

# Chemie der Nichtmetalle

Von Struktur und Bindung zur Anwendung

Bearbeitet von  
Ralf Steudel

3. vollst. neu bearb. Aufl. 2008. Buch. XIV, 572 S. Hardcover  
ISBN 978 3 11 019448 7  
Format (B x L): 17 x 24 cm  
Gewicht: 1219 g

[Weitere Fachgebiete > Chemie, Biowissenschaften, Agrarwissenschaften > Analytische Chemie > Nichtmetallische Chemie](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text 'beck-shop.de' in a bold, red, sans-serif font. Above the 'i' in 'shop' are three red dots of varying sizes, arranged in a slight arc. Below the main text, the words 'DIE FACHBUCHHANDLUNG' are written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# Inhalt

## Teil I: Die chemische Bindung

1	Einführung . . . . .	3
2	Die chemische Bindung . . . . .	9
2.1	Die Ionenbindung . . . . .	10
2.1.1	Einführung . . . . .	10
2.1.2	Die Ionisierungsenergie . . . . .	10
2.1.3	Die Elektronenaffinität . . . . .	12
2.1.4	Ionengitter und Ionenradien . . . . .	14
2.1.5	Gitterenergie und Gitterenthalpie . . . . .	16
2.1.6	Bestimmung von Gitterenergie und Gitterenthalpie . . . . .	17
2.1.7	Bedeutung der Gitterenthalpie . . . . .	19
2.1.8	Polarisation von Anionen durch Kationen . . . . .	22
2.2	Moleküle und ihre Geometrie . . . . .	25
2.2.1	Strukturbestimmungsmethoden . . . . .	25
2.2.2	Die VSEPR-Methode zur Strukturermittlung . . . . .	26
2.3	Molekülsymmetrie und Punktgruppensymbole . . . . .	36
2.4	Die kovalente Bindung . . . . .	41
2.4.1	Das Molekül-Ion $[H_2]^+$ . . . . .	42
2.4.2	Das Molekül $H_2$ . . . . .	49
2.4.3	Homonukleare Moleküle mit $s$ - und $p$ -Orbitalen . . . . .	53
2.4.4	Photoelektronenspektroskopie kleiner Moleküle . . . . .	59
2.4.5	Heteronukleare zweiatomige Moleküle . . . . .	62
2.4.6	Dreiatomige Moleküle der Symmetrie $D_{\infty h}$ . . . . .	64
2.4.7	Dreiatomige Moleküle der Symmetrie $C_{2v}$ . . . . .	68
2.4.8	Vieratomige Moleküle der Symmetrie $D_{3h}$ . . . . .	70
2.4.9	Vieratomige Moleküle der Symmetrie $C_{3v}$ . . . . .	74
2.4.10	Fünfatomige Moleküle . . . . .	77
2.5	Die koordinative Bindung . . . . .	79
2.6	Hyperkoordinierte oder hypervalente Verbindungen . . . . .	83
2.7	Quantenchemische Berechnung von Struktur und Eigenschaften von Molekülen . . . . .	90
2.7.1	Physikalische Grundlagen: <i>ab initio</i> -Methoden . . . . .	91
2.7.2	Näherungen für die Wellenfunktion/Molekülorbitale . . . . .	91
2.7.3	<i>Ab initio</i> -Methoden: Näherungen für den HAMILTON-Operator . . . . .	95
2.7.4	<i>Ab initio</i> -Methoden: Das Basissatz- und Korrelations-Limit . . . . .	98
2.7.5	DFT-Methoden . . . . .	99
2.7.6	Ablauf einer quantenchemischen Geometrieoptimierung . . . . .	101
2.7.7	Qualität der Geometrieoptimierung am Beispiel von $P_4$ und $S_4N_4$ . . . . .	102
2.7.8	Berechnung physikalischer Messgrößen . . . . .	103

