

Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 1

Methodische Grundlagen

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

- Vorwort** XI
- 1 Zukunft der chemischen Technik**
Utz-Helmuth Felcht 1
- 2 Mechanische Verfahrenstechnik**
Matthias Bohnet, Reinhard Polke, Bernd Sachweh, Jürgen Raasch, Otto Molerus, Kurt Leschonski, Friedrich Löffler, Eberhardt Schmidt, Harald Anlauf, Klaus Schönert, Helmar Schubert, Stefan Hogeckamp, Karl Sommer, Jörg Schwedes 35
- 3 Thermische Verfahrenstechnik**
Jürgen Cmeuhling, Michael Kleiber, Sven Steinigeweg 307
- 4 Chemische Reaktionstechnik**
Manfred Baems, Albert Renken 453
- 5 Katalyse**
Jens Weitkamp, Roger Gläser 645
- 6 Anlagen- und Arbeitssicherheit**
Volker Pitz 719
- 7 Gewerblicher Rechtsschutz und Intellectual Property**
Matthias Schäfer, Volker Bugdahl, Oswald Helmling, Gerhard Olbricht 807
- Stichwortverzeichnis** 883

1

Zukunft der chemischen Technik

Utz-Helmuth Felcht

- 1 Einleitung 3
- 2 , Chemie - Schlüsseltechnologie mit Zukunft 4
 - 2.1 Meilensteine der Chemie 4
 - 2.1.1 Vor 150 Jahren 4
 - 2.1.2 Vor 100 Jahren 5
 - 2.1.3 Vor 50 Jahren 5
 - 2.2 Chemie im 21. Jahrhundert 6
- 3 Chemische Industrie - ein fundamentaler Wirtschaftsfaktor 7
 - 3.1 Internationale Positionierung 7
 - 3.2 Struktur der chemischen Industrie 10
- 4 Unternehmen im Wandel 11
 - 4.1 Konsolidierung und Fokus sierung 11
 - 4.2 Geschäftsmodelle der Zukunft 13
 - 4.3 Wandel durch Innovation 16
 - 4.3.1 Beispiel Werkstoffe 18
 - 4.3.2 Beispiel neue Methoden 19
 - 4.3.3 Beispiel Nanomaterialien 20
 - 4.3.4 Beispiel Biotechnologie 21
 - 4.3.5 Beispiel Pflanzenschutz 22
 - 4.4 Industrie und Wissenschaft 23
- 5 Nachhaltigkeit in der Chemie 26
 - 5.1 Responsible Care 27
 - 5.1.1 Umweltschutz 28
 - 5.1.2 Produktverantwortung 28
 - 5.1.3 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz 29
 - 5.1.4 Anlagensicherheit und Gefahrenabwehr 29
 - 5.1.5 Transportsicherheit 30
 - 5.1.6 Dialog 30

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 1: Methodische Grundlagen.

Copyright © 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
ISBN: 3-527-30767-2

2j 1 *Zukunft der chemischen Technik*

5.2 Corporate Citizen 30

5.3 Green Chemistry 33

6 Trends und Perspektiven 34

Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 2

Neue Technologien

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

- Vorwort XI
- 1 Integrierter Umweltschutz 1
Ulrich Bornewasser, Ute Müller-Eisen, Jürgen Wiesner
- 2 Umwelttechnik 41
Jürgen Wiesner, Helmut Seifert, Thomas Kolb, Martin Kranert, Erwin Thomanetz, Gernot Mayer-Schwinning, Götz-Gerald Borger, Stefan Neumann, Jürgen Klein
- 3 Prozessanalyse und -Synthese: Modellierung, Simulation und Optimierung 161
Ulf Plöcker, Ralf Janowsky, Heiko Briesen, Wolfgang Marquardt
- 4 Prozessleittechnik in der chemischen Industrie 327
Hans Schuler, Michael Kloska, Andreas Steinweg
- 5 Hochdurchsatz-Untersuchungen 549
Ferdinand Schüth
- 6 Biotechnologie 587
Barbara Diehl, Karlheinz Drauz, Andreas Karau, Oliver May
- 7 Gentechnologie 727
Sabine Minol, Hans Günter Gassen
- 8 MikroVerfahrenstechnik 759
Elias Klemm, Markus Rudek, Georg Markowz, Rüdiger Schütte
- 9 Nanomaterialien und Nanotechnologie 821
Karsten Wegner, Sotiris E. Pratsinis, Michael Köhler
- Stichwortverzeichnis 907

1

Integrierter Umweltschutz

Ulrich Bornwasser, Ute Müller-Eisen, Jürgen Wiesner

1 Geschichte des Umweltschutzes 2

- 1.1 Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Umweltschutz 2
- 1.2 Additive Maßnahmen 4
- 1.3 Grenzen der Entsorgung 5

2 Integrierte Maßnahmen 6

- 2.1 Ansatzpunkte 6
- 2.2 Beispiele aus der Praxis 10
 - 2.2.1 Silicone 10
 - 2.2.2 Adipinsäure 11
 - 2.2.3 Toluylendiisocyanat (TDI) 13
 - 2.2.4 Styrol-Acrylnitril (SAN) 14
 - 2.2.5 Latex 15
 - 2.2.6 Chlorherstellung 17
 - 2.2.7 Herstellung von hydriertem Nitril-Butadien-Kautschuk (HNBR) 20
 - 2.2.8 Herstellung von Bisphenol A 21
- 2.3 Vernetzter Umweltschutz 21
- 2.4 Resultate des produktionsintegrierten Umweltschutzes 23

3 Produktintegrierter Umweltschutz 24

- 3.1 Bewertungssysteme für Produkte 25
- 3.2 Individuelle Entwicklungen für produktintegrierten Umweltschutz 29
 - 3.2.1 Bioabbaubare Dispergiermittel und Komplexbildner 29
 - 3.2.2 Enzyme als Textilhilfsmittel 31
 - 3.2.3 Saatgutbehandlung-weniger Wirkstoff durch gezielte Anwendung 32
- 3.3 Kooperationen für produktintegrierten Umweltschutz 34
 - 3.3.1 Lackierung von Automobilkarossen 34
 - 3.3.2 Kooperationen entlang der Produktionskette textiler Bodenbeläge 36

4 Literatur 39

Winnacker * Küchler
Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 3

Anorganische Grundstoffe, Zwischenprodukte

Herausgegeben von

Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,

Alfred Oberholz

5. Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

Vorwort XI

- 1 Schwefel und anorganische Schwefelverbindungen 1
Kurt-Wilhelm Eichenhofer, Karin Huder, Egon Winkler, Karl H. Daum
- 2 Anorganische Stickstoffverbindungen 173
Thomas Böhland, Ernst Gail, Stephen Cos, Theo van Hoek, Rupprecht Kulzer, Bernd Langanke, Willi Ripperger, Peter M. Schalke, Hans Jörg Wilfinger
- 3 Phosphor und Phosphorverbindungen 343
Heinz Harnisch, Gero Heymer, Werner Klose und Klaus Schrödter
Bearbeitet und aktualisiert von Rob de Ruiter und Willem Schipper
- 4 Chlor, Alkalien und anorganische Chlorverbindungen 427
Klaus Blum, Peter Schmittinger
- 5 Natriumchlorid und Alkalicarbonate 545
Andreas Leckzik, Franz Götzfried, Leon Ninane
- 6 Anorganische Verbindungen des Fluors 599
Albrecht Marhold, Jens Peter Joschek
- 7 Borverbindungen 657
Birgit Bertsch-Frank, Cordula Terbrack
- 8 Peroxoverbindungen 675
GustaafGoor, Eberhard Hagel, Sylvia Jacobi, Wolfgang Leonhardt, Werner Zeiss, Klaus Zimmermann
- 9 Carbide und Kalkstickstoff 767
Friedrich Wilhelm Dorn, Herwig Höger, Klaus Liethschmidt, Georg Strauß
Neu bearbeitet von Klaus Englmaier

