

Inhalt

1	Botanik: Die Pflanzen und ihre Lebenserscheinungen	1
1.1	Eigenschaften der Lebewesen	1
1.2	Teilgebiete der Botanik	3
1.3	Die Pflanzenwelt und ihre Gliederung	4
1.3.1	Prinzipien der Evolution und der Systematik	4
1.3.1.1	Evolution	4
1.3.1.2	Verwandtschaftsforschung	6
1.3.1.3	Grundlagen der Namengebung: Taxonomie	7
1.3.2	„Tree of life“ und Organisationstypen	9
1.3.3	Barcoding	14
1.4	Ökologische Stellung der Pflanzen	15
2	Moleküle der Zelle	17
2.1	Wasser	18
2.2	Lipide	19
2.3	Kohlenhydrate	21
2.3.1	Monosaccharide und ihre Derivate	21
2.3.2	Oligosaccharide	23
2.3.3	Polysaccharide	24
2.4	Aminosäuren und Proteine	27
2.4.1	Aminosäuren und ihre peptidische Verknüpfung	27
2.4.2	Proteine	29
2.5	Nucleotide und Nucleinsäuren	35
2.5.1	Nucleotide	35
2.5.2	Nucleinsäuren	38
2.6	Tetrapyrrol-Systeme	40
2.7	Aromaten	40
2.8	Aufgaben der verschiedenen Moleküle im Stoffwechsel	42
2.9	Analyseverfahren für Makromolekül-Strukturen	43
3	Cytologie	45
3.1	Die Zelle als Grundbaustein der Lebewesen	45
3.1.1	Gestalt der Zellen	45
3.1.2	Größe der Zellen	46
3.1.3	Protophyte und Eucyte	46
3.1.4	Genetische Information und epigenetisches System	46
3.1.5	Grundeigenschaften von Zellen	47
3.1.6	Charakterisierung der Pflanzenzelle	47
3.1.7	Polyenergide, Plasmodium, Symplast	49
3.2	Bau der Pflanzenzelle	49
3.2.1	Methoden der Cytologie	49
3.2.1.1	Mikroskopie und Elektronenmikroskopie	49
3.2.1.2	Isolierung von Organellen und Makromolekülen	51
3.2.1.3	Untersuchungen der Dynamik	51
3.2.1.4	Zellfreies System und Zellkultur	52
3.2.2	Übersicht über den Bau der Pflanzenzelle	53

3.2.3	Plasmatische und nichtplasmatische Räume der Zelle	55
3.2.4	Protoplast	55
3.2.4.1	Grundstrukturen des Cytoplasmas (Grundplasma)	55
3.2.4.2	Membran	56
3.2.4.3	Organellen ohne Membran	60
3.2.4.4	Organellen mit einfacher Membran (kleine Organellen)	64
3.2.4.5	Zellkern (Nucleus, Karyon)	72
3.2.4.6	Mitochondrien und Plastiden	80
3.2.5	Ergastische Gebilde	86
3.2.5.1	Vakuom	86
3.2.5.2	Kristalle	88
3.2.5.3	Stärke als Reservestoff	88
3.2.5.4	Zellwand	90
3.3	Bau der Prokaryoten-Zelle (Procyte)	101
3.4	Entstehung der Eucyte; Endosymbionten-Theorie	106
3.5	Wasserhaushalt der Pflanzenzelle	108
3.5.1	Diffusion	108
3.5.2	Osmose und Osmometer; Wasserpotenzial	109
3.5.3	Das Osmometermodell der Pflanzenzelle	110
3.5.4	Quellung	112
3.5.5	Plasmolyse	112
3.5.6	Zellen im Verband	113
3.5.7	Osmotische Anpassung der Zelle	114
3.6	Technische Aspekte	114
4	Genetische Grundlagen	117
4.1	Grundbegriffe	117
4.2	Variabilität und Modifikationen	118
4.3	Chemische Natur der Gene	119
4.3.1	Struktur der DNA	120
4.3.2	Replikation der DNA	121
4.3.3	DNA-Reparatur	124
4.4	Realisierung der genetischen Information	125
4.4.1	Transkription	125
4.4.2	Reverse Transkriptasen und Struktur der Gene bei Eukaryoten	127
4.4.3	Genetischer Code	127
4.4.4	Funktion der Ribonucleinsäuren	128
4.4.5	Posttranskriptionale Prozessierung der Ribonucleinsäuren	129