3	Die VAN DER WAALS-Wechselwirkung . . . . .	105
3.1	Der Dipoleffekt . . . . .	105
3.2	Der Induktionseffekt . . . . .	107
3.3	Der Dispersionseffekt . . . . .	108
3.4	VAN DER WAALS-Radien . . . . .	110
3.5	VAN DER WAALS-Moleküle . . . . .	112
4	Bindungseigenschaften . . . . .	113
4.1	Allgemeines . . . . .	113
4.2	Bindungsenthalpie und Dissoziationsenthalpie . . . . .	114
4.2.1	Zweiatomige Moleküle . . . . .	114
4.2.2	Mehratomige Moleküle . . . . .	117
4.2.3	Warum ist Sauerstoff gasförmig und Schwefel fest? . . . . .	121
4.3	Der Kernabstand . . . . .	123
4.4	Die Valenzkraftkonstante . . . . .	126
4.4.1	Zweiatomige Moleküle . . . . .	126
4.4.2	Zweiatomige Gruppen . . . . .	128
4.4.3	Dreiatomige Moleküle . . . . .	129
4.5	Zusammenhänge zwischen den Bindungseigenschaften . . . . .	131
4.6	Polarität kovalenter Bindungen und Elektronegativität . . . . .	133
4.6.1	Allgemeines . . . . .	133
4.6.2	Elektronegativitäten . . . . .	134
4.6.3	Das Bindungsmoment . . . . .	140
4.7	Elektronendichteverteilung in Molekülen und Kristallen . . . . .	144

## Teil II: Chemie der Nichtmetalle

5	Wasserstoff . . . . .	149
5.1	Elementarer Wasserstoff . . . . .	149
5.2	Wasserstoff-Ionen $H^+$ . . . . .	154
5.3	Säuren . . . . .	156
5.4	Basen . . . . .	160
5.5	Die relative Stärke von Säuren und Basen . . . . .	162
5.5.1	Verdünnte Lösungen . . . . .	162
5.5.2	Konzentrierte und wasserfreie Säuren . . . . .	165
5.6	Die Wasserstoffbrückenbindung . . . . .	167
5.6.1	Allgemeines . . . . .	167
5.6.2	Allgemeine Eigenschaften von Wasserstoffbrücken . . . . .	169
5.6.3	Experimenteller Nachweis von Wasserstoffbrücken . . . . .	170
5.6.4	Beispiele für Wasserstoffbrückenbindungen . . . . .	173
5.6.5	Theorie der Wasserstoffbrückenbindung . . . . .	181
5.7	Wasserstoffverbindungen (Hydride) . . . . .	185
5.7.1	Allgemeines . . . . .	185
5.7.2	Kovalente Hydride . . . . .	186
5.7.3	$H_2$ als Komplexligand . . . . .	186
5.7.4	Salzartige Hydride . . . . .	188
5.7.5	Metall- oder legierungsartige Hydride (Einlagerungshydride) . . . . .	191

6	Bor . . . . .	195
6.1	Allgemeines . . . . .	195
6.2	Bindungsverhältnisse . . . . .	196
6.3	Elementares Bor . . . . .	199
6.3.1	Herstellung . . . . .	200
6.3.2	Kristallstrukturen . . . . .	201
6.3.3	Bindungsverhältnisse . . . . .	202
6.4	Metallboride und Borcarbid . . . . .	204
6.4.1	Boride . . . . .	204
6.4.2	Borcarbid . . . . .	205
6.5	Borane und Hydroborate . . . . .	206
6.5.1	Allgemeines . . . . .	206
6.5.2	Diboran . . . . .	207
6.5.3	Höhere Borane . . . . .	209
6.5.4	Hydroborate . . . . .	211
6.6	Organoborane . . . . .	214
6.7	Carborane . . . . .	215
6.8	Halogenide des Bors . . . . .	217
6.8.1	Trihalogenide . . . . .	218
6.8.2	Subhalogenide . . . . .	219
6.9	Sauerstoffverbindungen des Bors . . . . .	221
6.9.1	Allgemeines . . . . .	221
6.9.2	Bortrioxid und Borsäuren . . . . .	221
6.9.3	Borate . . . . .	224
6.10	Bor-Stickstoff-Verbindungen . . . . .	226
6.10.1	Allgemeines . . . . .	226
6.10.2	Borazin . . . . .	227
6.10.3	Bornitrid . . . . .	229
6.10.4	Nitridoborate . . . . .	231
7	Kohlenstoff . . . . .	233
7.1	Allgemeines . . . . .	233
7.2	Bindungsverhältnisse . . . . .	234
7.3	Modifikationen des Kohlenstoffs . . . . .	238
7.3.1	Graphit . . . . .	239
7.3.2	Diamant . . . . .	241
7.3.3	Fullerene . . . . .	244
7.3.4	Kohlenstoff-Nanoröhren . . . . .	247
7.3.5	Oberflächenverbindungen . . . . .	248
7.4	Ruß, Kohle und Koks . . . . .	249
7.5	Graphitverbindungen . . . . .	251
7.5.1	Kovalente Graphitverbindungen . . . . .	251
7.5.2	Ionische Graphitverbindungen . . . . .	253
7.6	Halogenide des Kohlenstoffs . . . . .	255
7.7	Chalkogenide des Kohlenstoffs . . . . .	256
7.7.1	Oxide . . . . .	256
7.7.2	Sulfide, Selenide, Telluride . . . . .	259