- 10 Siliciumverbindungen** 803
Dieter Kerner, Norbert Schall, Wolfgang Schmidt, Ralf Schmoll, Jost Schürtz
- 11 Kohlenstoffprodukte** 891
*Gerd Collin, Wilhelm Frohs, Jürgen Behnisch, Gerd-Peter Blümer,
Peter K. Bachmann, Peter Scharf*
- 12 Wasser** 1041
Jutta Jahnel, Markus Ziegmann, Fritz H. Frimmel
- Stichwortverzeichnis** 1099

1

Schwefel und anorganische Schwefel Verbindungen

Kurt-Wilhelm Eichenhofer (1, 3-7), Karin Huder (2), Egon Winkler (3, 4),
Karl H. Daum (3, 4)

- 1 Erzeugung und Verbrauch von Schwefel und anorganischen Schwefelverbindungen 5**
 - 1.1 Rohstoffsituation von Schwefel und Schwefel-Äquivalenten 5
 - 1.2 Mengenentwicklung von Schwefel- und Schwefelsäureerzeugung/-verbrauch 7
 - 1.3 Verwendung von Schwefel und Schwefelsäure 13

- 2 Elementarer Schwefel 16**
 - 2.1 Eigenschaften 16
 - 2.1.1 Physikalische Eigenschaften 16
 - 2.1.2 Chemische Eigenschaften 18
 - 2.2 Entschwefelung von Erdgas, Erdöl und Kohle 20
 - 2.2.1 Entschwefelung von Erdöl 20
 - 2.2.2 Entschwefelung von Gasen 21
 - 2.2.2.1 Absorption mit Hilfe von chemischen oder physikalischen Lösemitteln, Herstellung von Gasen mit aufkonzentriertem H₂S 21
 - 2.2.2.2 Direkte Umsetzung von H₂S in Redox-Prozessen 22
 - 2.2.2.3 Biologische Entfernung 22
 - 2.2.2.4 Claus-Verfahren 22
 - 2.2.2.5 Selectox 25
 - 2.3 Entgasung 25
 - 2.4 Reinheit 26
 - 2.5 Endgasreinigung 27
 - 2.5.1 Katalytische Reinigung von Claus-Tailgas oberhalb des Schwefeltaupunktes 27
 - 2.5.2 Katalytische Reinigung von Claus-Tailgas unterhalb des Schwefeltaupunktes 27
 - 2.5.3 Prozesse basierend auf Claus-Tailgas in flüssiger Phase 29
 - 2.5.4 Prozesse mit reduziertem Claus-Tailgas 30
 - 2.5.5 Weitere Prozessvarianten 30
 - 2.6 Verfestigung, Lagerung und Transport von Schwefel 32

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 3: *Anorganische Grundstoffe, Zwischenprodukte.*

Copyright © 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

ISBN: 3-527-30768-0

1 Schwefel und anorganische Schwefelverbindungen

- 2.6.1 Verfestigung 32
- 2.6.2 Lagerung und Transport 33

- 3 Schwefeldioxid 34
 - 3.1 Eigenschaften von Schwefeldioxid 34
 - 3.2 Bereitstellung schwefeldioxidhaltiger Gase 35
 - 3.2.1 Überstöchiometrische Schwefelverbrennung 37
 - 3.2.2 Unterstöchiometrische Schwefelverbrennung 40
 - 3.2.3 Herstellung von Dampf bei der Schwefelverbrennung 42
 - 3.2.4 SO₂-haltige Gase aus Rost- und Spaltprozessen für die Schwefelsäureherstellung 44
 - 3.2.4.1 SO₂-haltige Gase aus metallurgischen Prozessen 44
 - 3.2.4.2 SO₂-haltige Gase aus der thermischen Spaltung von flüssigen schwefelsäurehaltigen Abfällen 44
 - 3.2.4.3 SO₂-haltige Gase aus der thermischen Spaltung von Eisensulfat und Abfallsäure bei der Titandioxidherstellung 47
 - 3.2.4.4 SO₂-haltige Gase aus der thermischen Spaltung von Calciumsulfaten 49
 - 3.3 Reinigung von SO₂-haltigen Gasen 50
 - 3.3.1 Kühlung und Elektrostatische Gasreinigung (EGR) 52
 - 3.3.2 Waschverfahren 52
 - 3.3.3 Quecksilberabtrennung 55
 - 3.3.4 Arsenentfernung 57
 - 3.4 Herstellung von flüssigem SO₂ 58
 - 3.5 Lagerung und Verwendung von flüssigem SO₂ 63

- 4 Schwefelsäure 64
 - 4.1 Eigenschaften von Schwefelsäure und Oleum 65
 - 4.2 Herstellung von SO₃ aus SO₂ durch Katalyse 67
 - 4.2.1 Katalysatoren 73
 - 4.2.2 Technische Umsetzung der Gleichgewichtsreaktion 76
 - 4.2.2.1 Unsteady-State-Verfahren 80
 - 4.2.2.2 Einfachkatalyse und Doppelkatalyse (Steady-State-Verfahren) 81
 - 4.2.3 Verbleib des Katalysators 87
 - 4.3 Absorption von SO₃ in Schwefelsäure 89
 - 4.3.1 Gegenstrom- und Gleichstromabsorption 89
 - 4.3.2 Arbeitsbereich der Schwefelsäureabsorption 90
 - 4.4 Verfahrensschritte des Schwefelsäureprozesses 92
 - 4.4.1 Gasteil 92
 - 4.4.1.1 Kontaktapparat, Kontakthorde 93
 - 4.4.1.2 Gas/Gas-Wärmeaustauscher 96
 - 4.4.1.3 Luftvorwärmung 97
 - 4.4.1.4 Verdichter 97
 - 4.4.1.5 Kamin 98
 - 4.4.2 Säureteil 99
 - 4.4.2.1 Trockner und Absorber 100

