

Inhalt

1 Gase.....	1
<i>Siegfried Hess</i>	
1.1 Einleitung, Begriffsbestimmungen	1
1.1.1 Ideale und reale Gase, verdünnte und dichte Gase	2
1.1.2 Edelgase und mehratomige Gase	6
1.1.3 Zwischenmolekulare Wechselwirkung	7
1.1.3.1 Sphärische Teilchen	7
1.1.3.2 Nichtsphärische Teilchen	9
1.1.4 Klassische und quantenmechanische Beschreibung	11
1.1.4.1 Translationsbewegung, Stoßprozesse	11
1.1.4.2 Innere Freiheitsgrade: Rotation linearer Moleküle	12
1.2 Gase im thermischen Gleichgewicht	12
1.2.1 Druck	13
1.2.1.1 Thermodynamische Relationen	13
1.2.1.2 Ideale Gase	14
1.2.1.3 Reale Gase, Realgasfaktor	14
1.2.1.4 Reale Gase, Virialentwicklung	16
1.2.2 Geschwindigkeitsverteilung	18
1.2.2.1 Der kinetische Druck	18
1.2.2.2 Verteilungsfunktion, Mittelwerte	18
1.2.3 Innere Energie, spezifische Wärmekapazität	21
1.2.3.1 Thermodynamische Relationen und statistische Interpretation	21
1.2.3.2 Spezifische Wärmekapazität idealer Gase	22
1.2.4 Verteilung der Rotationszustände linearer Moleküle	24
1.2.5 Schallgeschwindigkeit	25
1.2.6 Entartete Gase	26
1.2.6.1 Theoretisches zur Quantenstatistik und zur Bose-Einstein-Kondensation	26
1.2.6.2 Atomarer Wasserstoff	28
1.3 Transportphänomene	30
1.3.1 Lokale Erhaltungssätze und phänomenologische Ansätze	30
1.3.1.1 Lokale Variable, Kontinuitätsgleichung	30
1.3.1.2 Bewegungsgleichung	32
1.3.1.3 Energieerhaltung, Entropiebilanz	35
1.3.1.4 Grundsätzliches zur Messung der Transportkoeffizienten	36
1.3.2 Viskosität und Wärmeleitfähigkeit	38
1.3.2.1 Dimensionsbetrachtungen, Dichte- und Druckabhängigkeit	38
1.3.2.2 Boltzmann-Gas	40
1.3.2.3 Mehratomige Gase	45
1.3.2.4 Dichte Gase	48
1.3.3 Geschwindigkeitsverteilung im Nicht-Gleichgewicht	52
1.3.4 Gasgemische: Diffusion, Thermodiffusions- und Diffusionsthermoeffekt	55