4.4.6	Translation	131
4.4.7	Proteinfaltung, Chaperone	135
4.4.8	Lokalisierung und posttranslationale Veränderung der Proteine	137
4.4.9	Proteinabbau	140
4.4.9.1	Proteasomaler Abbau	141
4.4.9.2	Weitere Proteasen	143
4.4.9.3	Andere Markierungen von Proteinen	144
4.5	Veränderung der genetischen Information	145
4.5.1	Mutationen	145
4.5.1.1	Punktmutationen (Genmutationen)	145
4.5.1.2	Chromosomenmutationen	146
4.5.1.3	Genommutationen	147
4.5.2	Transposons	148
4.5.3	Rekombination	149
4.6	Regulation des Genoms	151
4.6.1	Regulation bei Prokaryoten	151

4.6.2	Regulation bei Eukaryoten	154
4.6.3	Regulation durch kleine Ribonucleinsäuren	159
4.6.4	Epigenetik	161
4.6.5	Untersuchung von Genen und ihrer Regulation	162
4.6.6	Gene in Organellen (extrakaryotische Vererbung)	164
4.6.7	Geschlechtsbestimmung	165
4.6.8	Genomik, Proteomik und weitere „-omics“	166
4.6.9	Horizontaler Gentransfer	169
4.7	Transgene Pflanzen – Rekombinante DNA	170
4.8	Biotechnische Aspekte	174
4.8.1	DNA-Nanotechnologie	174
4.8.2	Veränderung des genetischen Codes	174
4.9	Signalketten und Signalnetze	175
4.9.1	Rezeptoren	176
4.9.2	Komponenten der Signaltransduktion	177
4.9.3	Regulation durch Calcium-Ionen	179
4.9.4	Metabolit-Signale	180
4.9.5	Regulation des Zellzyklus	180
4.9.6	Signalnetze	181
5	Organisationsstufen – vom Einzeller zur Blütenpflanze	183
5.1	Evolution der Vielzeller und der Landpflanzen	183
5.1.1	Bakterienkolonien und Quorum sensing	184
5.1.2	Vom Einzeller zum Vielzeller	184
5.1.3	Von den Thallophyten zu den Landpflanzen	185
5.2	Protophyten	187
5.2.1	Organisation der Protophyten	187
5.2.2	Endosymbiosen	187
5.2.3	Übergänge zum Vielzeller	188
5.3	Thallophyten	189
5.4	Moose	191
5.5	Kormophyten	192
5.5.1	Anpassung ans Landleben	192
5.5.2	Frühe Evolution der Kormophyten	193
5.5.3	Telomtheorie	194
5.5.4	Regressionen	195
6	Histologie (Gewebelehre)	197
6.1	Bildungsgewebe oder Meristeme	197
6.2	Dauergewebe	198
6.2.1	Grundgewebe	198
6.2.2	Abschluss- und Absorptionsgewebe	200
6.2.2.1	Epidermis	200
6.2.2.2	Spaltöffnungen (Stomata)	201
6.2.2.3	Haare (Trichome) und Emergenzen	203
6.2.2.4	Weitere primäre Abschlussgewebe	204
6.2.2.5	Periderm (Sekundäres Abschlussgewebe)	205
6.2.2.6	Spezielle Absorptionsgewebe	205
6.2.3	Festigungsgewebe (Mechanisches System)	205
6.2.3.1	Kollenchym	205
6.2.3.2	Sklerenchym	206
6.2.4	Leitgewebe	207
6.2.4.1	Phloem	207
6.2.4.2	Xylem	209

6.2.4.3	Leitbündel	209
6.2.4.4	Transferzellen	211
6.2.5	Ausscheidungsgewebe (Exkretionsgewebe)	211
6.2.5.1	Exkretionsgewebe s. str. (Absonderungsgewebe).....	211
6.2.5.2	Drüsen	212
7	Anatomie und Morphologie des Vegetationskörpers	215
7.1	Keimung bei Blütenpflanzen	215
7.2	Sprossachse	216
7.2.1	Phylogenie der Sprossachse.....	216
7.2.2	Ontogenie der Sprossachse	216
7.2.3	Regulation der Ontogenie	219
7.2.4	Anatomie der Sprossachse.....	221
7.2.4.1	Dicotyle und Coniferen	221