- 4.4.2.2 Säurekühler 103
- 4.4.2.3 Pumpen 106
- 4.4.2.4 Gasfilter 107
- 4.4.2.5 NO_x-Entfernung 109
- 4.4.3 Dampfteil 110
 - 4.4.3.1 Speisewasservorwärmung 110
 - 4.4.3.2 Dampfkessel 110
 - 4.4.3.3 Economiser 112
 - 4.4.3.4 Überhitzer 112
 - 4.4.3.5 Dampfturbine 113
- 4.5 Energiegewinnung im Schwefelsäureprozess 113
 - 4.5.1 Gesamtprozess 114
 - 4.5.2 Energiebetrachtung bei der Kontaktierung 116
- 4.6 Abgasreinigung 117
- 4.7 Verfahrensdarstellung einer Anlage mit Schwefelverbrennung und Doppelkatalyse 120
- 4.8 Verfahrensdarstellung einer Anlage mit Erzröstung und Doppelkatalyse 122
- 4.9 Verfahrensdarstellung einer Anlage für niedere SO₂-Gehalte mit Einfachkatalyse und Endgaswäsche 123
- 4.10 Herstellung von Oleum und Schwefeltrioxid 124
- 4.11 S Schwefelsäurekonzentrierung 127
- 4.12 Einstellung verschiedener Schwefelsäure- und Oleum-Konzentrationen 129
- 4.13 Lagerung und Transport von Schwefelsäure und Oleum 129
- 4.14 Werkstoffe 130
- 4.15 Prozessüberwachung, Qualität und Analytik 133
- 5 Herstellung und Verwendung der anorganischen Schwefelverbindungen 136
 - 5.1 Bisulfite 136
 - 5.1.1 Natriumbisulfit 136
 - 5.1.2 Magnesiumbisulfit (Mg(HSO₃)₂) 137
 - 5.1.3 Ammoniumbisulfit (NH₄HSO₃) 138
 - 5.2 Natrium/Kalium-Sulfit/Disulfit 138
 - 5.2.1 Natriumsulfit (Na₂SO₃) 138
 - 5.2.2 Kaliumsulfit (K₂SO₃) 139
 - 5.2.3 Natriumdisulfit (Na₂S₂O₅) 139
 - 5.2.4 Kaliumdisulfit (K₂S₂O₅) 140
 - 5.2.5 Magnesiumsulfit (MgSO₃) 140
 - 5.3 Thiosulfat 141
 - 5.3.1 Ammoniumthiosulfat ((NH₄)₂S₂O₃) 141
 - 5.3.2 Natriumthiosulfat (Na₂S₂O₃) 142
 - 5.4 Natriumdithionit (Na₂S₂O₄) 143
 - 5.5 Natriumhydrogensulfid (NaHS) und Natriumsulfid (Na₂S) 146

4 | 7 Schwefel und anorganische Schwefelverbindungen

5.6	Schwefelchloride	146
5.7	Thionylchlorid (SOCl ₂)	147
5.8	Sulfurylchlorid (SO ₂ Cl ₂)	148
5.9	Anorganische Sulfonsäuren	249
5.10	Schwefelsäure electronic grade (H ₂ SO ₄)	250
5.11	Natriumhydrogensulfat (NaHSO ₄)	152
5.12	Natriumsulfat/Kaliumsulfat	252
5.13	Ammoniumsulfat ((NH ₄) ₂ SO ₄)	254
5.14	Calciumsulfate (CaSO ₄ • xH ₂ O)	255
5.15	Zinksulfat (ZnSO ₄)	257
5.16	Bariumsulfat (BaSO ₄)	158
5.17	Eisensulfate (Fe(II), Fe(III)SO ₄)	258
5.18	Schwefelkohlenstoff (CS ₂)	160
6	Vorschriften in Deutschland/EU	262
6.1	Bestimmungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft in Deutschland	162
6.2	Best available techniques (BAT) für Schwefel- und Schwefelsäureproduktion	264
6.3	Verordnungen	265
6.3.1	Störfallstoffe SO ₂ , SO ₃	265
6.3.2	Luftgrenzwerte für SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄	266
6.3.3	Krebserzeugende Wirkung von schwefelsäurehaltigen Aerosolen	167
7	Literatur	268

Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 4

Energieträger, Organische Grundstoffe

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

- Vorwort** XI
- 1 Aufsuchung, Gewinnung und Verarbeitung von Kohlenwasserstoffen** 1
Kurt M. Reinicke, Norbert Liermann, Rolf Remer, Gunter Alfke
- 2 Verarbeitung von Stein-und Braunkohle** 231
Wolfgang Wanzl mit Einzelbeiträgen von Bernhard Bonn, Reiner Janitschek, Ingomar Köhler, Udo Maerz, Peter C. W. Stephan, Franz Verfuß, unter Mitarbeit von K.-H. Kathöwer, S. Schäfer, F. Stormanns Roman Kurtz, Jörg Abraham, Andree Henze unter Mitarbeit von Friedrich Berg
- 3 Chemierohstoffe aus Erdöl und Erdgas** 523
Stefan Ernst, Wilfried Petzny
- 4 Chemierohstoffe aus Kohle** 661
Gerd Collin, Jörg Schmalfeld, Manfred Kaiser, Jörg Talbiersky, Roudolf Aust
- 5 Verfahren auf Basis Synthesegas** 783
Walter Boll, Michael Claeys, Boy Cornils, Wilhelm Keim, Frank Rößner, Eric van Steen
- 6 Industriegase** 899
Heinz-Wolfgang Häring, Heinz Bauer, Michael Berger, Harald Klein, Matthias Meilinger, Johann Raab, Harald Ranke, Jaco Reijerkerk, Hans Schmidt, Dirk Schwenk, Hermann Stenger, Dieter Tillmann, Bernhard Valentin, Kurt Wilde
- 7 Wasserstofftechnologie** 1107
Joachim Wolf, Oliver Weinmann, Michael Bracha, Katharina Seitz, Gerhard SEXTl
- Stichwortverzeichnis** 1161

1

Aufsuchung, Gewinnung und Verarbeitung von Kohlenwasserstoffen

1: Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen

Kurt M. Reinicke, Norbert Liermann, Rolf Remer

2: Die Verarbeitung von Erdöl

Gunter Alfke

1	Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen	6
1.1	Einleitung	6
1.1.1	Geschichtliche Entwicklung	6
1.1.2	Energiebedarf und Vorrats Situation	9
1.1.3	Reserven und Förderung	11
1.1.4	Ressourcen	12
1.1.4.1	Ölsande, Teersande	14
1.1.4.2	Ölschiefer	14
1.1.4.3	Erdgas aus dichten Lagerstätten	25
1.1.4.4	Kohleflözgas	16
1.1.4.5	Gashydrate	16
1.1.4.6	Aquifergas	17
1.2	Entstehung von Kohlenwasserstoffen und Kohlenwasserstoff-Lagerstätten	17
1.3	Lagerstätteninhalt und Eigenschaften von Erdöl und Erdgas	20
1.3.1	Lagerstätteninhalt, statisch (Volumetrie)	20
1.3.1.1	Lagerstättendruck	21
1.3.1.2	Lagerstättentemperatur	21
1.3.2	Lagerstätteninhalt, dynamisch (PVT-Beziehungen)	21
1.3.2.1	Druck-Temperaturbeziehungen	22
1.3.2.2	Druck-Volumenbeziehungen für Erdöle	23
1.3.2.3	Formations-Volumen-Faktor	24
1.3.2.4	Viskosität	24
1.3.2.5	Realgasfaktor	25
1.3.3	Lagerstätten, dynamisch (Fließbewegungen)	25

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 4: *Energieträger, Organische Grundstoffe.*

