae	161
4. Familie Psilophytaceae	161
2. Ordnung Pseudosporochnales	163
1. Familie Pseudosporochnaceae	163
2. Familie Svalbardiaceae	164
<i>Weiterführende Literatur zu Psilophyta</i>	164
3. Abteilung Lycophyta	166
1. Ordnung Archaeolepidophytales	169
1. Familie Drepanophycaceae	169
2. Familie Asteroxylaceae	171
2. Ordnung Protolpidophytales	176
3. Ordnung Lepidophytales	177
1. Familie Lepidodendraceae	178
a) Struktur des Stammes	180
b) Stele	181
c) Rinde	184
d) Blattpolster und Blätter	185
2. Familie Sigillariaceae	188
Unterirdische Organe der Lepidophyten: Stigmaria (Brongn.) mit Appendices	192
Fortpflanzungsorgane der Lepidophyten	195
4. Ordnung Lepidocarpaceae (Lepidospermae)	199

5. Ordnung Pleuromeiales mit der einzigen Familie Pleuromeiaceae	201
6. Ordnung Isoëtales mit der einzigen Familie Isoëtaceae	204
7. Ordnung Selaginellales mit der einzigen Familie Selaginellaceae	205
8. Ordnung Lycopodiales mit der einzigen Familie Lycopodiaceae	208
9. Ordnung Psilotales	211
Allgemeine Morphologie	211
Phylogenetische Ableitung der Psilotales	215
<i>Weiterführende Literatur zu Lycophyta</i>	216
4. Abteilung Sphenophyta	217
1. Ordnung Hyeniales	218
2. Ordnung Sphenophyllales	219
3. Ordnung Pseudoborniales	224
4. Ordnung Equisetales	224
1. Familie Asterocalamitaceae	224
2. Familie Calamitaceae	226
Fortpflanzungsorgane	234
1. Blütengruppe: Hyeniales – Asterocalamitaceae- Equisetaceae	235
2. Blütengruppe: Calamostachys und verwandte Familien	237
3. Blütengruppe (zu Calamites gehörig)	238
3. Familie Schizoneuraceae	238
4. Familie Phyllothecaceae	240
5. Familie Equisetaceae	241
Vegetativer Aufbau von Equisetum	241
Fortpflanzungsorgane von Equisetum	242
<i>Weiterführende Literatur zu Sphenophyta</i>	243
5. Abteilung Noeggerathiophyta	244
1. Ordnung Noeggerathiales	244
2. Ordnung Discinitales	244
3. Ordnung Tingiales (als Anhang)	246
<i>Weiterführende Literatur zu Noeggerathiophyta</i>	247
6. Abteilung Pterophyta	248
1. Unterabteilung Pterophytina	252
1. Klasse (Organisationsstufe) Primofilices	252
1. Ordnung Protopteridiales	252
2. Ordnung Cladoxylales	254
3. Ordnung Coenopteridiales	254
1. Clepsydropsis	257
2. Stauropteris	258
A. Äußere Morphologie der vegetativen Teile	259
B. Anatomie	259
C. Sporangien	261
3. Botryopteris	261
4. Etapteris	263
5. Rhacophyton	266

Die Entstehung des Stammes bei den Coenopteridales	266
Fortpflanzungsorgane der Coenopteridales	267
4. Ordnung Archaeopteridales	268
5. Ordnung Enigmophytales (als Anhang)	269
Pteridophylle	270
a) Gesamtwedelaufbau (Verzweigung der Rhachis)	272
b) Aderung der Blattfläche	276
c) Bau der Fiederchen	276
a) Archaeopteris-Gruppe	278
β) Sphenopteris-Gruppe	280
γ) Pecopteris-Gruppe	280
δ) Neuropteris-Gruppe	282
ε) Alethopteris-Gruppe	282
ζ) Glossopteris-Gruppe	284
η) Gigantopteris-Gruppe	284
2. Klasse Ophioglossopsida	285
Einzigste Ordnung Ophioglossales	285
a) Sphorophyt, unterirdische Organe	285
b) Sporophyt, oberirdische Organe	287
c) Gametophyt	288
3. Organisationsstufe Filices	289
1. Ordnung Marattiales	289
a) Sproßachse	290
b) Blätter und Sporangien	293
c) Gametophyt und Embryonalentwicklung	294
2. Ordnung Osmundales	295
Stamm	295
Blätter	299
Fortpflanzungsorgane	300
3. Ordnung Filicales	300
4. Klasse (Organisationsstufe) Hydropterides	315
1. Ordnung Marsileales mit der einzigen Familie Marsileaceae	315
2. Ordnung Salviniiales mit der einzigen Familie Salviniaceae	318
Heterospore fossile Pterophyta bzw. Pteridophyten	320
Sonstige Pterophytina unsicherer Stellung	323
Familie Weichseliaceae	323
<i>Weiterführende Literatur zu Pterophytina</i>	323
Samenpflanzen	324
A. Übersicht der Phanerogamen	324
B. Allgemeine Morphologie der Phanerogamen	326