1.3.4.1	Phänomenologische Beschreibung und Ansätze	55
1.3.4.2	Diffusions- und Selbstdiffusionskoeffizient	57
1.3.4.3	Thermodiffusionsfaktor	59
1.3.5	Verdünnte Gase	60
1.3.5.1	Thermischer Druck und viskoser Wärmestrom	60
1.3.5.2	Randeffekte in mäßig verdünnten Gasen	61
1.3.5.3	Stark verdünnte Gase	64
1.3.5.4	Thermophorese	65
1.4	Nicht-Gleichgewichts-Ausrichtungseffekte	67
1.4.1	Einfluß äußerer magnetischer und elektrischer Felder auf die Transport- eigenschaften (Senftleben-Beenakker-Effekt)	67
1.4.1.1	Vorbemerkungen und qualitative Erklärung des Effektes	67
1.4.1.2	Anisotropie der Transportkoeffizienten, Meßanordnungen	71
1.4.1.3	Vergleich der Magnetfeldabhängigkeit der Viskositätskoeffizienten mit der kinetischen Theorie	76
1.4.1.4	Magnetfeldabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit	80
1.4.1.5	Magnetfeldeinfluß auf Transportvorgänge in verdünnten Gasen; thermomagnetisches Drehmoment und thermomagnetische Kraft	82
1.4.1.6	Einfluß eines elektrischen Feldes auf die Transportvorgänge	84
1.4.2	Strömungsdoppelbrechung und verwandte Nicht-Gleichgewichts- Ausrichtungseffekte	85
1.4.2.1	Doppelbrechung und molekulare Ausrichtung	85
1.4.2.2	Strömungsdoppelbrechung	86
1.4.2.3	Wärmeströmungsdoppelbrechung	88
1.4.2.4	Weitere Methoden zum Nachweis der molekularen Ausrichtung	90
1.4.3	Effektiver Wirkungsquerschnitt, Vergleich zwischen Theorie und Experiment	90
2	Plasmen	97
<i>Joachim Seidel, Burkhard Wende</i>		
2.1	Einleitung	97
2.1.1	Überblick und Abgrenzung	97
2.1.2	Klassifikation von Plasmen	98
2.1.3	Kollektive und Stoßwechselwirkung	100
2.2	Quasineutralität und Debye-Hückel-Abschirmung	102
2.2.1	Raumladungen im Plasma	102
2.2.2	Debye-Hückel-Abschirmung	103
2.3	Vollständiges thermodynamisches Gleichgewicht (VTG)	105
2.3.1	Grundlegende Temperaturabhängigkeiten	106
2.3.1.1	Ionisationsgleichgewicht, Saha-Eggert-Gleichung	106
2.3.1.2	Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	109
2.3.1.3	Boltzmann-Verteilung der Anregungsenergien	109
2.3.1.4	Planck-Gesetz der Hohlraumstrahlung	110
2.3.2	Enthalpie, Wärmekapazität und Energie	111
2.4	Stöße zwischen Plasmateilchen	115
2.4.1	Stoßfrequenz, Stoßquerschnitt und Stoßrate, freie Weglänge	115
2.4.2	Elastische Stöße	119
2.4.2.1	Stöße zwischen Neutralatomen	119
2.4.2.2	Stöße geladener Teilchen mit Neutralatomen, Ramsauer-Querschnitte	119

2.4.2.3	Stöße zwischen geladenen Teilchen	120
2.4.3	Unelastische Stöße	124
2.4.3.1	Atomanregung durch Elektronenstoß	124
2.4.3.2	Ionisation durch Stöße	125
2.4.3.3	Stöße mit Ladungstransfer	127
2.5	Energietransfer im thermodynamischen Nichtgleichgewicht	128
2.5.1	Abweichungen vom vollständigen thermodynamischen Gleichgewicht	128
2.5.2	Energietransfer durch Stöße und Strahlung	129
2.5.3	Elektronentemperatur	129
2.5.4	Anregungs- und Ionisationsgleichgewicht	130
2.5.5	Gastemperatur	134
2.5.6	Lokales thermodynamisches Gleichgewicht (LTG)	135
2.5.7	Partielles lokales thermodynamisches Gleichgewicht (PLTG)	136
2.6	Laborplasmen und Plasmaanwendungen	136
2.6.1	Gasentladungen	136
2.6.2	Plasmaerzeugung durch Kompression	140
2.6.3	Anwendungsgebiete	142
2.6.4	Thermionische Diode	143
2.6.5	Magnetohydrodynamischer Generator	144
2.7	Transportvorgänge	145
2.7.1	Elektrische Leitfähigkeit	146
2.7.2	Wärmeleitung, ambipolare Diffusion	149
2.8	Optische Strahlung	151
2.8.1	Emission und Absorption, Kirchhoff-Satz	152
2.8.2	Strahlungstransport	153
2.8.3	Linienstrahlung	155
2.8.4	Verbreiterung von Spektrallinien	159
2.8.4.1	Natürliche Linienbreite	160
2.8.4.2	Doppler-Verbreiterung	161
2.8.4.3	Druckverbreiterung im Plasma	162
2.8.4.4	Stark-Verbreiterung der Wasserstofflinien	165
2.8.4.5	Selbstabsorption	168
2.8.5	Kontinuumsstrahlung	170
2.8.5.1	Bremsstrahlung	171
2.8.5.2	Rekombinationskontinua	172
2.8.5.3	Gesamtkontinuum	173
2.8.6	Streuung von Laserstrahlung	174
2.9	Kinetische Plasmatheorie	176
2.9.1	Kontinuitätsgleichung im Phasenraum	176
2.9.2	Vlasov-Gleichung, stoßfreie Plasmen	177
2.10	Magnetohydrodynamik (MHD)	178
2.10.1	Zweiflüssigkeitsmodell	178
2.10.2	Gesamtgrößen	179
2.10.3	Verallgemeinertes Ohmsches Gesetz	180
2.11	Wellen im Plasma	181
2.11.1	Elektronenplasmaschwingungen, Plasmafrequenz	182
2.11.2	Elektromagnetische Wellen	183
2.11.2.1	Brechzahl	183
2.11.2.2	Interferometrische Messung der Elektronendichte	184

