

Inhaltsverzeichnis

Die Zielsetzung dieses Lehrbuchs XVII

Über die Autoren XXI

Danksagung XXIII

1	Die kovalente Bindung und die Struktur von Molekülen	1
1.1	Wie kann man die elektronische Struktur von Atomen beschreiben?	2
1.1.1	Die Elektronenkonfiguration von Atomen	3
1.1.2	Lewis-Formeln	3
1.2	Was ist das Lewis-Bindungskonzept?	5
1.2.1	Bildung von Ionen	5
1.2.2	Die Bildung chemischer Bindungen	6
1.2.3	Elektronegativität und chemische Bindung	7
1.2.4	Formalladungen	12
1.3	Wie kann man Bindungswinkel und Molekülstrukturen vorhersagen?	16
1.4	Wie kann man vorhersagen, ob eine Verbindung polar oder unpolar ist?	20
1.5	Was ist Mesomerie?	22
1.5.1	Mesomerie	22
1.5.2	Elektronenflusspfeile und Elektronenfluss	24
1.5.3	Regeln für das Zeichnen korrekter Grenzformeln	24
1.6	Was ist das Orbitalmodell der Entstehung kovalenter Bindungen?	25
1.6.1	Die Gestalt von Atomorbitalen	25
1.6.2	Bildung von kovalenten Bindungen durch Überlappung von Atomorbitalen	26
1.6.3	Hybridisierung von Atomorbitalen	26
1.6.4	sp^3 -Hybridorbitale: Bindungswinkel etwa 109.5°	27
1.6.5	sp^2 -Hybridorbitale: Bindungswinkel etwa 120°	27
1.6.6	sp -Hybridorbitale: Bindungswinkel von etwa 180°	29
1.7	Was sind funktionelle Gruppen?	31
1.7.1	Alkohole	32
1.7.2	Amine	34
1.7.3	Aldehyde und Ketone	34
1.7.4	Carbonsäuren, Carbonsäureester und Carbonsäureamide	35
2	Säuren und Basen	45
2.1	Was sind Arrhenius-Säuren und -Basen?	46
2.2	Was sind Brønsted-Lowry-Säuren und -Basen?	46
2.3	Wie bestimmt man die Stärke von Säuren und Basen?	50
2.4	Wie bestimmt man die Gleichgewichtslage in einer Säure-Base-Reaktion?	51
2.5	Wie hängen Säurestärke und Molekülstruktur zusammen?	54
2.5.1	Elektronegativität: Entwicklung der Acidität von HA innerhalb einer Periode des Periodensystems	54
2.5.2	Mesomere Effekte: Delokalisierung der Ladung in A^-	55

2.5.3	Der induktive Effekt: Schwächung der HA-Bindung durch Verschiebung von Elektronendichte	56
2.5.4	Die Größe der korrespondierenden Base und die Delokalisierung der Ladung in A^-	56
2.6	Was sind Lewis-Säuren und -Basen?	59
3	Alkane und Cycloalkane	69
3.1	Was sind Alkane?	70
3.2	Was sind Konstitutionsisomere?	71
3.3	Wie benennt man Alkane?	74
3.3.1	Das IUPAC-Nomenklaturesystem zur Benennung organischer Verbindungen	74
3.3.2	Trivialnamen	77
3.3.3	Die Klassifikation von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen	78
3.4	Was sind Cycloalkane?	79
3.5	Wie wendet man die IUPAC-Regeln auf Verbindungen mit funktionellen Gruppen an?	80
3.6	Was sind Konformationen in Alkanen und Cycloalkanen?	82
3.6.1	Alkane	82
3.6.2	Cycloalkane	85
3.7	Was sind <i>cis/trans</i> -Isomere in Cycloalkanen?	90
3.8	Welche physikalischen Eigenschaften haben Alkane und Cycloalkane?	94
3.8.1	Siedepunkte	94
3.8.2	Dispersionskräfte und die Wechselwirkung zwischen Alkanmolekülen	95
3.8.3	Schmelzpunkte und Dichte	96
3.8.4	Konstitutionsisomere haben unterschiedliche physikalische Eigenschaften	96
3.9	Was sind die charakteristischen Reaktionen von Alkanen?	97
3.10	Woher bekommt man Alkane?	98
3.10.1	Erdgas	98
3.10.2	Erdöl	98
3.10.3	Kohle	100
4	Alkene und Alkine	111
4.1	Welche Struktur haben Alkene und Alkine?	113
4.1.1	Struktur von Alkenen	113
4.1.2	Orbitalmodell für Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen	113
4.1.3	<i>cis/trans</i> -Isomerie in Alkenen	114
4.1.4	Struktur von Alkinen	115
4.2	Wie benennt man Alkene und Alkine?	115
4.2.1	IUPAC-Namen	115
4.2.2	Trivialnamen	117
4.2.3	Deskriptoren zur Bezeichnung der Konfiguration in Alkenen	117
4.2.4	Benennung von Cycloalkenen	121
4.2.5	<i>cis/trans</i> -Isomerie in Cycloalkenen	122
4.2.6	Diene, Triene und Polyene	122
4.2.7	<i>cis/trans</i> -Isomerie in Dienen, Trienen und Polyenen	122
4.3	Welche physikalischen Eigenschaften haben Alkene und Alkine?	124
4.4	Warum sind 1-Alkine (terminale Alkine) schwache Säuren?	125
5	Reaktionen von Alkenen und Alkinen	133
5.1	Was sind die charakteristischen Reaktionen von Alkenen?	134