7.2.4.2	Monocotyle	222
7.2.4.3	Mechanische Bauprinzipien der Sprossachse	222
7.2.4.4	Stelärtheorie.....	224
7.2.5	Sekundäre Veränderungen der Sprossachse	224
7.2.5.1	Sekundäres Dickenwachstum	224
7.2.5.2	Bau des Holzes.....	226
7.2.5.3	Bau der sekundären Rinde.....	230
7.2.5.4	Sekundäre und tertiäre Abschlussgewebe	231
7.2.5.5	Abweichende Formen sekundären Dickenwachstums	233
7.2.5.6	Wundheilung.....	234
7.2.6	Morphologie der Sprossachse	234
7.2.6.1	Längenwachstum der Sprossachse	234
7.2.6.2	Symmetrie und Dickenwachstum der Sprossachse	235
7.2.6.3	Blattstellung (Phyllotaxis)	235
7.2.6.4	Verzweigung der Sprossachse	237
7.3	Blatt.....	239
7.3.1	Phylogenie des Blattes	239
7.3.2	Ontogenie des Blattes.....	240
7.3.2.1	Blattanlagen.....	240
7.3.2.2	Blattwachstum.....	240
7.3.3	Regulation der Ontogenie	241
7.3.4	Anatomie des Blattes	242
7.3.4.1	Blattspreite (Lamina)	242
7.3.4.2	Blattstiel	247
7.3.5	Morphologie des Blattes.....	247
7.3.6	Blattfolge am Spross	249
7.3.7	Lebensdauer der Blätter, Blattfall	250
7.4	Wurzel	251
7.4.1	Ontogenie und primäre Anatomie der Wurzel.....	252
7.4.1.1	Wurzelanlage	252
7.4.1.2	Wurzelhaube (Calyptra).....	252
7.4.1.3	Rhizodermis	253
7.4.1.4	Wurzelrinde.....	254
7.4.1.5	Zentralzylinder	255
7.4.1.6	Wurzelhals	255
7.4.2	Regulation der Ontogenie	255
7.4.3	Sekundäre Veränderungen der Wurzel	256
7.4.3.1	Sekundäres Dickenwachstum	256
7.4.3.2	Seitenwurzelbildung.....	257
7.4.4	Morphologie der Wurzel	258

7.4.5	Bewurzelungsformen	259
7.5	Anpassungen des Kormus	260
7.5.1	Ökologische Potenz und ökologische Nische	260
7.5.2	Anatomisch-morphologische Anpassungen an Standortbedingungen	261
7.5.2.1	Anpassungen an die Wasserverfügbarkeit	261
7.5.2.2	Anpassungen an die Überdauerung ungünstiger Zeiten	265
7.5.2.3	Anpassungen an die Lichtverhältnisse und zur Erhöhung der mechanischen Stabilität	268
7.5.2.4	Anpassungen an besondere Ernährungsbedingungen	271
7.5.2.5	Anpassungen als Schutz vor Tierfraß	272
7.5.2.6	Anpassungen an Feuer (Pyrophyten)	273
7.5.3	Lebensformen	273
8	Fortpflanzung	281
8.1	Fortpflanzungssysteme	281
8.1.1	Vegetative Fortpflanzung durch Zerfall oder Zerteilung	281
8.1.2	Ungeschlechtliche Fortpflanzung durch besondere Zellen	283
8.1.3	Geschlechtliche Fortpflanzung	284
8.1.3.1	Formen der Syngamie	284
8.1.3.2	Meiose	285
8.1.3.3	Zeitpunkt der Meiose; Generationswechsel	288
8.1.3.4	Generationswechsel bei Landpflanzen (Moose und Kormophyten)	290
8.2	Blüte	295
8.2.1	Aufbau der Angiospermen-Blüte	295
8.2.2	Blütenbildung und Lebensdauer der Pflanze	297
8.2.3	Blütenstände (Infloreszenzen)	298
8.2.3.1	Aufbau von Blütenständen	298
8.2.3.2	Pseudanthien	298
8.2.3.3	Wichtige Infloreszenz-Formen	299
8.2.4	Phylogenie der Blüte	300
8.2.5	Ontogenie der Blüte	301
8.2.6	Blütenhülle	303
8.2.7	Androeceum	303
8.2.7.1	Staubblätter	304
8.2.7.2	Staminodien	304
8.2.7.3	Pollensack und Bildung der Pollenkörner	304