Copyright © 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

ISBN: 3-527-30769-9

- 1.3.3.1 Materialbilanzrechnungen und Verdrängungstheorien 26
- 1.3.3.2 Lagerstättensimulation 27
- 1.3.4 Verhalten von Erdöl und Erdgas bei Förderung, Aufbereitung und Transport 27
 - 1.3.4.1 Ölfeldaufbereitung 28
 - 1.3.4.2 Verhalten von Erdgas bei Druckentspannung 28
 - 1.3.4.3 Verhalten von Erdgas bei Verdichtung 29
 - 1.3.4.4 Erdgashydrate 30
- 1.3.5 Rohrströmung von Erdöl und Erdgas 30
 - 1.3.5.1 Rohrströmung von Erdöl 31
 - 1.3.5.2 Rohrströmung von Erdgas 31
- 1.3.6 Kohlenwasserstoffe als Brennstoffe 31
- 1.4 Suche nach Erdöl und Erdgas 33
 - 1.4.1 Beckenanalyse 33
 - 1.4.2 Geophysikalische Messungen 34
 - 1.4.3 Seismische Verfahren 34
- IAA Umweltschutz 37
 - 1.4.5 Beckenmodellierungen 37
- 1.5 Bohren nach Erdöl und Erdgas 37
 - 1.5.1 Bohrverfahren 38
 - 1.5.1.1 Das Rotary Verfahren 39
 - 1.5.1.2 Spezielle Rotary Antriebe: »Top-Drive« und Untertageantrieb 42
 - 1.5.1.3 Spezielle Bohrtechniken: Ablenkungen, Horizontalbohrungen, Multilateralbohrungen, Low-Head-/Under-Balanced-Drilling, Slim-Hole-Drilling 42
 - 1.5.2 Spezielle Verrohrungstechniken: Expandable Technologie 44
 - 1.5.3 Meeresbohrtechnik 45
 - 1.5.4 Bohrungsplanung 45
 - 1.5.5 Umweltschutz 46
 - 1.5.6 Bohrungsüberwachung 47
 - 1.5.7 Bohrungskomplettierung 48
- 1.6 Entwicklung von Erdöl- und Erdgasvorkommen 49
 - 1.6.1 Beobachtungen 50
 - 1.6.2 Interpretationen 50
 - 1.6.3 Berechnungen 51
 - 1.6.4 Entwicklungsentscheidungen 51
 - 1.6.5 Onshore-Entwicklungen 52
 - 1.6.6 Offshore-Entwicklungen 52
 - 1.6.7 Technische Regeln für die Entwicklung 55
- 1.7 Gewinnung von Erdöl und Erdgas 55
 - 1.7.1 Bohrungen 56
 - 1.7.1.1 Einfluss der Lagerstätteneigenschaften 56
 - 1.7.1.2 Verfahren zur Verbesserung der Zuflussbedingungen 57
 - 1.7.1.3 Messungen zur Kontrolle der Ausbeute einer Lagerstätte 58

1.7.1.4	Einfluss der produzierten und injizierten Fluide auf das Bohrungsverhalten	59
1.7.1.5	Förderung von Erdöl	60
1.7.1.6	Förderung von Erdgas	62
1.7.2	Aufbereitung von Erdöl und Erdgas	63
1.7.2.1	Verfahrens schritte zur Aufbereitung von Erdöl und Erdgas	64
1.7.2.2	Aufbereitung von Erdöl	67
1.7.2.3	Aufbereitung von Erdgas	67
1.7.2.4	Erdgasverflüssigung	71
1.7.2.5	Allgemeine Sicherheit und Umweltschutz	74
1.8	Transport von Erdöl und Erdgas	75
1.8.1	Leitungstransport	76
1.8.1.1	Leitungstransport Onshore	78
1.8.1.2	Leitungstransport Offshore	79
1.8.2	Schiffstransport bei Offshore-Produktion	80
1.8.3	Schiffstransport von Erdgas	81
1.9	Speicherung von Erdöl und Erdgas	82
1.9.1	Untertagespeicher	82
1.9.1.1	Kavernenspeicher	84
1.9.1.2	Porenspeicher	84
1.9.1.3	Röhrenspeicher	85
1.9.2	Übertagespeicher	85
1.10	Prozesssteuerung und intelligente Überwachung bei Gewinnung, Transport und Speicherung	86
1.11	Rückbau und Rekultivierung der Produktions-, Transport- und Speichieranlagen	87
1.11.1	Onshore	88
1.11.2	Offshore	89
1.12	Wirtschaftliche Bedeutung von Erdöl und Erdgas	90
1.13	Literatur	92
2	Die Verarbeitung von Erdöl	98
2.1	Einleitung	98
2.1.1	Ein kurzer Blick in Geschichte und Bedeutung	98
2.1.2	Verbrauch, Versorgung und Verarbeitung	101
2.2	Chemie des Erdöls - Grundlage seiner Verarbeitungsverfahren	104
2.3	Die Produkte der Raffinerie	111
2.3.1	Raffineriegas	115
2.3.2	Flüssiggas	116
2.3.3	Rohbenzin	116
2.3.4	Ottokraftstoffe	117
2.3.5	Flugbenzin	121
2.3.6	Flugturbinenkraftstoff	122
2.3.7	Leuchtpetroleum	122
2.3.8	Dieselmkraftstoff	123

- 2.3.9 Leichtes Heizöl 125
- 2.3.10 Schmieröle und -fette 126
- 2.3.11 Schweres Heizöl 128
- 2.3.12 Schiffsbrennstoffe 130
- 2.3.13 Bitumen 131
- 2.3.14 Petrolkoks 133
- 2.3.15 Wachse, Paraffine, Vaseline 133
- 2.3.16 Schwefel 134
- 2.4 Chemie erdölfremder Stoffe in Erdölprodukten und Prozessen 134
 - 2.4.1 Sauerstoffhaltige Kraftstoffkomponenten 135
 - 2.4.2 Additive 136
 - 2.4.3 Synthetische Schmierstoffe 137
 - 2.4.4 Katalysatoren 137
- 2.5 Auswirkungen der Umweltpolitik auf die Raffinerieverarbeitung 138
 - 2.5.1 Anlagenbezogene Regelungen 139
 - 2.5.1.1 Luft und Lärm 139
 - 2.5.1.2 Wasser 141
 - 2.5.1.3 Boden (Bodenschutzgesetz) 141
 - 2.5.2 Produktbezogene Regelungen 142
 - 2.5.2.1 Blei 142
 - 2.5.2.2 Schwefel 144
 - 2.5.2.3 Bestimmte Kohlenwasserstoffe 248
 - 2.5.2.4 Altöl 150
- 2.6 Vom Rohöl zur Komponente - der Weg durch die Verarbeitungsanlagen 150
 - 2.6.1 Trennverfahren 153
 - 2.6.1.1 Rohöldestillation unter Atmosphärendruck 153
 - 2.6.1.2 Vakuumdestillation 161
 - 2.6.1.3 Deisopentanizer 162
 - 2.6.2 Umwandlungsverfahren 163
 - 2.6.2.1 Katalytisches Reformieren 163
 - 2.6.2.2 Isomerisieren 166
 - 2.6.2.3 Alkylieren 266
 - 2.6.2.4 MTBE, ETBE und TAME 268 -
 - 2.6.2.5 Thermisches Cracken 269
 - 2.6.2.6 Visbreaking 269
 - 2.6.2.7 Katalytisches Cracken 272
 - 2.6.2.8 Hydrocracken 275
 - 2.6.2.9 Petrolkoksherstellung 277
 - 2.6.2.10 Bitumenherstellung 279
 - 2.6.2.11 Wasserstoffanlage/Synthesegaserzeugung 280
 - 2.6.3 Nachbehandlung 282
 - 2.6.3.1 Süßung von Benzin 282
 - 2.6.3.2 Katalytisches Entschwefeln 282
 - 2.6.3.3 Adsorptive Entschwefelung 285