2.11.2.3	Faraday-Rotation	184
2.12	Plasmen in Magnetfeldern	185
2.12.1	Einzelteilchenmodell	186
2.12.1.1	Gyration im homogenen statischen Magnetfeld	186
2.12.1.2	Driftbewegungen	187
2.12.1.3	Adiabatische Invarianz des magnetischen Moments	189
2.12.2	Plasmaeinschluß durch magnetische Felder	190
2.12.2.1	Magnetischer Spiegel	190
2.12.2.2	Magnetohydrostatik, magnetischer Druck	191
2.12.2.3	Pinch-Gleichgewicht, Bennett-Gleichung	192
2.13	Kernfusionsplasmen	193
2.13.1	Kernverschmelzungsreaktionen	194
2.13.2	Lawson-Kriterium	197
2.13.3	Magnetischer Plasmaeinschluß	199
2.13.3.1	Lineare Pinchentladungen	200
2.13.3.2	Instabilitäten und Endverluste	202
2.13.3.3	Toroidaler Plasmaeinschluß, Tokamak und Stellarator	205
2.13.3.4	Verlustprozesse	210
2.13.3.5	Aufheizung des Plasmas	211
2.13.4	Trägheitseinschluß	213
2.13.5	Stand der thermonuklearen Fusionsforschung und Ausblick	216
2.13.6	Kalte Kernfusion	218
3	Einfache Flüssigkeiten	227
	<i>Siegfried Hess</i>	
3.1	Einleitung, Abgrenzung	227
3.1.1	Was ist „flüssig“?	227
3.1.2	Einfache und komplexe Flüssigkeiten	230
3.1.3	Newtonsche und nicht-newtonsche Flüssigkeiten, viskoelastische Fluide	230
3.1.4	Anisotrope Fluide, Mesophasen	234
3.1.5	Makrofluide	234
3.2	Phasen einfacher Fluide	235
3.2.1	Phasendiagramm, Zustandsgleichung	235
3.2.2	Der Phasenübergang gasförmig – flüssig	238
3.2.2.1	Zweiphasen-Verhalten	238
3.2.2.2	Thermodynamische Funktionen koexistierender Phasen	239
3.2.2.3	Van-der-Waals-Modell	242
3.2.2.4	Gesetz der korrespondierenden Zustände	243
3.2.3	Kritische Phänomene	244
3.3	Struktur und statistische Beschreibung	245
3.3.1	Modelle der molekularen Wechselwirkung	245
3.3.1.1	Lennard-Jones-Wechselwirkung	246
3.3.1.2	Harte und weiche Kugeln	247
3.3.2	Verteilungsfunktionen und Mittelwerte	247
3.3.2.1	Allgemeines, N-Teilchen-Mittelwerte	247
3.3.2.2	Einteilchenmittelwerte und -verteilungsfunktionen	248
3.3.2.3	Zweiteilchenmittelwerte, -verteilungsfunktion und -dichte	249
3.3.2.4	Potentialbeiträge zur inneren Energie und zum Druck	251

