

ALLGEMEINE CHEMIE

1	Aufbau der Atome	20
1.1	Allgemeines	20
1.2	Bausteine der Atome	22
1.2.1	Elementarteilchen, Kernbausteine, Atomhülle	22
1.2.2	Chemische Elemente, Isotope, Atommassen	25
1.2.3	Massendefekt, Äquivalenz von Masse und Energie	30
1.3	Kernreaktionen	32
1.3.1	Radioaktivität	33
1.3.2	Anwendungen der Kernreaktionen und der Isotope	39
1.3.3	Künstliche Nuklide	41
1.4	Elektronenkonfigurationen	44
1.4.1	BOHRsches Modell des Wasserstoffatoms	44
1.4.2	Deutung des Wasserstoffspektrums	48
1.4.3	Moderne Quantentheorie	51
1.4.4	Atomorbitale und Quantenzahlen des Wasserstoffatoms	54
1.4.5	Aufbauprinzip von Mehrelektronensystemen	61
2	Periodensystem der Elemente	64
2.1	Ordnungsprinzipien	64
2.2	Darstellung des Periodensystems	65
2.3	Periodizität einiger Eigenschaften	69
2.3.1	Ionisierungsenergie	69
2.3.2	Elektronenaffinität	71
2.3.3	Atom- und Ionenradien	72
3	Chemische Bindungen	76
3.1	Ionenbindung	76
3.1.1	Allgemeines	76
3.1.2	Ionenradien	79
3.1.3	Charakteristische Strukturen	80
3.1.4	Gitterenergie von Ionenkristallen	86
3.2	Atombindungen	90

3.2.1	Allgemeines	90
3.2.2	Bindungsbegriffe	92
3.2.3	Valenzbindungstheorie	95
3.2.4	Hybridisierung	98
3.2.5	Mehrfachbindungen	102
3.2.6	Polare Atombindung	105
3.3	Metallische Bindung	108
3.3.1	Elektronengas-Modell	108
3.3.2	Energiebänder-Modell	110
3.4	Zwischenmolekulare Bindungen	112
3.4.1	VAN DER WAALS-Bindung	112
3.4.2	Dipol-Dipol-Wechselwirkung	113
3.4.3	Wasserstoffbrückenbindung	114
4	Zustandsformen der Materie	116
4.1	Aggregatzustände, Phasen, Dispersität	116
4.2	Gasförmiger Zustand	119
4.2.1	Ideale Gase	120
4.2.2	Reale Gase	126
4.3	Fester Zustand	129
4.3.1	Struktur und Bindungscharakter	129
4.3.2	Kristallgitter und Kristallsysteme	131
4.3.3	Methoden zur Ermittlung der Festkörperstruktur	134
4.4	Flüssiger Zustand	137
4.5	Phasenübergang und Phasengleichgewicht	140
5	Energetik chemischer Reaktionen	143
5.1	Allgemeines zum Ablauf chemischer Reaktionen	143
5.2	Erster Hauptsatz der Thermodynamik	144
5.2.1	Anwendung auf chemische Reaktionen	147
5.2.2	Energieformen bei chemischen Reaktionen	152
5.3	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	154
5.3.1	Freie Enthalpie und Entropie	154
5.3.2	GIBBS-HELMHOLTZsche Gleichung	157
6	Mehrstoffsysteme und Lösungen	162
6.1	Eigenschaften und Grundgesetze von Lösungen	162
6.1.1	Zusammensetzung einer Lösung	162
6.1.2	Regeln der Löslichkeit	166
6.2	Lösungsvorgänge	170
6.2.1	Solvatation und Solvathüllen	170