- 2.6.3.4 Schwefelgewinnung 185
- 2.6.3.5 Schmierölherstellung 288
- 2.6.3.6 Herstellung von Schmierfetten 293
- 2.6.3.7 Paraffine, Wachse und Vaseline 194
- 2.6.4 Mischanlage für Fertigprodukte - Inline-Blender 294
- 2.6.5 Neben- und Hilfsanlagen 195
 - 2.6.5.1 Kraftwerk/Kesselhaus. Brennstoffversorgung 195
 - 2.6.5.2 Kühlsysteme 197
 - 2.6.5.3 Wasserversorgung und Abwasserreinigung 298
 - 2.6.5.4 Tanklager 201
 - 2.6.5.5 Verladung von Fertigprodukten 202
- 2.6.6 Sicherheitsfragen 203
- 2.7 Transport und Transportmittel 205
 - 2.7.1 Rohöltransport mit Tankern 206
 - 2.7.2 Produktentransport 209
 - 2.7.2.1 Schiene 209
 - 2.7.2.2 Straße 209
 - 2.7.2.3 Wasserweg 209
 - 2.7.2.4 Leitungstransport 220
- 2.8 Randfragen oder Zukunft? Welche Energiequellen gibt es als Ersatz für Erdöl? 220
 - 2.8.1 Alternative Kraftstoffe 220
 - 2.8.1.1 Wasserstoff 210
 - 2.8.1.2 Erdgas 222
 - 2.8.1.3 Alkohole: Methanol und Ethanol 222
 - 2.8.1.4 Kohlebenzin 213
 - 2.8.1.5 Biodiesel 224
 - 2.8.2 Ölschiefer, Ölsande und Naturbitumen 214
 - 2.8.2.1 Ölschiefer und Ölsande 224
 - 2.8.2.2 Naturbitumen und Schwersterdöle 215
 - 2.8.2.3 Glossar 226
- 2.9 Literatur 224

Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 5

Organische Zwischenverbindungen, Polymere

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

Vorwort XV

1 Aliphatische Zwischenprodukte 1

Arno Behr mit Beiträgen von Jörg Arnold, Philip Bahke, Arno Behr, Dietmar Dehn, Michael Dettmer, Markus Dugal, Achim Fischer, Roland Fornika, Matthias Frauenkron, Bernhard Gutsche, Andreas Heidbreder, Wilhelm Keim, Joachim Knebel, Johann-Peter Melder, Ingolf Mielke, Klaus Noweck, Gerit Pelzer, Sonja Rothstock, Rene Schöbet, Joachim Schuler, Christian Schulte, Albrecht Schwerin, Joachim Seuster, Gerhard Wegener und Andreas Wölfert

2 Aromatische Zwischenprodukte 267

Marcel Liauw, Thomas Prinz, Hans-Martin Weber, Andreas Reitzmann basierend auf dem Beitrag aus der 4. Auflage von Heinz Ulrich Blank, Walter Hohmann, Dietrich Liebsch, Siegbert Rittner, Klaus Warning, Rudolf Wirtz

3 Kunststoffe 465

Klaus Albrecht, Franz-Erich Baumann, Burkhard Boeke, Ludwig Böhm, Radu Bordeianu, Davide Brizzolara, Harald Cherdrön, Jürgen Fietz, Gerhard Fink, Herbert Fitz, Andreas Frahm, Wolfgang Friederichs, Thorsten Goldacker, Heinrich Hähnsen, Wilfried Hatke, Hanno Hückstädt, Oliver Jünger, Wilhelm Keim, Klaus Konejung, Mirko Kreitschmann, Udo Maier, Marta Martin-Portugues, Gerben Meier, Thierry Meyer, Karl-Friedrich Mück, Philip Nising, Georg Oenbrink, Jochem Pater, Janosch Recker, Oliver Reese, Gunter Reitzel, Gerhard Reuschel, Thomas Rüb, Eva Rüb, Günter Sehen, Theodorus J.B. Schroots, Joachim Seibring, Dirk Steinmeister, Hans-Guido Wirtz, Peter Zugenmaier

4 Elastomere 821

Michael Arndt-Rosenau

5 Chemiefasern 897

Thomas Gries, Helmut Sattler

VI *Inhalt*

- 6 Silicone** 1095
Bernd Pachaly, Frank Achenbach, Christian Herzig und Konrad Mautner
- 7 Chemisch-technische Verwertung von Biomasse** 1215
Walter Kaminsky, Dietrich Meier, Jürgen Puls
- 8 Mikrobiologische Herstellung chemischer Grundstoffe** 1377
Udo Kragl, basiert auf dem Kapitel der 4. Auflage von Uwe Faust
- Stichwortverzeichnis** 1417

1

Aliphatische Zwischenprodukte

Arno Behr

mit Beiträgen von

Jörg Arnold, Philip Bahke, Arno Behr, Dietmar Dehn, Michael Dettmer, Markus Dugal, Achim Fischer, Roland Fornika, Matthias Frauenkron, Bernhard Gutsche, Andreas Heidbreder, Wilhelm Keim, Joachim Knebel, Johann-Peter Melder, Ingolf Mielke, Klaus Noweck, Gerit Pelzer, Sonja Rothstock, Rena Schöbel, Joachim Schuler, Christian Schulte, Albrecht Schwerin, Joachim Seuster, Gerhard Wegener und Andreas Wölfert

1	Einleitung	7
2	Halogenverbindungen	7
2.1	Chlorverbindungen	9
2.1.1	Methylchlorid	11
2.1.1.1	Hydrochlorierung von Methanol	12
2.1.1.2	Verwendung	13
2.1.2	Methylenchlorid	13
2.1.2.1	Methanchlorierung	13
2.1.2.2	Oxychlorierung von Methan	17
2.1.2.3	Verwendung	27
2.1.3	Chloroform	17
2.1.4	Tetrachlorkohlenstoff	17
2.1.4.1	Stöchiometrische Methanchlorierung	18
2.1.4.2	Chlorierung von Schwefelkohlenstoff	18
2.1.4.3	Chlorolyse-Reaktionen	18
2.1.4.4	Verwendung	29
2.1.5	Ethylchlorid	19
2.1.6	1,2-Dichlorethan	20
2.1.6.1	Chloraddition an Ethen	21
2.1.6.2	Oxychlorierung von Ethen	22
2.1.6.3	Verwendung	24
2.1.7	Vinylchlorid	25
2.1.7.1	1,2-Dichlorethan-Spaltung	25
2.1.7.2	Andere Verfahren	27
2.1.7.3	Kombinationsprozesse	27

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 5: *Organische Zwischenverbindungen, Polymere.*

Copyright © 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
ISBN: 3-527-30770-2