1. Gesamtmorphologie der Sporangienstände (Sporophylle, Blüten und anderer Sporangiengruppen)	327
a) Einordnung der Sporangienstände in den Gesamtaufbau	328
b) Entstehung der Blütenhülle	330
c) Die Beziehungen der Sporangienstände zueinander (eingeschlechtliche Blüten, Zwitterblüten, Blütenstände)	331
d) Megasporangienstände	331
e) Mikrosporangienstände	333
2. Bau der Sporangien und Sporen	335
a) Megasporangien („Samenanlagen“) und Megasporen	335
a) Hüllbildungen	335
β) »Eigentliches« Megasporangium (Nucellus)	337
γ) Megaspore	337
b) Mikrosporangien und Mikrosporen	338
α) Öffnungsmechanismus der Sporangienwandung	338
β) Mikrosporen	339
3. Bestäubung und Befruchtung	339
4. Die Embryonalentwicklung der Sporophyten	342
5. Der Phanerogamen-Vegetationspunkt	342
C. Die Taxa der Phanerogamen	344
<i>Weiterführende Literatur zu Samenpflanzen und Gymnospermen (Allgemein)</i>	345
Phanerogamen-Unterabteilung Cycadophytina (2. Unterabteilung der Pterophyta)	346
1. Klasse (Organisationsstufe) Pteridospermae	346
1. Familie Lyginopteridaceae	346
1. Stamm	348
2. Blatt	353
3. Fortpflanzungsorgane	354
Lyginopteris nahestehende Pteridospermen	357
2. Familie Medullosaceae	361
Isolierte Pteridospermen-Teile	368
1. Stämme und isolierte Hölzer	368
Familie der Calamopityaceae	369
2. Isolierte Blätter	369
Familie der Glossopteridaceae	370
Familie der Thinnfeldiaceae	371
3. Samen	372
<i>Weiterführende Literatur zu Pteridospermae</i>	373
2. (Gymnospermen-)Klasse Cycadopsida	373
1. Ordnung Cycadales	375
1. Stammgestaltung	375
2. Laubblätter	379

2. Ordnung Bennettitales	384
1. Fortpflanzungsorgane	384
2. Vegetative Teile	389
3. Ordnung Nilssoniales	391
1. Familie Nilssoniaceae	391
4. Ordnung Caytoniales s. ampl.	392
1. Familie Corystospermaceae	392
2. Familie Caytoniaceae	393
Verwandtschaftliche Beziehungen	395
5. Ordnung Pentoxylales	396
1. Vegetative Organe	396
2. Fortpflanzungsorgane	396
Anhang: <i>Harrisia marsileoides</i>	397
<i>Weiterführende Literatur zu Cycadopsida</i>	397
Phanerogamen-Unterabteilung Coniferophytina	398
Trichopityales	399
3. (Gymnospermen-) Klasse Ginkgopsida	400
<i>Ginkgo biloba</i>	401
1. Fortpflanzungsorgane	401
a) Weibliche Pflanze	401
b) Männliche Pflanze	404
c) Befruchtung und Embryonalentwicklung	404
2. Vegetative Organe	405
a) Sproßachse	405
b) Blatt	405
Phylogenie der Sporangienstände als morphologische Probleme	408
Die fossilen Ginkgopsiden	411
Anhang: Czekanowskiales	413
<i>Weiterführende Literatur zu Ginkgopsida einschl. Trichopityales</i>	415
4. (Gymnospermen-)Klasse Cordaitopsida	415
1. Familie Cordaitaceae (Cordaites)	415
1. Vegetative Organe	415
a) Sproßachse	415
b) Blatt	418
c) Wurzeln	419
2. Fortpflanzungsorgane (Cordaianthus)	419