3.3.3	Paarkorrelationsfunktion, Nahordnung	252
3.3.4	Streuung, statischer Strukturfaktor	255
3.3.4.1	Prinzipielles zu Streuexperimenten	255
3.3.4.2	Zusammenhang zwischen Strukturfaktor und Paarkorrelationsfunktion	257
3.3.4.3	Verhalten von $S(k)$ für kleine Streuwinkel	260
3.4	Molekulardynamik-Computer-Simulationen	261
3.4.1	Was ist Molekulardynamik?	261
3.4.1.1	Allgemeine Bemerkungen	261
3.4.1.2	Methodische Details	262
3.4.2	Gleichgewichtseigenschaften	266
3.4.2.1	Thermodynamische Funktionen	266
3.4.2.2	Verteilungsfunktionen, Strukturfaktor	268
3.4.3	Bestimmung dynamischer Eigenschaften aus Fluktuationen	269
3.4.4	Nicht-Gleichgewichts-Molekulardynamik	272
3.4.4.1	Ebene Couette-Strömung	272
3.4.4.2	Relaxationsvorgänge	275
3.5	Transportvorgänge	276
3.5.1	Viskosität und Wärmeleitfähigkeit	277
3.5.1.1	Temperatur- und Dichteabhängigkeit	277
3.5.1.2	Kinetische Theorie	280
3.5.2	Struktur im Nicht-Gleichgewicht	281
3.5.2.1	Scherinduzierte Störung der Nahordnung	282
3.5.2.2	Scherinduzierte langreichweitige Ordnung	285
3.5.3	Dynamischer Strukturfaktor	288
3.6	Abschließende Bemerkungen und Ausblick	290

4	Superflüssigkeiten	293
---	--------------------------	-----

Klaus Lüders

4.1	Einleitung	293
4.1.1	Historische Bemerkungen	293
4.1.2	Heliumverflüssigung	294
4.2	Superfluides ^4He (Helium II)	296
4.2.1	Superfluidität und der Lambda-Übergang	296
4.2.2	Das Zweiflüssigkeitenmodell	299
4.2.3	Der thermomechanische Effekt	301
4.2.4	Phononen und Rotonen – die Dispersionskurve	302
4.2.5	Wärmeleitfähigkeit	304
4.2.6	Der Kapitza-Widerstand	306
4.2.7	Kritische Geschwindigkeiten	307
4.2.8	Filmfluß	310
4.2.9	Schallanregungen	311
4.2.10	Rotierendes He II und quantisierte Wirbel	313
4.2.11	He II-Kühlsysteme	316
4.3	Superfluides ^3He	318
4.3.1	Fermi-Flüssigkeit	318
4.3.2	Das Phasendiagramm ($^3\text{He-A}$ und $^3\text{He-B}$)	319
4.3.3	NMR- und Ultraschallexperimente	321