7 Aliphatische Zwischenprodukte

- 2.1.7.4 Verwendung 28
- 2.1.8 I,1,1-Trichlorethan und 1,1-Dichlorethen 28
- 2.1.9 Trichlorethen und Tetrachlorethen 30
- 2.1.10 Allylchlorid 32
- 2.1.11 Chloropren 33
- 2.1.12 Längerkettige Chloraliphaten 34
- 2.2 Fluorverbindungen 35

- 3 Alkohole 38**
- 3.1 Kurzkettige Alkohole (C₂ bis C₄) 39
 - 3.1.1 Ethanol 42
 - 3.1.1.1 Indirekte Hydratisierung von Ethen 43
 - 3.1.1.2 Direkte Hydratisierung von Ethen 43
 - 3.1.1.3 Neue Verfahrensentwicklungen 45
 - 3.1.1.4 Verwendung 45
 - 3.1.2 Propanole 46
 - 3.1.2.1 n-Propanol 46
 - 3.1.2.2 Isopropanol 47
 - 3.1.3 Butanole 50
 - 3.1.3.1 n-Butanol und Isobutanol 52
 - 3.1.3.2 Sek- und tert-Butanol 52
 - 3.1.3.3 Verwendung 53
 - 3.1.4 Allylalkohol 53
 - 3.1.4.1 Herstellungsverfahren 53
 - 3.1.4.2 Verwendung 54
- 3.2 Langkettige Alkohole 55
 - 3.2.1 Gesättigte lineare Alkohole 56
 - 3.2.1.1 Natürliche Rohstoffe 56
 - 3.2.1.2 Hydrierung von Fettsäuren und Fettsäureestern 57
 - 3.2.1.3 Ziegler-Alkohol-Verfahren 62
 - 3.2.1.4 Hydroformylierung 65
 - 3.2.1.5 Sonstige Herstellungsverfahren 67
 - 3.2.2 Ungesättigte lineare Alkohole 69
 - 3.2.3 Verzweigte Alkohole 70
- 3.3 Cyclische Alkohole 70
 - 3.3.1 Cyclohexanol und Cyclohexanon 70
 - 3.3.1.1 Herstellungsverfahren 72
 - 3.3.1.2 Verwendung 74
 - 3.3.2 Cyclododecanol und Cyclododecanon 74
 - 3.3.2.1 Herstellungsverfahren 75
 - 3.3.2.2 Verwendung 75
- 3.4 Mehrwertige Alkohole 77
 - 3.4.1 Diole 77
 - 3.4.2 Triole und Tetrole 79

- 4 **Ether** 82
 - 4.1 Nichtcyclische Ether 83
 - 4.1.1 Dimethylether 83
 - 4.1.2 Diethylether 83
 - 4.1.3 Methyl-tert-butylether 83
 - 4.2 Cyclische Ether 86
 - 4.2.1 Tetrahydrofuran 86
 - 4.2.2 1,4-Dioxan 86

- 5 **Epoxide** 88
 - 5.1 Ethenoxid 89
 - 5.1.1 Herstellungsverfahren 89
 - 5.1.1.1 Chlorhydrinverfahren 89
 - 5.1.1.2 Direktoxidation von Ethen 90
 - 5.1.2 Anwendungen und Derivate 94
 - 5.1.2.1 Ethylenglykol und oligomere Glykole 95
 - 5.1.2.2 Alkylglykolether 96
 - 5.1.2.3 Polyethoxylate 97
 - 5.1.2.4 Ethanolamine 97
 - 5.2 Propylenoxid 98
 - 5.2.1 Herstellung über Chlorhydrinverfahren 99
 - 5.2.2 Herstellung über indirekte Oxidationsverfahren 103
 - 5.2.2.1 Koppelproduktverfahren 203
 - 5.2.2.2 Koppelproduktfreie Verfahren 208
 - 5.2.3 Neue Verfahrensentwicklungen - Direktoxidationsverfahren 222
 - 5.2.4 Anwendungen 223
 - 5.3 Epichlorhydrin 225

- 6 **Aldehyde** 226
 - 6.1 Gesättigte Aldehyde 226
 - 6.1.1 Formaldehyd 226
 - 6.1.1.1 Oxidative Dehydrierung von Methanol 228
 - 6.1.1.2 Oxidation von Methanol 120
 - 6.1.1.3 Verwendung 222
 - 6.1.2 Acetaldehyd 122
 - 6.1.2.1 Wacker-Hoechst-Verfahren 122
 - 6.1.2.2 Dehydrierung von Ethanol 227
 - 6.1.2.3 Acetaldehyd aus Methanol oder Methylacetat 128
 - 6.1.2.4 Verwendung 228
 - 6.1.3 Butanale 229
 - 6.1.3.1 Low-Pressure Oxo-Verfahren 232
 - 6.1.3.2 Ruhrchemie/Rhone-Poulenc-Verfahren 232
 - 6.1.3.3 Verwendung 234
 - 6.2 Ungesättigte Aldehyde 135
 - 6.2.1 Acrolein 135

7 Aliphatische Zwischenprodukte

- 6.2.1.1 Katalysatoren 136
- 6.2.1.2 Verfahren 137
- 6.2.1.3 Neue Entwicklungen 138
- 6.2.1.4 Verwendung 139
- 6.2.2 Crotonaldehyd 139
- 6.2.3 2-Ethylhexenal 141
- 6.3 Glyoxal 143

- 7 **Ketone** 143
 - 7.1 Aceton 144
 - 7.1.1 Cumolverfahren 144
 - 7.1.2 Dehydrierung von Isopropanol 145
 - 7.1.3 Oxidation von Propen 147
 - 7.1.4 Verwendung 148
 - 7.2 Methylethylketon 148
 - 7.2.1 Herstellungsverfahren 149
 - 7.2.2 Verwendung 149
 - 7.3 Methylisobutylketon 250
 - 7.3.1 Herstellung 150
 - 7.3.2 Verwendung 151

- 8 **Carbonsäuren und Carbonsäure-Derivate** 151
 - 8.1 Ameisensäure 152
 - 8.2 Essigsäure 154
 - 8.2.1 Oxidation von Acetaldehyd 156
 - 8.2.2 Oxidation von Kohlenwasserstoffen 258
 - 8.2.3 Carbonylierung von Methanol 160
 - 8.2.3.1 BASF-Cobalt-Prozess 161
 - 8.2.3.2 Monsanto-Rhodiumverfahren 162
 - 8.2.3.3 BP-Cativa-Prozess 163
 - 8.2.4 Weitere Verfahren zur Essigsäureherstellung 166
 - 8.2.5 Verwendung 268
 - 8.2.6 Essigsäureester 269
 - 8.2.7 Vinylacetat 171
 - 0.111 Herstellung 171
 - 8.2.7.2 Verwendung 175
 - 8.2.8 Essigsäureanhydrid 275
 - 8.2.8.1 Herstellung 275
 - 8.2.8.2 Verwendung 177
 - 8.2.9 Keten und Diketen 178
 - 8.2.10 Chloressigsäuren 279
 - 8.2.11 Glykolsäure und Glyoxylsäure 180
 - 8.2.12 Peressigsäure 282
 - 8.3 C₃-Säuren 282
 - 8.3.1 Propionsäure 183