6.2.2	Solvatations- bzw. Hydratationsenthalpie	173
6.2.3	Löslichkeit von Stoffgruppen des PSE	174
6.3	Kolligative Eigenschaften von Lösungen	175
6.3.1	Dampfdruckerniedrigung	176
6.3.2	Molmassebestimmung	177
6.3.3	Osmose und osmotischer Druck	178
7	Allgemeine Reaktionsbegriffe	181
7.1	Symbole und Formeln	181
7.2	Quantitative Eigenschaften von Formeln und Gleichungen	185
7.3	Chemisches Gleichgewicht	188
7.3.1	Allgemeines	188
7.3.2	Massenwirkungsgesetz (MWG)	190
7.3.3	Prinzip von LE CHATELIER	192
8	Säuren und Basen	197
8.1	Autoprotolyse des Wassers	197
8.1.1	Eigenschaften und Struktur des Hydroniumions	197
8.1.2	Dissoziationsgleichgewicht des Wassers und pH-Wert	198
8.2	Säure-Base-Reaktionen	200
8.2.1	Theorie von ARRHENIUS	200
8.2.2	Theorie von BRØNSTED	201
8.2.3	Relative Säure- und Basestärke	203
8.3	Protolysegleichgewichte	204
8.3.1	pK_s -Wert und Berechnung des pH-Wertes von Säuren	204
8.3.2	Protolysegrad	207
8.3.3	pH-Berechnungen von Basen und Salzlösungen	208
8.3.4	Puffersysteme	211
8.4	Säure-Base-Titration	214
8.5	Elektronentheorie der Säuren und Basen nach LEWIS	217
9	Redox-Systeme	219
9.1	Oxidations- und Reduktionsreaktionen	219
9.2	Aufstellen von Redoxgleichungen	222
9.3	Elektronenaustausch an der Phasengrenze	224
9.3.1	Galvanische Ketten (DANIELL-Element)	224
9.3.2	Normal-Wasserstoffelektrode	226

9.3.3	Elektrochemische Spannungsreihe	227
9.3.4	NERNST-Gleichung	229
9.4	Konzentrationsketten und Elektrodenarten	231
9.5	Elektrochemische Spannungsquellen	234
9.6	Elektrolyse	236
10	Gleichgewichte in Mehrphasensystemen	238
10.1	Gleichgewichte unter Beteiligung einer festen Phase	238
10.1.1	Adsorption an Oberflächen	238
10.1.2	Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt	241
10.2	Verteilung von Stoffen zwischen zwei flüssigen Phasen	244
10.3	Gleichgewichte an Membranen	245
10.3.1	Dialyse	245
10.3.2	DONNAN-Gleichgewicht	246
11	Kinetik chemischer Reaktionen	248
11.1	Reaktionsgeschwindigkeit	248
11.1.1	Allgemeines	248
11.1.2	Reaktionsordnung und Molekularität	250
11.1.3	Rückreaktion und dynamisches Gleichgewicht	255
11.2	Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit	257
11.2.1	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	257
11.2.2	Aktivierungsenergie und -entropie	260
11.2.3	Das Reaktions-Energie-Diagramm	263
11.3	Beschleunigung einer Reaktion durch Katalyse	265
11.4	Kinetische Reaktionstypen	267

ANORGANISCHE CHEMIE

12	Wasserstoff und die Chemie wichtiger Säuren und Basen	270
12.1	Wasserstoff	270
12.1.1	Allgemeines	270
12.1.2	Elementarer Wasserstoff	270
12.1.3	Wasserstoffverbindungen	272
12.1.4	Wasser	272
12.1.5	Wasserstoffperoxid	274