XIV	Inhalt	
4.3.4	Paarbildungsmechanismus	323
4.3.5	Polarisations- und Anisotropieeffekte	324
4.4	^3He - ^4He -Mischungen	326
4.4.1	Physikalische Eigenschaften	326
4.4.2	Tiefemperaturerzeugung durch Entmischung	328
4.5	Ausblick	329
5	Elektrolyte	333
	<i>Roger Thull</i>	
5.1	Einleitung	333
5.2	Leitfähigkeit in elektrolytischen Flüssigkeiten	334
5.2.1	Dissoziation	334
5.2.2	Überführung und Beweglichkeit	336
5.2.3	Ion-Ion-Wechselwirkung	339
5.3	Konstitution elektrolytischer Flüssigkeiten	346
5.3.1	Ion-Dipol-Wechselwirkung	346
5.3.2	Energietermschema solvatisierter Ionen	350
5.3.3	Ladungsträgeraustausch zwischen Elektrolyt und Festkörper	357
5.4	Analytische Verfahren	361
5.4.1	Elektroanalytische Messungen	361
5.4.1.1	Konduktometrie	361
5.4.1.2	Potentiometrie	362
5.4.1.3	Polarographie	364
5.4.2	Trennung von Stoffgemischen	366
5.4.2.1	Elektrophorese	366
5.4.2.2	Chromatographische Verfahren	368
5.5	Ladungsträgertransport in Festkörperelektrolyten	369
5.5.1	Fehlordnung in Festkörperelektrolyten	370
5.5.2	Überführung	371
5.6	Technische Anwendung von Festkörperelektrolyten	376
5.6.1	Ionenselektive Elektroden	376
5.6.1.1	Ionenselektive Glasmembran	376
5.6.1.2	Ionenselektive Kristallmembran	379
5.6.2	Primärzellen mit festen Elektrolyten	379
5.6.2.1	Batterien geringer Leistung	379
5.7	Elektrochemische Verfahren zur Energiespeicherung	382
5.7.1	Elektrochemische Verfahren	382
5.7.2	Wasserstoffspeicher	384
6	Flüssigkristalle	389
	<i>Gerd Heppke, Christian Bahr</i>	
6.1	Einleitung	389
6.2	Die nematische Phase	393
6.2.1	Ordnungsgrad	393

6.2.2	Anisotrope Eigenschaften.....	395
6.2.3	Elastische Eigenschaften.....	401
6.2.4	Viskosität.....	407
6.3	Die cholesterische Phase.....	411
6.4	Elektrooptische Effekte.....	418
6.5	Die smektischen Phasen.....	423
6.5.1	Die Phasen smektisch A und C.....	424
6.5.1.1	Struktur.....	424
6.5.1.2	Eigenschaften.....	427
6.5.1.3	Ferroelektrische Eigenschaften smektischer Phasen.....	430
6.5.2	Die hexatischen Phasen smektisch B _{hex} , I und F.....	432
6.5.3	Die kristallinen Phasen smektisch B _{cryst} , J, G, E, K und H.....	433
6.6	Weitere Flüssigkristallssysteme.....	435
6.6.1	Diskotische Flüssigkristalle.....	435
6.6.2	Flüssigkristalline Polymere.....	437
6.6.3	Lyotrope Flüssigkristalle.....	439

7 Makromolekulare und supramolekulare Systeme..... 447

Thomas Dorfmueller

7.1	Einleitung.....	447
7.1.1	Überblick über die Entwicklung der Physik und Chemie der Polymere.....	447
7.1.2	Supramolekulare Systeme.....	449
7.2	Chemie der Polymere.....	451
7.2.1	Polymerisationsreaktionen.....	452
7.2.2	Aufbau der Polymere.....	454
7.3	Molare Masse und räumliche Struktur der Polymere.....	456
7.3.1	Räumliche Struktur synthetischer Polymere.....	456
7.3.1.1	Konfiguration.....	456
7.3.1.2	Stereoisomerie.....	457
7.3.1.3	Geometrische Isomerie.....	457
7.3.1.4	Rotationsisomerie.....	458
7.3.2	Aufbau biologischer Makromoleküle (Proteine).....	459
7.3.2.1	Primärstruktur.....	460
7.3.2.2	Sekundärstruktur.....	461
7.3.2.3	Tertiärstruktur.....	462
7.3.2.4	Quartärstruktur.....	462
7.3.3	Form und Größe von Polymerketten.....	463
7.3.4	Polymermodelle.....	466
7.3.5	Molekülmassenverteilung.....	470
7.3.5.1	Chemische Endgruppenanalyse.....	473
7.3.5.2	Physikalische Trennverfahren.....	473
7.3.5.3	Kolligative Eigenschaften (osmotischer Druck).....	473
7.3.5.4	Rheologische Methoden.....	476
7.3.5.5	Streuethoden.....	477
7.3.6	Elektrisch leitende Polymere.....	487
7.4	Viskoelastische und dielektrische Eigenschaften.....	489
7.4.1	Grundbeziehungen viskoelastischer Systeme.....	489