7.7.3	Kohlensäuren und Carbonate . . . . .	261
7.8	Nitride des Kohlenstoffs . . . . .	264
7.8.1	Hydrogencyanid und Cyanide . . . . .	264
7.8.2	Binäre Kohlenstoff-Stickstoff-Verbindungen . . . . .	265
8	Silicium und Germanium . . . . .	267
8.1	Allgemeines . . . . .	267
8.2	Bindungsverhältnisse . . . . .	268
8.3	Die Elemente . . . . .	273
8.4	Silicide und Germanide . . . . .	276
8.5	Hydride von Silicium und Germanium . . . . .	278
8.5.1	Herstellung . . . . .	279
8.5.2	Reaktion der Silane . . . . .	280
8.6	Halogenide von Silicium und Germanium . . . . .	281
8.6.1	Fluoride . . . . .	281
8.6.2	Chloride . . . . .	282
8.6.3	Sonstige Si-Halogenide . . . . .	284
8.7	Oxide von Silicium und Germanium . . . . .	285
8.8	Oxosäuren, Silicate und Germanate . . . . .	287
8.8.1	Kieselsäuren und Siloxane . . . . .	287
8.8.2	Silicate . . . . .	289
8.8.3	Germanate . . . . .	294
8.9	Gläser . . . . .	294
8.10	Silicium-Stickstoff-Verbindungen . . . . .	298
8.11	Organosilicium-Verbindungen . . . . .	299
8.11.1	Organosilane . . . . .	299
8.11.2	Ungesättigte Organosilicium- und -germanium-Verbindungen . . . . .	301
8.11.3	Organosiloxane . . . . .	304
8.12	Sonstige Si-Verbindungen . . . . .	305
8.12.1	Siliciumcarbid . . . . .	305
8.12.2	Siliciumnitrid . . . . .	306
8.12.3	Siliciumsulfide . . . . .	307
9	Stickstoff . . . . .	309
9.1	Elementarer Stickstoff . . . . .	309
9.2	N <sub>2</sub> als Komplexligand . . . . .	311
9.3	Bindungsverhältnisse in Stickstoffverbindungen . . . . .	314
9.4	Hydride des Stickstoffs . . . . .	320
9.4.1	Allgemeines . . . . .	320
9.4.2	Ammoniak NH <sub>3</sub> . . . . .	320
9.4.3	Hydrazin N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . . .	324
9.4.4	Diazen (Diimin) N <sub>2</sub> H <sub>2</sub> . . . . .	325
9.4.5	Hydrogenazid HN <sub>3</sub> und Azide . . . . .	326
9.4.6	Tetrazen(2) N <sub>4</sub> H <sub>4</sub> . . . . .	328
9.4.7	Hydroxylamin NH <sub>2</sub> OH . . . . .	328
9.4.8	Wasserähnliche Lösungsmittel . . . . .	329