5.2	Was ist ein Reaktionsmechanismus?	135
5.2.1	Energiediagramme und Übergangszustände	135
5.2.2	Entwickeln von Reaktionsmechanismen	138
5.2.3	Wiederkehrende Muster in Reaktionsmechanismen	139
5.3	Nach welchen Mechanismen verläuft die elektrophile Addition an Alkene?	141
5.3.1	Addition von Halogenwasserstoffen	142
5.3.2	Addition von Wasser: Säurekatalysierte Hydratisierung	148
5.3.3	Addition von Brom und Chlor	150
5.4	Was sind Carbokation-Umlagerungen?	152
5.5	Wie verläuft die Hydroborierung/Oxidation von Alkenen?	155
5.6	Wie kann man Alkene zu Alkanen reduzieren?	158
5.7	Wie kann man Acetylid-Anionen nutzen, um neue Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen zu knüpfen?	160
5.8	Wie kann man Alkine zu Alkenen und Alkanen reduzieren?	162
6	Chiralität: Die Händigkeit von Molekülen	171
6.1	Was sind Stereoisomere?	172
6.2	Was sind Enantiomere?	172
6.3	Wie bestimmt man die Konfiguration eines Stereozentrums?	177
6.4	Was besagt die 2 ⁿ -Regel?	179
6.4.1	Enantiomere und Diastereomere	180
6.4.2	<i>meso</i> -Verbindungen	182
6.5	Wie beschreibt man die Chiralität von cyclischen Verbindungen mit zwei Stereozentren?	183
6.5.1	Disubstituierte Derivate von Cyclopentan	183
6.5.2	Disubstituierte Derivate von Cyclohexan	184
6.6	Wie beschreibt man die Chiralität von Verbindungen mit drei oder mehr Stereozentren?	185
6.7	Welche Eigenschaften haben Stereoisomere?	186
6.8	Wie kann man Chiralität im Labor nachweisen?	186
6.8.1	Linear polarisiertes Licht	187
6.8.2	Polarimeter	187
6.8.3	Racemate	189
6.9	Welche Bedeutung hat Chiralität in der biologischen Welt?	189
6.9.1	Chiralität in Biomolekülen	189
6.9.2	Wie unterscheidet ein Enzym zwischen einem Molekül und seinem Enantiomer?	189
6.10	Wie kann man Enantiomere trennen?	190
7	Halogenalkane	199
7.1	Wie werden Halogenalkane benannt?	200
7.1.1	IUPAC-Namen	200
7.1.2	Trivialnamen	200
7.2	Was sind die charakteristischen Reaktionen der Halogenalkane?	202
7.3	Welche Produkte entstehen in einer nukleophilen aliphatischen Substitution?	204
7.4	Was sind die S _N 2- und S _N 1-Mechanismen von nukleophilen Substitutionen?	206
7.4.1	Mechanismus der S _N 2-Reaktion	206
7.4.2	Mechanismus der S _N 1-Reaktion	208
7.5	Was entscheidet, ob ein S _N 1- oder ein S _N 2-Mechanismus abläuft?	210