7.4.2	Experimentelle Methoden	500
7.4.2.1	Spannungs-Relaxations-Experiment	500
7.4.2.2	Kriech-Relaxations-Experiment	501
7.4.2.3	Periodische Anregung	502
7.4.3	Dielektrische Spektroskopie	509
7.5	Zustandsbereiche von Polymeren	512
7.6	Elastomere	514
7.7	Gläser	519
7.7.1	Glasbildende Substanzen	519
7.7.1.1	Polymere Gläser	519
7.7.1.2	Anorganische Gläser (oxidische Gläser und Chalkogenide)	522
7.7.1.3	Metallische Gläser	523
7.7.1.4	Keramische Gläser	524
7.7.2	Theorie des Glaszustands	524
7.7.2.1	Freies-Volumen-Theorien	525
7.7.2.2	Kinetische Theorien	528
7.7.2.3	Thermodynamische Theorien	530
7.8	Gele	531
7.8.1	Polymere Gele	531
7.8.2	Physikalisch vernetzte Gele	533
7.8.3	Theorie des Sol-Gel-Übergangs	535
7.8.3.1	Theorie der Raumstruktur	535
7.8.3.2	Perkolationstheorie	536
7.8.4	Gelchromatographie und Gelelektrophorese	536
7.9	Kolloide	537
7.9.1	Lyophile Kolloide	537
7.9.2	Lyophobe Kolloide	538
7.9.2.1	Dispersionskräfte	538
7.9.2.2	Elektrostatische Wechselwirkung	540
7.9.2.3	Gesamtkräfte zwischen kolloidalen Teilchen	541
7.10	Lösungen amphiphiler Moleküle	543
7.10.1	Thermodynamische Grundlagen der Löslichkeit	543
7.10.2	Amphiphile Moleküle	543
7.10.3	Mizellen	545
7.10.4	Mikroemulsionen	546
8	Cluster	549
<i>Hellmut Haberland</i>		
8.1	Einleitung	549
8.1.1	Atome an der Oberfläche und im Volumen	550
8.1.2	Einteilung der Cluster	551
8.1.3	Wachsen eines Festkörpers	551
8.2	Clustererzeugung und Clusternachweis	554
8.2.1	Temperatur und Lebensdauer von Clustern	555
8.2.2	Gasaggregation	558
8.2.3	Düsenstrahlexpansion	559
8.2.4	Laser-Verdampfungsquelle	561

8.2.5	Einfangquellen	562
8.2.5.1	Erzeugung neutraler Cluster	562
8.2.5.2	Erzeugung von kalten Clusterionen	563
8.2.6	Probleme bei Clusterquellen	563
8.2.7	Probleme beim Nachweis der Cluster	564
8.3	Alle Eigenschaften ändern sich mit der Clustergröße	564
8.3.1	Schmelztemperatur	565
8.3.2	Abstand zum nächsten Nachbarn	568
8.3.3	Ionisierungsenergie und Elektronenaffinität von Metallclustern	569
8.3.4	Andere Eigenschaften	573
8.4	Diskussion einzelner Systeme	573
8.4.1	Elektronische Struktur von Clustern	573
8.4.1.1	Dimere	574
8.4.1.2	Cluster	578
8.4.1.3	Sind die Elektronen im Cluster lokalisiert oder delokalisiert?	580
8.4.2	Alkalimetalle	583
8.4.2.1	Jellium-Modell	585
8.4.2.2	Experimentelle Tests des Jellium-Modells	587
8.4.3	Übergangsmetalle, Katalyse mit Clustern	594
8.4.4	Alkalimetallhalogenide	596
8.4.5	Silicium und Kohlenstoff, der kosmische Fußball	597
8.4.6	Edelgase	601
8.4.6.1	Neutrale Edelgascluster	601
8.4.6.2	Ionisierte Edelgascluster	602
8.4.7	Exzelelektronen auf und in Clustern	614
8.4.8	Quecksilber, Transformation einer chemischen Bindung	621