2. Familie Pityaceae	424
3. Familie Poroxylaceae	425
<i>Weiterführende Literatur zu Cordaitopsida</i>	426
5. (Gymnospermen-) Klasse Coniferae	426
1. Ordnung Voltziales	428
1. Familie Walchiaceae	429
1. Vegetative Organe	429
2. Fortpflanzungsorgane	432
2. Familie Voltziaceae	433
1. Vegetative Organe	433
2. Fortpflanzungsorgane	433
2. Organisationsstufe (Ordnung?) der Coniferae	434
1. Familie Podozamitaceae	434
2. Familie Ullmanniaceae	435
3. Familie Swedenborgiaceae	436
3. Ordnung (Organisationsstufe) Carpentieriales	436
4. Ordnung Pinales	437
1. Verbreitung	437
2. Vegetative Organe	437
3. Fortpflanzungsorgane und Fortpflanzung	443
a) Mikrosporangienstände der Pinales	445
b) Megasporangienstände der Pinales	445
1. Familie Pinaceae	447
2. Familie Taxodiaceae	447
3. Familie Cupressaceae	447
4. Familie Cephalotaceae	449
5. Familie Araucariaceae	449
6. Familie Cheirolepidaceae	450
7. Familie Podocarpaceae	452
c) Der Bestäubungsvorgang	453
d) Gametophytenentwicklung und Embryonalentwicklung	455
5. Ordnung Taxales	455
Rückschau auf Coniferophytina	456
<i>Weiterführende Literatur zu Coniferae</i>	457
Anhang zu den Gymnospermen: Rueleostachys	458
6. (Gymnospermen-)Klasse Chlamydospermae	459
1. Vegetative Organe	460
a) Stammanatomie	460
b) Epidermisbau	462

2. Fortpflanzungsorgane	462
a) Allgemeiner Aufbau	462
b) Bau der Blüten, allgemeine Charakteristik	462
c) Fortpflanzungsorgane von <i>Ephedra</i>	462
d) Fortpflanzungsorgane von <i>Gnetum</i>	463
e) Fortpflanzungsorgane von <i>Welwitschia</i>	464
f) Phylogenetisches und Terminologisches zu den Fortpflanzungsorganen	464
g) Gametophytenentwicklung, Befruchtung und Embryobildung	465
3. Sippenphylogenie	466
<i>Weiterführende Literatur zu Chlamydospermae</i>	466
7. (Phanerogamen-)Klasse Angiospermae	467
Zur Methodik	468
A. Der phylogenetische Weg zu den Ur-Angiospermen	475
a) Frühstufen ohne fossile Belege des phylogenetischen Zusammenhangs	476
b) Thallöse, fossil erkennbare Stufen der Angiospermen-Phylogenie	476
c) Kormöse, fossil erkennbare Stufen zur Angiospermen-Phylogenie	477
B. Erste fossil überlieferte Pflanzen, die als Angiospermen angesprochen wurden	478
a) Vorkretazeische Funde	478
b) Kreidefunde	479
C. Merkmals- und Organphylogenie	480
Allgemeiner Aufbau der Angiospermenpflanze	481
a) Die ontogenetisch »fertige« Gestalt	481
b) Die Blattstellung	483
c) Die Ontogenie der Angiospermengestalt	485
1. Die Embryonalentwicklung	485
2. Der Vegetationspunkt des Sprosses	487
a) Histogenese der Achse	488
β) Entstehung der Phyllome und ihre Differenzierung	489
γ) Embryonalentwicklung des Angiospermenblattes	491
δ) Abwandlung der Gestalt des Angiospermenvegetationspunktes	491
d) Metamorphosen der Angiospermengrundgestalt	491
e) Phylogenie der Lebensformen der Angiospermen	492
Fortpflanzungsorgane	493
a) Angiospermenblüten, Allgemeines	493
1. Die Haupttypen der Blüten	493
2. Der Sproßcharakter der Blüte	495
a) Die Blüte als „Strobilus“	495
β) Die Pseudanthientheorie	497
3. Der Blütenvegetationspunkt	499