- 8.3.1.1 Herstellung 183
 - 8.3.2 Milchsäure 284
 - 8.4 Fettsäuren 185
 - 8.4.1 Native Fettsäuren 186
 - 8.4.1.1 Hydrolyse von Ölen und Fetten 286
 - 8.4.1.2 Fettsäurehärtung 187
 - 8.4.2 Synthetische Fettsäuren 188
 - 8.4.3 Spezielle Fettsäuren 188
 - 8.4.3.1 Oleochemische Dicarbonsäuren 188
 - 8.4.3.2 Dimerfettsäuren 189
 - 8.4.3.3 Fettsäuren für Gesundheit und Ernährung 190
 - 8.4.3.4 Konjugierte Linolsäure 191
 - 8.4.4 Fettsäure-Derivate 191
 - 8.4.4.1 Fettsäureester 192
 - 8.4.4.2 Fettamme 196
 - SA A3 Fettsäureamide 197
 - 8.5 Verzweigte Carbonsäuren 197
 - 8.6 Dicarbonsäuren 198
 - 8.6.1 Adipinsäure 201
 - 8.6.2 Adiponitril 204
 - 8.6.2.1 Herstellung aus Adipinsäure 205
 - 8.6.2.2 Herstellung aus Butadien 205
 - 8.6.2.3 Herstellung aus Acrylnitril 207
 - 8.7 Ungesättigte Carbonsäuren 210
 - 8.7.1 Acrylsäure und Acrylsäureester 210
 - 8.7.2 Acrylnitril 217
 - 8.7.3 Acrylamid 220
 - 8.7.4 Methacrylsäure und Methacrylsäuremethylester 222
 - 8.7.5 Spezialacrylate und -methacrylate 225
 - 8.8 Ungesättigte Dicarbonsäuren 232
- 9 Amine 234
- 9.1 Herstellungsverfahren 235
 - 9.1.1 Alkoholaminierung 235
 - 9.1.2 Reduktive Aminierung 235
 - 9.1.3 Nitrilhydrierung 236
 - 9.1.4 Hydroaminierung 236
 - 9.1.5 Sonstige Herstellungsprozesse 236
 - 9.1.6 Übersicht über die Herstellungsverfahren 237
 - 9.2 Synthese kurzketziger Amine 238
 - 9.2.1 Methylamine 238
 - 9.2.2 C₂-C₆-Alkylamine 239
 - 9.2.3 Spezialamine 240
 - 9.2.4 tert-Butylamin 240
 - 9.3 Fettamine 242

7 Aliphatische Zwischenprodukte

9.4 Ethylenamine 242

9.5 Hexamethyldiamin 242

9.6 Cyclische Amine 244

10 Isocyanate 244

11 Schwefelverbindungen 247

11.1 Dialkylsulfate 247

11.2 Sulfonsäuren und Sulfonate 248

11.3 Thiole 250

12 Metallorganische Verbindungen 250

12.1 Lithiumorganische Verbindungen 252

12.2 Magnesiumorganische Verbindungen 252

12.3 Bor- und Aluminiumorganische Verbindungen 252

12.4 Silicium-, Zinn- und Bleiorganische Verbindungen 254

13 Literatur 255

Winnacker • Küchler
Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 6a

Metalle

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

Vorwort XI

1 Metalle 1

Günter Gottstein, Myrjam Winning; Bernhard Friedrich u. Mitarbeiter

2 Rohstoffaufbereitung 69

Eberhard Gock, Volker Vogt, Jörg Köhler

3 Eisen und Stahl 203

Hans Bodo Lungen, Wolfgang Pluschkell, Rolf Steffen, Dieter Janke, Olena Volkova, Dieter Senk, Michael Degner, Christoph Lackinger, Paul-Josef Mauk, Dirk Ponge basiert teilweise auf dem Beitrag der 4. Auflage von J. Fröber, H.-W. Klapp, W. Kleppe, F. Oeters, M. Ottow und J. Selenz

4 Stahl veredler 405

Helmut Antrekowitsch, Markus Hochenhofer

5 Aluminium 479

Beitrag weitgehend übernommen aus der 4. Auflage von W. Hirt, S. Wilkening, G. Winkhaus, W. Gruhl

6 Magnesium 567

*Karl Ulrich Kainer
unter Mitwirkung von Norbert Hort, Carsten Blawert, Wolfgang Dietzel,
Dietmar Letzig, Rolf-Peter Stössel und Jacek Swiostek*

7 Kupfer und Nickel 609

*Adalbert Lossin
basiert auf dem Beitrag der 4. Auflage von R. Kammel und W. Wuth, (2) wurde
unverändert aus der 4. Auflage übernommen*

8 Zink, Blei und Zinn 669

Beitrag von R. Kammel und W. Wuth, übernommen aus der 4. Auflage und neu bearbeitet von Bruno Schwab (1); (2) und (3) wurden unverändert aus der 4. Auflage übernommen

9 Cobalt 737

Michael Hawkins

10 Titan 753

Siegfried Sattelberger

Stichwortverzeichnis 775

1

Metalle

Günter Gottstein, Myrjam Winning; Bernhard Friedrich u. Mitarbeiter

1	Metallphysikalische Grundlagen	3
1.1	Atomistik metallischer Festkörper	3
1.1.1	Bindung und Kristallstruktur	3
1.1.2	Elektronenstruktur von Festkörpern	4
1.1.3	Interatomares Potential und Gitterschwingungen	6
1.1.4	Kristalldefekte	7
1.2	Thermische, elektrische und magnetische Eigenschaften von Metallen	8
1.2.1	Wärmekapazität	8
1.2.2	Thermische Ausdehnung	10
1.2.3	Wärmeleitfähigkeit	11
1.2.4	Elektrische Leitfähigkeit von Metallen	12
1.2.5	Supraleitung	13
1.2.6	Magnetische Eigenschaften von Metallen	15
1.2.6.1	Dia- und Paramagnetismus	15
1.2.6.2	Ferromagnetismus	17
1.3	Mechanische Eigenschaften	19
1.3.1	Elastizität	19
1.3.2	Kristallplastizität	20
1.3.2.1	Plastisches Fließen	20
1.3.2.2	Festigkeit	23
1.3.2.3	Andere Verformungsmechanismen	25
1.3.2.4	Superplastizität	27
2	Häufigkeit und Vorkommen	28
3	Grundlagen metallurgischer Prozesse	31
3.1	Überblick	31
3.2	Röstung/ Sinterung	34
3.2.1	Röstung	34
3.2.2	Sintern	35
3.3	Reduktion	37
3.3.1	Pyrometallurgische Reduktion	38

3.3.1.1	Reduktion durch thermische Zersetzung	39
3.3.1.2	Reduktion mit Wasserstoff	40
3.3.1.3	Carbothermische Reduktion	40
3.3.1.4	Metallothermische Reduktion	42
3.3.2	Hydrometallurgische Reduktion	43
3.3.2.1	Zementation	44
3.3.2.2	Reduktion mit Gasen	45
3.4	Raffination	45
3.4.1	Pyrometallurgische Raffination	46
3.4.1.1	Selektive Oxidation	46
3.4.1.2	Vakuumbehandlung (Entgasung/Destillation)	47
3.4.1.3	Spülgasbehandlung	48
3.4.1.4	Schlackenbehandlung	49
3.4.1.5	Seigern	50
3.4.1.6	Selektive Verflüchtigung (Destillation)	51
3.4.1.7	Elektrolytische Raffination im Schmelzfluss	51
3.4.1.8	Filtration (Mechanische Raffination)	52
3.4.2	Hydrometallurgische Raffination (Lg/SX)	52
3.4.2.1	Selektive Laugung	52
3.4.2.2	Der Solventextraktions-Prozess	54
3.5	Elektrolytische Verfahren	56
3.5.1	Reduktionselektrolyse (Gewinnungselektrolyse)	57
3.5.2	Raffinationselektrolyse	59
3.5.3	Schmelzflusselektrolyse	60
4	Rückgewinnung	62
5	Verarbeitung	65
6	Literatur	67