7.5.1	Das Nukleophil	210
7.5.2	Die Struktur des Halogenalkans	211
7.5.3	Die Austrittsgruppe	212
7.5.4	Das Lösungsmittel	214
7.6	Wie kann man aus den experimentellen Bedingungen ableiten, ob eine S_N1 - oder S_N2 -Reaktion abläuft?	216
7.7	Welche Produkte entstehen bei einer β -Eliminierung?	219
7.8	Was unterscheidet die Mechanismen E1 und E2 der β -Eliminierung?	221
7.8.1	Der E1-Mechanismus	221
7.8.2	Der E2-Mechanismus	222
7.9	Wann konkurrieren nukleophile Substitutionen und β -Eliminierungen?	224
7.9.1	S_N1 - und E1-Reaktionen	225
7.9.2	S_N2 - und E2-Reaktionen	225

8 Alkohole, Ether und Thiole 237

8.1	Was sind Alkohole?	238
8.1.1	Struktur	238
8.1.2	Nomenklatur	238
8.1.3	Physikalische Eigenschaften	242
8.2	Was sind die charakteristischen Reaktionen der Alkohole?	244
8.2.1	Die Acidität von Alkoholen	244
8.2.2	Die Basizität von Alkoholen	245
8.2.3	Reaktion mit aktiven Metallen	245
8.2.4	Umwandlung in Halogenalkane	246
8.2.5	Säurekatalysierte Dehydratisierung	249
8.2.6	Die Oxidation von primären und sekundären Alkoholen	254
8.3	Was sind Ether?	256
8.3.1	Struktur	256
8.3.2	Nomenklatur	257
8.3.3	Physikalische Eigenschaften	258
8.3.4	Reaktionen von Ethern	260
8.4	Was sind Epoxide?	260
8.4.1	Struktur und Nomenklatur	260
8.4.2	Synthese ausgehend von Alkenen	260
8.4.3	Ringöffnung von Epoxiden	262
8.5	Was sind Thiole?	265
8.5.1	Struktur	265
8.5.2	Nomenklatur	266
8.5.3	Physikalische Eigenschaften	267
8.6	Was sind die charakteristischen Reaktionen der Thiole?	268
8.6.1	Acidität	268
8.6.2	Oxidation zu Disulfiden	268

9 Benzol und seine Derivate 279

9.1	Welche Struktur hat Benzol?	280
9.1.1	Kekulé's Strukturvorschlag für Benzol	280
9.1.2	Das Orbitalmodell des Benzolmoleküls	281
9.1.3	Das Resonanzmodell des Benzolmoleküls	282
9.1.4	Die Resonanzenergie von Benzol	282
9.2	Was ist Aromatizität?	284

9.3	Wie benennt man Benzolderivate und welche physikalischen Eigenschaften haben sie?	287
9.3.1	Monosubstituierte Benzole	287
9.3.2	Disubstituierte Benzole	288
9.3.3	Polysubstituierte Benzole	289
9.4	Was ist eine benzyllische Position und welchen Anteil hat sie an der Reaktivität von Aromaten?	290
9.5	Was ist die elektrophile aromatische Substitution?	292
9.6	Wie läuft eine elektrophile aromatische Substitution mechanistisch ab?	293
9.6.1	Chlorierung und Bromierung	294
9.6.2	Nitrierung und Sulfonierung	295
9.6.3	Friedel-Crafts-Alkylierung	297
9.6.4	Friedel-Crafts-Acylierung	299
9.6.5	Andere elektrophile aromatische Alkylierungen	301
9.6.6	Vergleich der Addition an Alkene und der elektrophilen aromatischen Substitution (S_EAr)	302
9.7	Welchen Einfluss haben Substituenten am Benzol auf die elektrophile aromatische Substitution?	303
9.7.1	Der Einfluss eines Substituenten auf die Zweitsubstitution	303
9.7.2	Dirigierende Effekte in der Zweitsubstitution	307
9.7.3	Aktivierende und deaktivierende Effekte in der Zweitsubstitution	310
9.8	Was sind Phenole?	311
9.8.1	Struktur und Nomenklatur	311
9.8.2	Die Acidität von Phenolen	312
9.8.3	Säure-Base-Reaktionen von Phenolen	314
9.8.4	Phenole als Antioxidantien	316
10	Amine	329
10.1	Was sind Amine?	329
10.2	Wie benennt man Amine?	332
10.2.1	Systematische Namen	332
10.2.2	Trivialnamen	335
10.3	Welche charakteristischen physikalischen Eigenschaften haben Amine?	335
10.4	Welche Säure-Base-Eigenschaften haben Amine?	337
10.5	Wie reagieren Amine mit Säuren?	342
10.6	Wie synthetisiert man Arylamine?	344
10.7	Wie können Amine als Nukleophile reagieren?	345
11	Spektroskopie	353
11.1	Was ist elektromagnetische Strahlung?	354
11.2	Was ist Molekülspektroskopie?	355
11.3	Was ist Infrarotspektroskopie?	356
11.3.1	Das Infrarot-Schwingungsspektrum	356
11.3.2	Molekülschwingungen	357
11.3.3	Charakteristische Infrarotabsorptionen	358
11.4	Wie wertet man Infrarotspektren aus?	359
11.4.1	Alkane, Alkene und Alkine	360
11.4.2	Alkohole	361
11.4.3	Ether	362
11.4.4	Amine	363