4. Die Blütensymmetrie	499
5. Die Verteilung der Geschlechter bei den Blüten der Urangiospermen . . .	500
a) Die Richtung der phylogenetischen Umwandlung	500
b) Die entwicklungsphysiologischen Vorgänge b. Geschlechtswandel der Blüte	502
6. Heutige Windblütler	503
b) Abwandlungen des allgemeinen Blütencharakters innerhalb der Angiospermen .	503
1. Sondererwerb der Insektenbestäubung	503
2. Die phylogenetischen Elementarprozesse bei der Abwandlung der Angio- spermenblüte	504
c) Megasporophylle	506
1. Die Urgestalt des Angiospermen-Gynäzeums	509
a) Belege für eine foliare Ausgangsgestalt (für die „Phyllosporie“-Theorie) . .	509
b) Argumente für eine axiale Ausgangsform	513
c) Vergleich der Gesamtheit der Argumente zugunsten der „Phyllosporie“- und zugunsten der „Stachyosporie“-Theorie	514
d) Welcher der 3 oben (S. 507) genannten marginalen Untertypen muß als der ursprünglichste bezeichnet werden?	514
2. Abwandlungswege zu den verschiedenen Typen der heutigen Angiospermen- Gynäzeen	515
a) Die Elementarprozesse	515
b) Die Megasporophyll-Hologenie	518
c) Die Rosaceae, als Beispiel vielgestaltiger Abwandlung der Gynäzeen . . .	520
d) Monomere Gynäzeen mit zahlreichen Samenanlagen	521
e) Pleiomere Gynäzeen, allgemein	523
f) Pleiomere Gynäzeen mit marginaler Plazentation	523
g) Pleiomere Gynäzeen mit laminaler Plazentation	524
h) Gynäzeen mit Zentralplazenta bzw. mit einer Samenanlage	526
i) Sondertypen der Gynäzeen	530
3. Samenanlagen	531
4. Phylogenie der Früchte	535
d) Mikrosporophylle und Mikrosporen	537
1. Die phylogenetischen Ausgangsformen	537
a) Ahnenformen	537
b) Beziehungen zu anderen nichtflächigen Blattgebilden	539
2. Phylogenetische Abwandlungen der Angiospermen-Mikrosporophylle	539
a) Geringfügige Abwandlungen ohne deutlich flächige Gestaltung	539
b) Gegabelte Mikrosporophylle	540
c) Flächige Mikrosporophylle	541
d) Staminodien	543
e) Änderungen der Sporangienzahl und sonstige Metamorphosen der Mikrospo- rophylle	544
f) Verlagerungen und Verwachsungen der Mikrosporangien und anderer Mikro- sporophyllteile	547

3. Mikrosporen	548
α) Ontogenetische Entstehung	548
β) Mikrosporenform und -oberfläche	549
γ) Das Keimen der Mikrospore und Auswachsen des Pollenschlauchs	549
4. Zahl der Mikrosporophylle	550
e) Blütenhülle	551
1. Die »fertige« Blütenhülle	551
α) Die Stellung der Blütenhülle	551
β) Farbe und Gestalt der Blütenhülle	551
2. Wie ist die Blütenhülle entstanden?	553
3. Lagebeziehungen zwischen Phyllomen des Perianths und des Andrözeums	556
f) Blütenachse	556
g) Verwachsungen zwischen ungleichartigen Blütenorganen	557
h) Blütenstände	559
1. Die Haupttypen	560
2. Die phylogenetische Urform der Blütenstände	561
3. Phylogenetische Entwicklung zu den heutigen Blütenständen	562
α) Gruppe der cymösen Blütenstände	562
β) Gruppe der racemösen Blütenstände	564
4. Kombinationen der vorgenannten Typen in einem Blütenstand	564
5. Sonderfälle heutiger Blütenstände	564
6. Zusatzorgane zu Blütenständen	566
i) Phylogenie der Bestäubung und der Nektarien	566
k) Blütenökologie und Anpassung	568
1. Allgemeines zur Kausalanalyse der Anpassungen	572
2. Mutation und Selektion	573
3. Mutation	574
α) Die Auslösung der Mutation	574
β) Anpassungsstrukturen bis zur Phase der Mutationen?	575
4. Selektion	576
5. Andere für die Phylogenie bedeutsame Phasen	577
Vegetative Gestaltung der Angiospermen	578
a) Zusammenhang zwischen Sproßachse und Blatt	578
b) Sproßachse	579
1. Äußere Gestalt	579
2. Achsenanatomie	580
3. Sproßmetamorphosen	583