Vielteilchen-Systeme in der Biochemie und Biologie	627
--	-----

9 Aufbau und Funktion biogener Moleküle	629
---	-----

Harald Tschesche

9.1	Arten der Makromoleküle	629
9.1.1	Allgemeine Prinzipien des Aufbaues	629
9.1.2	Die neue Dimension der Funktion	630
9.1.3	Schwache Wechselwirkungen	630
9.2	Nucleinsäuren	632
9.2.1	Primärstruktur – Nucleinsäuren aus Nucleotiden	632
9.2.2	Sekundärstruktur der Nucleinsäuren	633
9.2.3	Tertiärstruktur der Nucleinsäuren	636
9.2.4	Die genetische Information	637
9.3	Proteine	638
9.3.1	Proteine aus Aminosäuren	638
9.3.2	Primärstruktur – Die Verknüpfung durch Peptidbindungen	639
9.3.3	Sekundärstruktur – Strukturelemente durch Wasserstoffbrücken	645
9.3.4	Tertiärstruktur – Die räumliche Anordnung	649
9.3.5	Raumstrukturermittlung	651
9.3.6	Die Quartärstruktur – Allosterie	656

XVIII	Inhalt	
9.4	Membranen	660
9.5	Das Prinzip der biologischen Erkennung	662
9.6	Proteine durch Gentechnik	665
10	Viren, Zellen, Organismen.....	667
	<i>Harald Jockusch, unter Mitarbeit von Peter Heimann</i>	
10.1	Entstehung und Evolution des Lebens	667
10.1.1	Einmaligkeit und Geschichtlichkeit des uns bekannten Lebens	667
10.1.2	Evolution und Stammesverwandschaft	667
10.2	Aufbau und Leistungen von Zellen	669
10.2.1	Zellen als Reaktionsräume	669
10.2.2	Leistungen von Zellen	671
10.2.3	Funktion der äußeren Zellmembran	675
10.2.3.1	Transportvorgänge an der Membran.....	675
10.2.3.2	Signalübertragung zwischen Zellen	675
10.2.4	Die extrazelluläre Matrix	678
10.2.5	Wachstum von Zellpopulationen durch Teilung.....	679
10.3	Gene und Viren	680
10.3.1	Vererbung und Mutation: Der genetische Code	680
10.3.2	Genomgrößen und Genkarten	685
10.3.3	Cytoplasmatische Vererbung und mütterlicher Effekt.....	689
10.3.4	Horizontale Vererbung	690
10.3.5	Genetische Kontrolle makromolekularer Eigenschaften.....	691
10.4	Differenzierung und Morphogenese bei Vielzellern	694
10.4.1	Grundbegriffe	694
10.4.2	Zellkommunikation bei Differenzierung und Morphogenese	695
10.4.3	Die genetische Kontrolle der Körpergestalt.....	696
10.4.4	Genexpression und Gewebephänotyp	697
10.4.5	Entwicklungspathologie und Krebsentstehung	698
10.4.6	Entwicklung und Leistung von Nervensystemen	699
10.5	Synthetische Biologie und ihre Anwendungen	701
10.5.1	Rekombinante Nucleinsäuren	701
10.5.2	Transgene Pflanzen und Tiere	702
	Register	705