8.2.7.4	Pollenkorn	305
8.2.8	Gynoeceum	306
8.2.8.1	Bau des Fruchtknotens	306
8.2.8.2	Placentation	307
8.2.8.3	Bau der Samenanlage	307
8.2.8.4	Lage des Fruchtknotens	308
8.2.9	Geschlechterverteilung und Bestäubung	308
8.2.9.1	Geschlechterverteilung in Blüten	308
8.2.9.2	Bestäubung	309
8.2.9.3	Inkompatibilität	312
8.3	Entwicklung der Gametophyten, Befruchtung	312
8.3.1	Entwicklung des Mikrogametophyten	312
8.3.2	Entwicklung des Megagametophyten	313
8.3.3	Befruchtung	314
8.4	Same und Frucht	315
8.4.1	Bildung von Embryo und sekundärem Endosperm	315
8.4.2	Regulation der Entwicklung	316
8.4.3	Samenbildung	317

XII		Inhalt
8.4.4	Samenanhängsel	319
8.4.5	Apomixis	320
8.4.6	Fruchtbildung	320
8.4.7	Fruchtformen	322
8.4.7.1	Einzel Früchte	322
8.4.7.2	Sammelfrüchte	322
8.4.7.3	Zusammengesetzte Früchte	324
8.4.8	Verbreitung der Diasporen	324
8.4.8.1	Autochore Verbreitung	325
8.4.8.2	Allochore Verbreitung	325
9	Grundprinzipien der Stoffwechselphysiologie	327
9.1	Grundlagen der Energetik	327
9.2	Energetische Kopplung; Bedeutung von ATP	329
9.3	Energetik der Redoxreaktionen	331
9.4	Biologische Katalyse: Enzyme	333
9.4.1	Katalysator-Funktion der Enzyme	333
9.4.2	Kinetik der Enzymreaktionen	335
9.4.3	Regulation von Enzymreaktionen	336
9.4.4	Enzyme im Stoffwechsel	338
9.4.5	Technische Aspekte	338
9.5	Membrantransport	340
10	Energiestoffwechsel der Pflanze	347
10.1	Photosynthese	347
10.1.1	Primärreaktionen der Photosynthese	349
10.1.1.1	Photosynthetische Farbstoffe	349
10.1.1.2	Absorptions- und Wirkungsspektren	351
10.1.1.3	Lichtabsorption und Energiewanderung	352
10.1.1.4	Chemische Primärreaktionen	356
10.1.1.5	Photoprotektion	363
10.1.2	Sekundärreaktionen der Photosynthese (CO ₂ -Fixierung und Reduktion)	365
10.1.3	Photosynthese und Umweltfaktoren	369
10.1.3.1	Anpassungen der Photosynthese an Standortverhältnisse	370
10.1.3.2	Evolutive Anpassung der Sekundärvorgänge	371
10.1.3.3	Abhängigkeit der Photosynthese von Umweltfaktoren	376
10.1.4	Technische Aspekte	379
10.1.5	Photosynthese bei Prokaryoten	380
10.2	Chemolithotrophie	381
10.3	Assimilationsprodukte und deren weitere Umsetzungen	383
10.3.1	Photosyntheseprodukte; Transport ins Cytosol	383
10.3.2	Umsatz der Monosaccharide	384
10.4	Dissimilation, Übersicht	387
10.5	Monosaccharid-Abbau	389
10.5.1	Oxidativer Pentosephosphatzyklus (Hexosemonophosphatabbau, HMP)	389
10.5.2	Glykolyse (EMP)	389
10.5.3	Gärungen	392
10.6	Dissimilation durch Citratzyklus und Endoxidation	393
10.6.1	Citratzyklus	393
10.6.1.1	Ablauf des Citratzyklus	394
10.6.1.2	Synthesen vom Citratzyklus aus	395
10.6.1.3	Anaplerotische CO ₂ -Fixierung	396
10.6.2	Glyoxylat-Zyklus und Gluconeogenese	396
10.6.3	Speicherung von Carbonsäuren	396

Inhalt	XIII
10.6.4	Endoxidation (Atmungskette)..... 397
10.6.4.1	Elektronentransportkette..... 397
10.6.4.2	Alternative Elektronentransport-Wege..... 400
10.6.4.3	Atmungskettenphosphorylierung..... 400