12.2	Ausgewählte anorganische Säuren	274
12.2.1	Sauerstoffsäuren	274
12.2.2	Halogenwasserstoffe	277
12.3	Ausgewählte anorganische Basen	279
12.3.1	Ammoniak	279
12.3.2	Oxide und Hydroxide	280
13	Hauptgruppenelemente	283
13.1	Elemente der 1. Gruppe (I. Hauptgruppe)	283
13.1.1	Allgemeines	283
13.1.2	Lithium und Lithiumverbindungen	285
13.1.3	Natrium und Natriumverbindungen	286
13.1.4	Kalium und Kaliumverbindungen	290
13.1.5	Rubidium, Cäsium, Francium und ihre Verbindungen	292
13.2	Elemente der 2. Gruppe (II. Hauptgruppe)	293
13.2.1	Allgemeines	293
13.2.2	Beryllium und Berylliumverbindungen	295
13.2.3	Magnesium und Magnesiumverbindungen	296
13.2.4	Calcium und Calciumverbindungen	298
13.2.5	Strontium, Barium, Radium und ihre Verbindungen	302
13.3	Elemente der 13. Gruppe (III. Hauptgruppe)	303
13.3.1	Allgemeines	303
13.3.2	Bor und Borverbindungen	305
13.3.3	Aluminium und Aluminiumverbindungen	308
13.3.4	Gallium, Indium, Thallium und ihre Verbindungen	312
13.4	Elemente der 14. Gruppe (IV. Hauptgruppe)	313
13.4.1	Allgemeines	313
13.4.2	Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen	315
13.4.3	Silicium und Siliciumverbindungen	319
13.4.4	Germanium und Germaniumverbindungen	323
13.4.5	Zinn und Zinnverbindungen	324
13.4.6	Blei und Bleiverbindungen	325
13.5	Elemente der 15. Gruppe (V. Hauptgruppe)	327
13.5.1	Allgemeines	327
13.5.2	Stickstoff und Stickstoffverbindungen	329
13.5.3	Phosphor und Phosphorverbindungen	332
13.5.4	Arsen, Antimon, Bismut und ihre Verbindungen	335
13.6	Elemente der 16. Gruppe (VI. Hauptgruppe)	338
13.6.1	Allgemeines	338

13.6.2	Sauerstoff und Sauerstoffverbindungen	339
13.6.3	Schwefel und Schwefelverbindungen	341
13.6.4	Selen, Tellur, Polonium und ihre Verbindungen	345
13.7	Elemente der 17. Gruppe (VII. Hauptgruppe)	347
13.7.1	Allgemeines	347
13.7.2	Fluor und Fluorverbindungen	348
13.7.3	Chlor und Chlorverbindungen	350
13.7.4	Brom, Iod, Astat und ihre Verbindungen	352
13.8	Elemente der 18. Gruppe (VIII. Hauptgruppe)	354
14	Nebengruppenelemente	357
14.1	Allgemeines	357
14.2	Elemente der 3. Gruppe (III. Nebengruppe)	358
14.3	Elemente der 4. Gruppe (IV. Nebengruppe)	360
14.3.1	Allgemeines	360
14.3.2	Titan und Titanverbindungen	361
14.3.3	Zirkonium, Hafnium, Dubnium und ihre Verbindungen	363
14.4	Elemente der 5. Gruppe (V. Nebengruppe)	365
14.5	Elemente der 6. Gruppe (VI. Nebengruppe)	368
14.5.1	Allgemeines	368
14.5.2	Chrom und Chromverbindungen	369
14.5.3	Molybdän, Wolfram, Rutherfordium und ihre Verbindungen	371
14.6	Elemente der 7. Gruppe (VII. Nebengruppe)	373
14.6.1	Allgemeines	373
14.6.2	Mangan und Manganverbindungen	374
14.6.3	Technetium, Rhenium, Bohrium und ihre Verbindungen	376
14.7	Elemente der 8. Gruppe (Eisengruppe)	377
14.7.1	Allgemeines	377
14.7.2	Eisen und Eisenverbindungen	379
14.7.3	Ruthenium, Osmium, Hahnium und ihre Verbindungen	383
14.8	Elemente der 9. Gruppe (Cobaltgruppe)	385
14.8.1	Allgemeines	385
14.8.2	Cobalt und Cobaltverbindungen	386
14.8.3	Rhodium, Iridium, Meitnerium und ihre Verbindungen	387
14.9	Elemente der 10. Gruppe (Nickelgruppe)	389
14.9.1	Allgemeines	389
14.9.2	Nickel und Nickelverbindungen	390

14.9.3	Palladium, Platin und ihre Verbindungen	391
14.10	Elemente der 11. Gruppe (I. Nebengruppe)	393
14.10.1	Allgemeines	393
14.10.2	Kupfer und Kupferverbindungen	394
14.10.3	Silber, Gold und ihre Verbindungen	396
14.11	Elemente der 12. Gruppe (II. Nebengruppe)	399
14.11.1	Allgemeines	399
14.11.2	Zink und Zinkverbindungen	401
14.11.3	Cadmium, Quecksilber und ihre Verbindungen	403
15	Lanthanoide und Actinoide	406
15.1	Lanthanoide	406
15.2	Actinoide	408
16	Metallcarbonyle und Organometallverbindungen	411
16.1	Metallcarbonyle	411
16.2	Organometallverbindungen	414