15.3.1	Claisen-Kondensation	519
15.3.2	Dieckmann-Kondensation	522
15.3.3	Gekreuzte Claisen-Kondensation	523
15.3.4	Hydrolyse und Decarboxylierung von β -Ketoestern	524
15.4	Welche Rolle spielen Aldolreaktionen und Claisen-Kondensationen in biologischen Prozessen?	527
15.5	Was ist eine Michael-Reaktion?	528
15.5.1	Michael-Addition von Enolat-Anionen	530
15.5.2	Michael-Addition von Aminen	533
16	Organische Polymerchemie	543
16.1	Wie sind Polymere aufgebaut?	544
16.2	Wie werden Polymere benannt und wie kann man ihre Struktur darstellen?	545
16.3	Welche Morphologie können Polymere haben und wie unterscheiden sich kristalline und amorphe Materialien?	546
16.4	Was ist eine Stufenwachstumspolymerisation?	547
16.4.1	Polyamide	548
16.4.2	Polyester	549
16.4.3	Polycarbonate	550
16.4.4	Polyurethane	550
16.4.5	Epoxidharze	551
16.5	Was ist eine Kettenpolymerisation?	552
16.5.1	Radikalkettenpolymerisation	554
16.5.2	Ziegler-Natta-Kettenpolymerisation	557
16.6	Welche Kunststoffe werden derzeit in großen Mengen wiederverwertet?	559
17	Kohlenhydrate	565
17.1	Was sind Kohlenhydrate?	565
17.2	Was sind Monosaccharide?	566
17.2.1	Struktur und Nomenklatur	566
17.2.2	Stereochemie	566
17.2.3	Die Fischer-Projektion	567
17.2.4	D- und L-Monosaccharide	567
17.2.5	Aminozucker	569
17.2.6	Physikalische Eigenschaften	570
17.3	Wie bilden Monosaccharide cyclische Strukturen?	570
17.3.1	Haworth-Projektionen	570
17.3.2	Sesseldarstellungen	572
17.3.3	Mutarotation	575
17.4	Was sind die charakteristischen Reaktionen der Monosaccharide?	575
17.4.1	Bildung von Glycosiden (Acetalen)	575
17.4.2	Reduktion zu Alditolen	577
17.4.3	Oxidation zu Aldonsäuren	578
17.4.4	Oxidation zu Uronsäuren	579
17.5	Was sind Disaccharide und Oligosaccharide?	580
17.5.1	Saccharose	580
17.5.2	Lactose	580
17.5.3	Maltose	581
17.6	Was sind Polysaccharide?	583
17.6.1	Stärke: Amylose und Amylopektin	583

- 17.6.2 Glykogen 584
- 17.6.3 Cellulose 584
- 17.6.4 Textilfasern aus Cellulose 585

18 Aminosäuren, Peptide und Proteine 593

- 18.1 Welche Funktionen haben Proteine? 594
- 18.2 Was sind Aminosäuren? 594
 - 18.2.1 Struktur 594
 - 18.2.2 Chiralität 595
 - 18.2.3 Proteinogene Aminosäuren 595
 - 18.2.4 Weitere wichtige L-Aminosäuren 597
- 18.3 Welche Säure-Base-Eigenschaften haben Aminosäuren? 598
 - 18.3.1 Saure und basische Gruppen in Aminosäuren 598
 - 18.3.2 Titration von Aminosäuren 600
 - 18.3.3 Der isoelektrische Punkt 601
 - 18.3.4 Elektrophorese 602
- 18.4 Was sind Peptide und Proteine? 605
- 18.5 Was ist die Primärstruktur eines Peptids oder Proteins? 606
 - 18.5.1 Aminosäureanalyse 606
 - 18.5.2 Sequenzanalyse 607
- 18.6 Welche dreidimensionale Struktur hat ein Peptid oder Protein? 610
 - 18.6.1 Geometrie einer Peptidbindung 610
 - 18.6.2 Sekundärstruktur 611
 - 18.6.3 Tertiärstruktur 613
 - 18.6.4 Quartärstruktur 615