10.6.4.4	Regulation der Atmungskette..... 401
10.6.4.5	Alternative Elektronenakzeptoren (Nitrat- und Sulfatatmung)..... 401
10.7	Nebenatmung..... 402
10.8	Dissimilation und Umweltfaktoren..... 404
10.8.1	Untersuchung der Atmungsvorgänge..... 404
10.8.2	Einflüsse verschiedener Umweltfaktoren..... 404
11	Stoffwechsel der Kohlenhydrate, Lipide und Stickstoffverbindungen. 407
11.1	Kohlenhydrat-Stoffwechsel: Oligo- und Polysaccharide..... 408
11.1.1	Oligosaccharide..... 408
11.1.2	Stärke..... 410
11.1.3	Zellwand-Polysaccharide..... 412
11.1.4	Heteroside (Glykoside)..... 414
11.2	Lipid-Stoffwechsel..... 415
11.2.1	Fettsäuren: Synthese und Abbau..... 415
11.2.1.1	Fettsäure-Biosynthese..... 415
11.2.1.2	Bildung ungesättigter Fettsäuren..... 417
11.2.1.3	Abbau der Fettsäuren..... 417
11.2.2	Polare Lipide (Membran- oder Strukturlipide)..... 418
11.2.3	Oxylipine..... 421
11.2.4	Fette (Reservelipide)..... 422
11.2.5	Oberflächenlipide..... 423
11.2.6	Terpenoide (Isoprenoide)..... 424
11.3	Stoffwechsel der Stickstoff-Verbindungen..... 429
11.3.1	Stoffwechsel des anorganischen Stickstoffs..... 429
11.3.1.1	Stickstoff-Fixierung..... 430
11.3.1.2	Nitrat-Reduktion..... 433
11.3.2	Stoffwechsel der Aminosäuren..... 434
11.3.2.1	Primäre Aminierung (Ammonium-Assimilation)..... 434
11.3.2.2	Transaminierung..... 435
11.3.2.3	Aufbau des Kohlenstoff-Gerüsts der Aminosäuren..... 435
11.3.2.4	Abbau von Aminosäuren..... 439
11.3.2.5	Stickstoffspeicherung..... 440
11.3.2.6	Weitere Stickstoffverbindungen, Stickstoff-Kreislauf..... 440
11.3.2.7	Sulfat-Reduktion und Schwefel-Kreislauf..... 441
11.3.2.8	Halogenverbindungen..... 443
11.3.3	Stoffwechsel der Peptide und Proteine..... 443
11.3.3.1	Oligopeptide..... 443
11.3.3.2	Redox-Regulation..... 445
11.3.3.3	Eigenschaften und Klassifikation der Proteine..... 446
11.3.4	Nucleotidstoffwechsel..... 447
11.3.5	Alkaloide..... 447
11.3.6	Glucosinolate und cyanogene Verbindungen..... 450
11.4	Stoffwechsel der Phenolverbindungen (Aromaten)..... 451
11.5	Technische Aspekte..... 457
11.6	Stoffwechselregulation und Vernetzung..... 459
11.6.1	Stoffwechselregulation..... 459
11.6.2	Metabolomik..... 461
11.6.3	Netzwerke und Systembiologie..... 463
11.7	Synthetische Biologie..... 466

12	Wasser- und Ionenhaushalt; Transportvorgänge	471
12.1	Wasserhaushalt der Pflanze	471
12.1.1	Wasserabgabe	471
12.1.2	Wasseraufnahme	473
12.1.3	Wassertransport	474
12.2	Assimilat-Transport im Phloem	476
12.3	Stoffausscheidung (Exkretion)	478
12.4	Ionenhaushalt	478
12.4.1	Funktion der Ionen	479
12.4.2	Aufnahme und Transport der Ionen	481
12.4.3	Spaltöffnungsbewegung	483
12.4.4	Das Membranpotenzial als Folge der Ionenverteilung	485
12.4.5	Ionen als Standortfaktoren	487
13	Heterotrophe Ernährung und Symbiose	489
13.1	Saprophytismus	490
13.2	Parasitismus	490
13.3	Symbiose	492
13.3.1	Flechten	492
13.3.2	Mykorrhiza	493