ORGANISCHE CHEMIE

17	Aufbau und Reaktionstypen organischer Verbindungen	417
17.1	Bindungsverhältnisse in Kohlenwasserstoffen	417
17.2	Reaktionsprinzipien und reaktive Teilchen	421
17.2.1	Bindungslösung und Bindungsneuknüpfung	421
17.2.2	Reaktionstypen	423
17.2.3	Molekularität der Reaktionen	427
17.3	Nomenklatur organischer Verbindungen	429
17.3.1	Trivialnamen	429
17.3.2	Systematische Nomenklatur	430
18	Alkane und Cycloalkane	434
18.1	Konstitution der Alkane	434
18.2	Nomenklatur und IUPAC-Regeln für Alkane	435
18.3	Physikalische Eigenschaften der Alkane	436
18.4	Konformation der Alkane	438
18.5	Cycloalkane - Nomenklatur und Konformation	440
18.6	Reaktionen der Alkane	442

18.6.1	Oxidation und Verbrennung	442
18.6.2	Umsetzung mit Halogenen	443
19	Alkene und Alkine	446
19.1	Definition und Klassifizierung	446
19.2	Nomenklatur	447
19.3	cis-trans-Isomerie bei Alkenen	448
19.4	Mechanismus der elektrophilen Addition	449
19.5	Reaktionen der Alkene	450
19.6	Regel von MARKOWNIKOW	452
19.7	1,4-Addition an konjugierte Diene	454
19.8	Alkine	456
19.8.1	Struktur und Eigenschaften	456
19.8.2	Additionsreaktionen der Alkine	456
20	Aromatische Verbindungen	459
20.1	Allgemeines	459
20.2	Nomenklatur aromatischer Verbindungen	462
20.3	Elektrophile aromatische Substitution	464
20.4	Dirigierende Wirkung von Substituenten bei der Zweitsubstitution	467
21	Heterocyclen	471
21.1	Struktur und Nomenklatur	471
21.2	Heterocycloaliphaten	472
21.3	Heteroaromaten	472
21.3.1	Fünfgliedrige Ringsysteme	472
21.3.2	Sechsgliedrige Ringsysteme	474
22	Stereoisomere und optische Aktivität	476
22.1	Allgemeines	476
22.2	Optische Aktivität und linear polarisiertes Licht	476
22.3	Chiralität und Molekülsymmetrie	479
22.4	Einteilung der Isomere	482
22.5	Nomenklatur der Stereoisomere	483
22.6	Moleküle mit mehreren Chiralitätszentren	486
23	Amine	489
23.1	Klassifizierung und Nomenklatur	489
23.2	Eigenschaften der Amine	490
23.3	Herstellung von Aminen	492
23.4	Reaktionen von Aminen	494

23.4.1	Elektrophile Reaktion	494
23.4.2	Umsetzung mit salpetriger Säure	494
23.4.3	Aromatische Diazoniumverbindungen	496
23.5	Herstellung von Azofarbstoffen	497
24	Alkohole und Phenole	499
24.1	Klassifizierung und Nomenklatur	499
24.2	Eigenschaften von Alkoholen und Phenolen	501
24.3	Herstellung von Alkoholen und Phenolen	504
24.4	Reaktionen von Alkoholen	507
24.4.1	Dehydratisierung	507
24.4.2	Umsetzungen mit Halogenwasserstoffen	508
24.4.3	Anorganische Ester	509
24.4.4	Redoxreaktionen	511
24.5	Reaktionen von Phenolen	512
24.5.1	Oxidation	512
24.5.2	Aromatische Substitution	513
25	Ether und Epoxide	515
25.1	Klassifizierung und Nomenklatur	515
25.2	Physikalische Eigenschaften	516
25.3	Herstellung von Ethern und Epoxiden	516
25.4	Reaktionen von Ethern und Epoxiden	517
26	Aldehyde und Ketone	520
26.1	Einleitung	520
26.2	Nomenklatur	520
26.3	Nucleophile Addition an Carbonylverbindungen	521
26.4	Umsetzungen von Aldehyden und Ketonen	524
26.4.1	Bildung von Acetalen und Ketalen	524
26.4.2	Addition von Wasser	525
26.4.3	Addition von Blausäure	526
26.4.4	Addition von N-Nucleophilen	526
26.4.5	Oxidations- und Reduktionsreaktionen	528
26.5	Keto-Enol-Tautomerie	531
26.6	Aldol-Reaktionen	531
27	Carbonsäuren und ihre Derivate	534
27.1	Einleitung	534
27.2	Nomenklatur	534
27.3	Physikalische Eigenschaften	536
27.4	Carbonylaktivität	537