c) Das Angiospermenlaubblatt	587
1. Der Ausgangstyp	587
2. Abwandlungen der Angiospermenblätter	590
3. Starke Blattmetamorphosen	591
α) Schild- und Schlauchblätter	592
β) Nebenblätter („Stipeln“)	593
4. Anatomische Eigentümlichkeiten	594
d) Die Angiospermenwurzel	596
1. Die „Typische“ Angiospermenwurzel	596
2. Wurzelmetamorphosen	597
e) Phylogenetische Abwandlungen der biochemischen Vorgänge	599
Eigenheiten der Monokotylen	600
D. Sippenphylogenie der Angiospermen	603
a) Ausgangstaxon der Angiospermae	604
b) Relative Verwandtschaft der Angiospermae-Taxa	610
Weiterführende Literatur	614

II. Teil: Florengeschichte

I. Fadenalgen- und Tangzeit (Eophytikum)	616
II. Pteridophytenzeit	616
A. Frühe Pteridophytenzeit (Psilophytenzeit)	616
B. Spätere (eigentliche) Pteridophytenzeit	618
a) Nördliche Floren-Hauptprovinz des Oberkarbons	620
1. Euramerische Provinz des Oberkarbons	620
2. Angara-Flora	624
3. Cathaysia-Flora (Gigantopteris-Flora)	625
b) Südliche Floren-Hauptprovinz des Permo-Karbons	625
c) U. Perm (Rotliegendes), Flora der nördlichen Halbkugel	628
III. Gymnospermenzeit (O. Perm [Zechstein] bis untere U. Kreide)	629
A. Oberes Perm (Zechstein)	629
B. Trias	629
C. Jura	632
D. Untere U. Kreide (Berrias und Valendis-Serie bzw. Wealden)	633

IV. Angiospermenzeit (Obere U. Kreide bis Jetztzeit)	634
A. Obere U. Kreide und O. Kreide	636
B. Paläogen (Paleozän bis M. Oligozän)	638
C. Neogen (O. Oligozän bis Pliozän)	639
D. Pleistozän (Diluvium)	642
a) Unmittelbare Belege	642
b) Belege aus den heutigen Arealen	644
1. Endemismen	644
2. Arealgestaltung im Pleistozän	645
α) Nordisch-alpine Disjunktionen in Europa	646
β) Ost-West-Disjunktionen	646
γ) Spätere Annäherung von Arealen	648
δ) Disjunkte Areale in den Tropen und auf der südlichen Halbkugel	651
E. Postglazial (Alluvium)	651
<i>Weiterführende Literatur zur Florengeschichte</i>	653

Schlußwort

I. Differenzierung	654
II. Korrelation und Kompensation in der Phylogenie	655
III. Ontogenie und Phylogenie	656
1. Der ablaufmäßige Zusammenhang von Ontogenie und Phylogenie in der Hologenie	656
2. „Rekapitulation“ der Phylogenie durch die Ontogenie („Biogenetisches Grundgesetz“)	656
3. Dürfen wir aus einer bekannten Ontogenie auf eine unbekannte Phylogenie schließen?	656
4. Physiologische Erklärung der Zusammenhänge zwischen Ontogenie und Phylogenie	656
IV. Homologie	657
V. Tempo der phylogenetischen Entwicklung. Aufstieg und Niedergang der Organismen	659
VI. Das Neue	659
VII. Ursachenzusammenhänge der Evolution	660
A. Zur Nomenklatur: „Phylogenie“ oder „Evolution“?	660
B. Zum Ursachenbegriff	660

C. Die Vielphasigkeit der Entwicklung	661
D. Die für die Ursachenzusammenhänge entscheidenden Hauptphasen, bzw. Phasenkomplexe der Evolution	661
a) Phasen der Mutation	661
1. Die Größe der Mutationen	662
2. Die Vitalität der Mutanten	663
b) Phasen der Erbübertragung	663
c) Phasen des Sexualaktes (Kernphasenwechsel)	664
d) Phasen der Phänogenie	664
e) Phasen der Auslese	665
1. Die verschiedenen Formen der Auslese	665
2. Die richtende Wirkung der Auslese	665
3. Die Gruppenauslese	667
f) Phasen der Artgrenzbildung	667
VIII. Historische Gesetze in ihrer Gesamtheit. Vom „Sinn“ des pflanzlichen Seins	668
Literatur	669
Anmerkungen (Ergänzungen)	722
Autorenregister	730
Sachregister	739