13.4	Carnivorie	495
14	Entwicklung und Wachstum	497
14.1	Wachstum und Differenzierung	497
14.1.1	Wachstum der einzelnen Zellen	497
14.1.2	Wachstum der Organe	498
14.1.3	Differenzierung	498
14.1.3.1	Differenzierung und Potenz	498
14.1.3.2	Dedifferenzierung und Restitution	500
14.1.3.3	Differentielle Genaktivität	500
14.1.4	Polarität	501
14.1.5	Musterbildung	502
14.1.6	Korrelationen	504
14.2	Phytohormone	504
14.2.1	Auxine	506
14.2.2	Gibberelline	509
14.2.3	Cytokinine	511
14.2.4	Abscisinsäure	512
14.2.5	Ethylen (Ethen)	513
14.2.6	Jasmonate	514
14.2.7	Brassinosteroide (Brassinosteroide, Brassinolide)	514
14.2.8	Strigolactone	515
14.2.9	Weitere Hormone und Signalstoffe	516
14.2.10	Zusammenarbeit der Hormone	517
14.3	Äußere Entwicklungsfaktoren	519
14.3.1	Licht	519
14.3.1.1	Phytochrome und ihre Wirkungen	521
14.3.1.2	Wirkungen von Blaulicht und UV-Strahlung	524
14.3.1.3	Schattenvermeidungssyndrom	525
14.3.2	Temperatur	525
14.3.3	Weitere Faktoren	526
14.3.4	Homöostase in der Entwicklung	527
14.4	Entwicklung und Rhythmik	527
14.4.1	Vegetative Entwicklung	527

Inhalt	XV
14.4.2 Blütenbildung	528
14.4.2.1 Photoperiode und Blütenbildung	528
14.4.2.2 Vernalisation	531
14.4.2.3 Weitere photoperiodisch gesteuerte Vorgänge	531
14.4.2.4 Regulation der Blüten- und Embryobildung	531
14.4.3 Bildung der Samen und Früchte	532
14.4.4 Aktivitätswechsel ausdauernder Arten	533
14.4.5 Programmierter Zelltod	533
14.4.6 Keimruhe und Keimung	534
14.4.6.1 Keimfähigkeit	534
14.4.6.2 Umweltfaktoren und Keimung	535
14.4.7 Rhythmik	535
14.4.7.1 Circadiane Rhythmik	535
14.4.7.2 Molekularer Mechanismus der inneren Uhr	537
14.5 Tumoren	538
14.5.1 Infektionstumoren	539
14.5.2 Anwendung des T ₁ -Plasmids	540
15 Stressphysiologie	543
15.1 Abiotischer Stress	545
15.1.1 Hitzestress	546
15.1.2 Kältestress	547
15.1.3 Dürrestress	550
15.1.4 Weitere abiotische Stressfaktoren	551
15.2 Biotischer Stress	551
15.2.1 Lokale Stressantwort	552
15.2.2 Systemische Stressantwort	555
15.2.3 Herbivorie	556
15.2.4 Gallbildungen	556
15.2.5 Allelopathie	557
16 Bewegungen	559
16.1 Bewegung und Reizbarkeit bei Pflanzen	559
16.2 Intrazelluläre Bewegungen und Bewegungen von Zellen	560
16.2.1 Intrazelluläre Bewegungen	560
16.2.2 Mechanismen der Zellbewegungen	561
16.2.3 Freie Ortsbewegungen (Taxien)	561
16.3 Bewegungsmechanismen der vielzelligen Pflanzen	563
16.3.1 Mechanische Bewegungen	563
16.3.1.1 Quellungsbewegungen	563
16.3.1.2 Kohäsionsbewegungen	565
16.3.2 Bewegungen unter Beteiligung der Protoplasten	566
16.3.2.1 Wiederholbare Turgorbewegungen	566
16.3.2.2 Schleuder- und Explosionsbewegungen	567
16.3.2.3 Wachstumsbewegungen	567
16.4 Reizbewegungen vielzelliger Pflanzen	568
16.4.1 Wirkungen von Strahlung	568
16.4.2 Wirkungen der Schwerkraft	569
16.4.3 Chemische Wirkungen	571
16.4.4 Mechanische Wirkungen	571
16.4.5 Wirkungen der Temperatur	573
Weiterführende Literatur	575
Register	581