27.5	Herstellung und Umsetzungen	538
27.5.1	Carbonsäuren	538
27.5.2	Carbonsäurehalogenide	540
27.5.3	Carbonsäureanhydride	541
27.5.4	Carbonsäureester	542
27.5.5	Carbonsäureamide	544
28	Bifunktionelle Säuren, Fette und Tenside	545
28.1	Dicarbonsäuren	545
28.2	Hydroxycarbonsäuren	547
28.3	Ketocarbonsäuren	549
28.4	Fette, Öle und Lipide	550
28.5	Tenside	552
29	Kohlenhydrate	555
29.1	Einleitung	555
29.2	Monosaccharide	556
29.2.1	Konfiguration und Klassifizierung	556
29.2.2	Cyclische Strukturen	557
29.2.3	Reaktionen der Monosaccharide	559
29.3	Disaccharide	561
29.4	Polysaccharide	563
30	Aminosäuren, Peptide und Proteine	566
30.1	Einleitung	566
30.2	Proteinogene Aminosäuren	566
30.2.1	Struktur und Klassifizierung	566
30.2.2	Säure-Base-Eigenschaften	569
30.2.3	Charakteristische Reaktionen	571
30.3	Peptide und Proteine	573
30.3.1	Definition, Einteilung und Nomenklatur	573
30.3.2	Primärstruktur von Proteinen	575
30.3.3	Raumstruktur von Proteinen	576

CHEMISCHE TECHNOLOGIE

31	Rohstoffe der anorganischen und organischen Chemie	579
31.1	Allgemeines zur Energie- und Rohstoffsituation	579
31.2	Biogene Rohstoffe	580

	31.2.1 Erdöl und Erdgas	581
	31.2.2 Kohle	581
	31.2.3 Biomasse	583
31.3	Anorganische Rohstoffe	586
	31.3.1 Luft	586
	31.3.2 Wasser	587
	31.3.3 Rohstoffe der Erdkruste	589
31.4	Industrielle Basisprodukte	591
	31.4.1 Anorganika	591
	31.4.2 Synthesegaschemie	599
	31.4.3 Produkte der Erdölraffinerie	605
	31.4.4 Paraffine und Folgeprodukte	606
	31.4.5 Olefine	607
	31.4.6 Acetylen	610
	31.4.7 Aromaten	611
32 Ausgewählte Verfahren		
	der industriellen Chemie	615
32.1	Einleitung und Übersicht	615
32.2	Chemische Umsetzungen in Verbrennungsöfen	616
	32.2.1 Formaldehydherstellung (Oxidehydrierung von Methanol)	616
	32.2.2 Salpetersäureherstellung (OSTWALD-Verfahren) ..	618
32.3	Chemische Umsetzungen in Röhrenöfen	623
	32.3.1 Synthesegasherstellung (aus Erdöl oder Erdgas)	623
	32.3.2 Ethylenherstellung (Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen)	625
32.4	Chemische Umsetzungen in Etagenöfen	629
	32.4.1 Schwefelsäureherstellung	629
	32.4.2 Methanolherstellung aus Synthesegas	633
	32.4.3 Kohlenstoffmonoxid-Konvertierung in Synthesegas	635
32.5	Chemische Umsetzungen in Rohrbündelreaktoren	636
	32.5.1 MSA-Herstellung über Buten- bzw. Butan-Oxidation	637
	32.5.2 Ethylenoxidherstellung (Oxidation von Ethylen)	638
	32.5.3 Acroleinherstellung	641
32.6	Chemische Umsetzungen in Vollraumreaktoren	643
	32.6.1 Leichtbenzinherstellung (Reforming)	643
	32.6.2 Entschwefelung von Erdölfractionen (Hydrotreating)	647