9.5	Halogenide und Oxidhalogenide des Stickstoffs . . . . .	336
9.5.1	Halogenide . . . . .	336
9.5.2	Oxidhalogenide . . . . .	339
9.6	Oxide des Stickstoffs . . . . .	340
9.6.1	Allgemeines . . . . .	340
9.6.2	Distickstoffoxid $N_2O$ . . . . .	341
9.6.3	Stickstoffmonoxid $NO$ und Distickstoffdioxid $N_2O_2$ . . . . .	341
9.6.4	Distickstofftrioxid $N_2O_3$ . . . . .	344
9.6.5	Stickstoffdioxid $NO_2$ und Distickstofftetroxid $N_2O_4$ . . . . .	345
9.6.6	Distickstoffpentoxid $N_2O_5$ . . . . .	347
9.7	Sauerstoffsäuren des Stickstoffs . . . . .	348
9.7.1	Allgemeines . . . . .	348
9.7.2	Salpetersäure $HNO_3$ oder $HONO_2$ . . . . .	348
9.7.3	Peroxosalpetersäure $HNO_4$ bzw. $HOONO_2$ . . . . .	350
9.7.4	Salpetrige Säure $HNO_2$ bzw. $HONO$ . . . . .	351
9.7.5	Peroxosalpetrige Säure $HOONO$ . . . . .	352
9.7.6	Hyposalpetrige Säure $(HON)_2$ . . . . .	352
10	Phosphor und Arsen . . . . .	355
10.1	Allgemeines . . . . .	355
10.2	Bindungsverhältnisse in P- und As-Verbindungen . . . . .	355
10.3	Phosphor und Arsen . . . . .	358
10.3.1	Herstellung der Elemente . . . . .	359
10.3.2	Modifikationen von Phosphor und Arsen . . . . .	360
10.4	Hydride von Phosphor und Arsen . . . . .	363
10.4.1	Phosphan und Arsan . . . . .	364
10.4.2	Diphosphan(4) . . . . .	365
10.5	Phosphide . . . . .	366
10.6	Organophosphane . . . . .	368
10.7	Diphosphene und Phosphaalkine . . . . .	370
10.8	Halogenide des Phosphors und Arsens . . . . .	371
10.8.1	Trihalogenide $EX_3$ . . . . .	372
10.8.2	Tetrahalogenide $E_2X_4$ . . . . .	374
10.8.3	Pentahalogenide $EX_5$ . . . . .	374
10.8.4	Starke LEWIS-Säuren . . . . .	377
10.9	Phosphorane . . . . .	379
10.10	Oxide des Phosphors und Arsens . . . . .	381
10.10.1	Phosphor(III)-oxid . . . . .	381
10.10.2	Phosphor(V)-oxid . . . . .	382
10.10.3	Arsenoxide . . . . .	384
10.11	Sulfide des Phosphors und Arsens . . . . .	385
10.12	Oxosäuren von Phosphor und Arsen und deren Derivate . . . . .	387
10.12.1	Oxosäuren mit einem P-Atom . . . . .	387
10.12.2	Kondensierte Phosphorsäuren . . . . .	391
10.12.3	Peroxophosphorsäuren . . . . .	392
10.12.4	Thiophosphorsäuren . . . . .	393
10.12.5	Halogeno- und Amidophosphorsäuren . . . . .	393

10.12.6	Oxo- und Thiosäuren des Arsens und ihre Salze . . . . .	393
10.13	Phosphor(V)-nitrid und Nitridophosphate . . . . .	394
10.14	Phosphazene . . . . .	394
11	Sauerstoff . . . . .	399
11.1	Elementarer Sauerstoff . . . . .	399
11.1.1	Molekularer Sauerstoff O <sub>2</sub> . . . . .	399
11.1.2	Atomarer Sauerstoff . . . . .	406
11.1.3	Ozon O <sub>3</sub> . . . . .	407
11.2	Bindungsverhältnisse am Sauerstoffatom in kovalenten und ionischen Verbindungen . . . . .	411
11.2.1	Oxide . . . . .	411
11.2.2	Peroxide . . . . .	414
11.2.3	Superoxide . . . . .	415
11.2.4	Ozonide . . . . .	416
11.2.5	Dioxygenylverbindungen . . . . .	417
11.2.6	Vergleich der Bindungsverhältnisse in den Ionen [O <sub>2</sub> ] <sup>+</sup> , [O <sub>2</sub> ] <sup>-</sup> und [O <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup> . . . . .	418
11.3	Hydride des Sauerstoffs und Peroxoverbindungen . . . . .	419
11.3.1	Allgemeines . . . . .	419
11.3.2	Wasser . . . . .	419
11.3.3	Wasserstoffperoxid H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . . . .	421
11.3.4	Das Hydroxylradikal [OH] <sup>•</sup> . . . . .	425
11.4	Fluoride des Sauerstoffs . . . . .	426
11.4.1	Allgemeines . . . . .	426
11.4.2	Sauerstoffdifluorid OF <sub>2</sub> . . . . .	426
11.4.3	Disauerstoffdifluorid O <sub>2</sub> F <sub>2</sub> . . . . .	427
11.5	Bindungsverhältnisse in den Hydriden und Fluoriden des Sauerstoffs . . . . .	428
12	Schwefel, Selen und Tellur . . . . .	431
12.1	Allgemeines . . . . .	431
12.2	Bindungsverhältnisse und Tendenzen in der 16. Gruppe . . . . .	432
12.3	Herstellung der Elemente . . . . .	434
12.3.1	Gewinnung von Schwefel . . . . .	434
12.3.2	Herstellung von Selen und Tellur . . . . .	435
12.4	Modifikationen der Chalkogene . . . . .	436
12.4.1	Schwefel . . . . .	436
12.4.2	Modifikationen von Selen und Tellur . . . . .	443
12.5	Homoatomare Chalkogen-Kationen . . . . .	444
12.6	Kettenaufbau- und -abbau-Reaktionen . . . . .	447
12.7	Hydride der Chalkogene . . . . .	448
12.7.1	Hydride H <sub>2</sub> E . . . . .	448
12.7.2	Polysulfane H <sub>2</sub> S <sub>n</sub> . . . . .	449
12.8	Metallchalkogenide . . . . .	451
12.9	Diorganopolysulfane . . . . .	455
12.10	Oxide der Chalkogene . . . . .	455
12.10.1	Dioxide . . . . .	456