19 Lipide 625

- 19.1 Was sind Triglyceride? 626
 - 19.1.1 Fettsäuren 626
 - 19.1.2 Physikalische Eigenschaften 628
 - 19.1.3 Reduktion von Fettsäureketten 629
- 19.2 Was sind Seifen und Detergenzien? 629
 - 19.2.1 Struktur und Herstellung von Seifen 629
 - 19.2.2 Die Reinigungswirkung von Seifen 630
 - 19.2.3 Synthetische Detergenzien 631
- 19.3 Was sind Phospholipide? 632
 - 19.3.1 Struktur 632
 - 19.3.2 Lipiddoppelschicht 632
- 19.4 Was sind Steroide? 635
 - 19.4.1 Struktur der wichtigsten Steroidtypen 635
 - 19.4.2 Die Biosynthese von Cholesterin 639
- 19.5 Was sind Prostaglandine? 639
- 19.6 Was sind fettlösliche Vitamine? 643
 - 19.6.1 Vitamin A 643
 - 19.6.2 Vitamin D 644
 - 19.6.3 Vitamin E 644
 - 19.6.4 Vitamin K 645

20 Nukleinsäuren 651

- 20.1 Was sind Nukleoside und Nukleotide? 652
- 20.2 Welche Struktur hat die DNA? 655
 - 20.2.1 Primärstruktur: Das kovalente Rückgrat 655

20.2.2	Sekundärstruktur: Die Doppelhelix	657
20.2.3	Tertiärstruktur: Supercoiled DNA	660
20.3	Was sind Ribonukleinsäuren (RNA)?	662
20.3.1	Ribosomale RNA	662
20.3.2	Transfer-RNA	663
20.3.3	Boten-RNA	663
20.4	Was ist der genetische Code?	664
20.4.1	Codierung in Triplets	664
20.4.2	Entschlüsseln des genetischen Codes	664
20.4.3	Merkmale des genetischen Codes	665
20.5	Wie kann man DNA sequenzieren?	666
20.5.1	Restriktionsendonukleasen	667
20.5.2	Methoden für die Sequenzierung von Nukleinsäuren	668
20.5.3	DNA-Replikation <i>in vitro</i>	668
20.5.4	Die Kettenabbruch- oder Didesoxymethode	669
20.5.5	Die Sequenzierung des menschlichen Genoms	670
21	Die organische Chemie der Stoffwechselprozesse	677
21.1	Was sind die Schlüsselintermediate in der Glykolyse, der β -Oxidation von Fettsäuren und im Zitronensäurezyklus?	678
21.1.1	ATP, ADP und AMP: Reagenzien zur Speicherung und Übertragung von Phosphatgruppen	678
21.1.2	NAD^+/NADH : Hydridübertragungsreagenzien in biologischen Redoxreaktionen	679
21.1.3	FAD/FADH_2 : Elektronentransfer-Reagenzien in biologischen Redoxreaktionen	680
21.1.4	Coenzym A: Ein Acylgruppenüberträger	682
21.2	Was ist die Glykolyse?	683
21.3	Welche Reaktionen laufen in der Glykolyse ab?	683
21.4	Welche Folgereaktionen kann Pyruvat eingehen?	688
21.4.1	Reduktion zu Lactat: Milchsäuregärung	689
21.4.2	Reduktion zu Ethanol: Alkoholische Gärung	689
21.4.3	Oxidation und Decarboxylierung zu Acetyl-CoA	690
21.5	Welche Reaktionen laufen bei der β -Oxidation von Fettsäuren ab?	690
21.5.1	Aktivierung der Fettsäuren: Bildung eines Thioesters mit Coenzym A	691
21.5.2	Die vier Reaktionen der β -Oxidation	692
21.5.3	Die Wiederholung der β -Oxidation in der Fettsäurespirale liefert weitere Acetateinheiten	694
21.6	Welche Reaktionen laufen im Zitronensäurezyklus ab?	694
21.6.1	Überblick über den Zyklus	694
21.6.2	Die Reaktionen des Zitronensäurezyklus	694

Glossar 703

Anhang 1 717

Anhang 2 719

Stichwortverzeichnis 721