32.7	Chemische Umsetzungen in Rührkesselreaktoren	649
32.7.1	Allgemeines	649
32.7.2	Polyethylenherstellung (LD-Polyethylen)	650
32.8	Chemische Umsetzungen in Fermentern (Bioreaktoren)	652
32.8.1	Reaktortypen	652
32.8.2	Herstellung von Citronensäure	654
32.9	Chemische Umsetzungen in elektrochemischen Reaktoren	655
32.9.1	Allgemeines	655
32.9.2	Herstellung von Natronlauge (und Chlor)	657
33	Technologisch wichtige Kunststoffe	663
33.1	Einteilung und Struktur der Kunststoffe	663
33.1.1	Thermoplaste	663
33.1.2	Elastomere	664
33.1.3	Duromere	664
33.2	Polymerisation	665
33.2.1	Radikalkettenpolymerisation	666
33.2.2	Ionenkettenpolymerisation	668
33.2.3	Polymerisationsmethoden	672
33.3	Polymerisate	674
33.3.1	Polyolefine	674
33.3.2	Halogenhaltige Polymerisate	678
33.3.3	Acrylpolymerisate	682
33.4	Polykondensation	684
33.4.1	Polyester	685
33.4.2	Polyamide, PA	689
33.4.3	Polykondensationsharze mit Formaldehyd	692
33.5	Polyaddition	698
33.5.1	Epoxidharzkunststoffe, EP	698
33.5.2	Polyurethane, PUR	702
33.6	Elastomere	707
33.6.1	Natürliche Polyisoprene	708
33.6.2	Synthetische Polydiene	709
33.6.3	Polymerisation der Diene	709
33.6.4	Vulkanisation	712
33.7	Kunststoffe aus Cellulose	713
33.7.1	Veresterung der Cellulose	713
33.7.2	Celluloseether	716
33.8	Temperaturbeständige Polymere	718
33.8.1	Fluorpolymere	719
33.8.2	Polyaryle	719

33.8.3	Heterocyclische Polymere und Leiterpolymere	721
33.8.4	Kohlenstoffpolymere	722
33.9	Silicone	723
33.9.1	Herstellung der Ausgangsmaterialien	723
33.9.2	Herstellung höhermolekularer Silicone	724
33.9.3	Technische Siliconprodukte	726
34	Produktionsintegrierter Umweltschutz	729
34.1	Umweltschutz in der chemischen Industrie	729
34.2	Charakterisierung emissionsarmer Produktionsverfahren	732
34.3	Emissionsminderung durch Umstellung chemischer Prozesse	738
34.3.1	Verbesserte Prozeßkontrolle und -steuerung	738
34.3.2	Einsatz neuer Reaktortypen und Verfahrenstechniken	740
34.3.3	Einsatz von Katalysatoren	744
34.3.4	Optimierung der Prozeßführung und Produktaufarbeitung	746
34.3.5	Neue Synthesewege	748
34.4	Verwertung von Prozeßrückständen	751
34.4.1	Rückführung von nicht umgesetzten Rohstoffen in den Prozeß	751
34.4.2	Stoffliche Verwertung von Prozeßrückständen ..	754
34.4.3	Thermische Verwertung von Prozeßrückständen	756
34.5	Verringerung des Energie- und Wasserverbrauchs	759
34.5.1	Wassereinsparung und Aufbau von Kreisläufen für Wasser	759
34.5.2	Energierückgewinnung durch Wärmeverbund- systeme und wärmetechnische Optimierung	761
Anhang	766
Tabelle A-1:	Ausgewählte Eigenschaften der chemischen Elemente	766
Tabelle A-2:	Elektronenkonfigurationen der Elemente	773
Sachwortverzeichnis	778