12.10.2	Trioxide . . . . .	458
12.10.3	Niedere Schwefeloxide . . . . .	461
12.11	Oxo-, Thio- und Halogeno-Säuren der Chalkogene . . . . .	462
12.11.1	Allgemeines . . . . .	462
12.11.2	Schweflige Säure ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) . . . . .	463
12.11.3	Selenige Säure ( $\text{H}_2\text{SeO}_3$ ) und Tellurige Säure ( $\text{H}_2\text{TeO}_3$ ) . . . . .	465
12.11.4	Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) . . . . .	466
12.11.5	Selensäure ( $\text{H}_2\text{SeO}_4$ ) und Tellursäuren ( $\text{H}_2\text{TeO}_4$ und $\text{Te}(\text{OH})_6$ ) . . . . .	467
12.11.6	Peroxoschwefelsäuren ( $\text{H}_2\text{SO}_5$ , $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) . . . . .	468
12.11.7	Halogenoschwefelsäuren ( $\text{HS}_n\text{O}_{3n}\text{X}$ ) . . . . .	469
12.11.8	Thioschwefelsäure ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) und Sulfandisulfonsäuren ( $\text{H}_2\text{S}_n\text{O}_6$ ) . . . . .	470
12.11.9	Dithionsäure ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$ ) . . . . .	471
12.11.10	Dithionige Säure ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) . . . . .	471
12.12	Halogenide und Oxidhalogenide . . . . .	472
12.12.1	Allgemeines . . . . .	472
12.12.2	Schwefelhalogenide . . . . .	473
12.12.3	Schwefeloxidhalogenide . . . . .	477
12.12.4	Selen- und Tellurhalogenide . . . . .	478
12.13	Schwefel-Stickstoff-Verbindungen . . . . .	480
13	Die Halogene . . . . .	485
13.1	Allgemeines . . . . .	485
13.2	Die Elemente Fluor bis Iod . . . . .	486
13.3	Bindungsverhältnisse . . . . .	488
13.4	Fluor . . . . .	489
13.4.1	Herstellung von Fluor . . . . .	489
13.4.2	Eigenschaften von Fluor . . . . .	491
13.4.3	Herstellung von Fluoriden . . . . .	491
13.4.4	Verwendung fluorierter Verbindungen . . . . .	493
13.4.5	Bindungsverhältnisse in Fluoriden . . . . .	496
13.4.6	Stabilisierung niedriger Oxidationsstufen . . . . .	497
13.5	Chlor, Brom und Iod . . . . .	499
13.5.1	Herstellung und Eigenschaften der Elemente . . . . .	499
13.5.2	Halogenide . . . . .	502
13.5.3	Polyhalogenid-Ionen . . . . .	504
13.5.4	Positive Halogen-Ionen . . . . .	507
13.5.5	Interhalogenverbindungen . . . . .	509
13.5.6	Sauerstoff-Verbindungen von Chlor, Brom und Iod . . . . .	512
13.6	Pseudohalogene . . . . .	523
14	Die Edelgase . . . . .	525
14.1	Allgemeines . . . . .	525
14.2	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung . . . . .	526
14.3	Xenonverbindungen . . . . .	527
14.3.1	Xenonfluoride . . . . .	528



---

14.3.2	Reaktionen der Xenonfluoride . . . . .	529
14.3.3	Oxide und Oxosalze des Xenons . . . . .	531
14.3.4	Oxidfluoride des Xenons . . . . .	532
14.3.5	Sonstige Xenon-Verbindungen . . . . .	533
14.4	Verbindungen der übrigen Edelgase . . . . .	535
14.5	Elektronegativitäten der Edelgase . . . . .	536
14.6	Bindungsverhältnisse bei Edelgasverbindungen . . . . .	537
14.6.1	Zweiatomige Moleküle und Ionen . . . . .	537
14.6.2	Mehratomige Moleküle und Ionen . . . . .	537
14.6.3	Existenz und Nichtexistenz von Edelgasverbindungen . . . .	540
Sachregister . . . . .		543