Winnacker • Küchler
Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 6b

Metalle

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

- Vorwort XI
- 1 Alkali- und Erdalkalimetalle 1
Ulrich Wietelmann unter Mitarbeit von Anja Steinmetz
 - 2 Zirkon und Hafnium 35
Günther Maassen
 - 3 Die Refraktärmetalle Niob, Tantal, Wolfram, Molybdän und Rhenium 45
Gerhard Gille, Wilfried Gutknecht, Helmut Haas, Christoph Schnitter, Armin Olbrich
 - 4 Beryllium 89
David Francis Lupton
 - 5 Nebenmetalle 99
Ulrich Kammer, Robert Jahn, Grit Monse
Beitrag basiert auf dem Artikel der 4. Auflage von U. Wiese, Bismut wurde unverändert aus der 4. Auflage übernommen
 - 6 Quecksilber 131
Reiner Andrae
 - 7 Antimon 141
Ulrich Kammer
Beitrag basiert auf dem Artikel der 4. Auflage von U. Wiese
 - 8 Seltene Erden 147
Herfried Richter, Karl Schermanz
Aktualisierung des Beitrags aus der 4. Auflage
 - 9 Edelmetalle 209
Andreas Brumby, Christian Hagelüken, Egbert Lox, Ingo Kleinwächter

VI *Inhalt*

10 Produkte der Pulvermetallurgie 277

Rainer Oberacker, Fritz Thümmler

11 Schutz von Metalloberflächen 339

Werner Rausch

*Überarbeitet durch Martin Stratmann, Joachim Heitbaum, Bernd Schuhmacher,
A. Schütte, Wolfgang Bremser*

12 Werkstoffe in der Chemischen Technik 457

*Manfred Gugau, Christina Berger, Jürgen Korkhaus, Hans D. Pletka
unter Mitarbeit von Jörg Ellermeier, Torsten Trofimann, Erhard Broszeit*

13 Nuklearer Brennstoffkreislauf 539

*Wolfgang Stoll, Helmut Schmieder, Alexander Thomas Jakubick, Günther Roth,
Siegfried Weisenburger, Bernhard Kienzier, Klaus Gompper, Thomas Fanghänel*

Stichwortverzeichnis 649

1

Alkali- und Erdalkalimetalle

Ulrich Wietelmann

unter Mitarbeit von Anja Steinmetz

1	Allgemeines	3
1.1	Historisches	3
1.2	Wirtschaftliches	4
2	Physikalische und chemische Eigenschaften	
2.1	Physikalische Eigenschaften	6
2.2	Chemische Eigenschaften	7
2.2.1	Alkalimetalle	7
2.2.2	Erdalkalimetalle	9
3	Herstellung	10
3.1	Natrium	10
3.1.1	NaOH-Schmelzflusselektrolyse	10
3.1.2	NaCl-Schmelzflusselektrolyse	12
3.1.3	Handelsformen	15
3.2	Lithium	16
3.2.1	Rohstoffe	16
3.2.2	Gewinnung	17
3.3	Kalium	18
3.4	Rubidium und Caesium	19
3.5	Calcium	21
3.6	Strontium und Barium	22
4	Verwendung	23
4.1	Natrium und Kalium	23
4.2	Lithium und Lithiumverbindungen	26
4.3	Rubidium und Caesium	29
4.4	Calcium	30
4.5	Strontium, Barium und ihre Verbindungen	30
5	Sicherheit und Umweltschutz	32

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 6b: *Metalle.*

Copyright © 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

ISBN: 3-527-31578-0

2 7 *Alkali- und Erdalkalimetalle*

6 Verpackung und Versand 32

7 Literatur 33

Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 7

Industrieprodukte

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

Vorwort	XI
1	Bauchemie 1 <i>Johann Plank, Dietmar Stephan, Christian Hirsch</i>
2	Explosivstoffe und pyrotechnische Produkte 169 <i>Andreas Busch, Uwe Krone, Dietrich Eckhardt</i>
3	Anorganische Pigmente 269 <i>Gerhard Pfaff</i>
4	Organische Farbstoffe und Pigmente 391 <i>Elmar Steingruber, Hartmut Endrifi</i>
5	Schmierstoffe 543 <i>Georg Lingg, Theo Mang, Wilfried Dresel, Jürgen Braun, Jürgen Omeis</i>
6	Kunsthharze und Lacke 619 <i>Hans-Joachim Streitberger, Heinz-Peter Rink, Wolfgang Bremser</i>
7	Klebtechnik 735 <i>Walter Brockmann, Paul Ludwig Geiß, Jürgen Kligen, Bernhard Schröder</i>
8	Elektronische Halbleitermaterialien 815 <i>Wilfried von Ammon, Christian Heedt, Wolfgang Jantz, Rolf Knobel, Ulrich Lambert, Robert Maurer, H. Jörg Osten, Peter Wagner</i>
9	Informations- und Kommunikationstechnik 973 <i>Norbert Frühauf, Norbert Grote, Volker Laible, Peter Kersten, Hans-Jürgen Matt, Harald Orlamünder, Thomas Pfeiffer, Herbert Schaaf, Gustav Veith, Alexander Weiss, Wiltraud Wischmann, Roman E. Wochele</i>
	Stichwortverzeichnis 1171

1

Bauchemie

Johann Plank, Dietmar Stephan, Christian Hirsch

1	Einleitung	4
2	Anorganische Bindemittel	6
2.1	Zement	6
2.1.1	Historisches	6
2.1.2	Wirtschaftliches	8
2.1.3	Definition von Klinker, Zement und Zumahlstoffen	10
2.1.4	Zusammensetzung des Rohmehls	10
2.1.5	Portlandzementklinker	13
2.1.5.1	Nomenklatur der Klinkerphasen	14
2.1.5.2	Alit	15
2.1.5.3	Belit	16
2.1.5.4	Aluminatphase	16
2.1.5.5	Ferritphase	17
2.1.5.6	Weitere Klinkerphasen	17
2.1.5.7	Zusammensetzung und Existenzbereiche	18
2.1.6	Analytik von Rohmehl, Klinker und Zement	18
2.1.7	Zementherstellung	23
2.1.7.1	Rohstoffe und Brennstoffe	23
2.1.7.2	Brennprozess	29
2.1.7.3	Lagerung, Verpackung, Versand	39
2.1.8	Bestandteile von Normzement	40
2.1.8.1	Hauptbestandteile	40
2.1.8.2	Nebenbestandteile	44
2.1.8.3	Calciumsulfat	45
2.1.8.4	(Zement) Zusätze	45
2.1.9	Zemente nach Norm	45
2.1.9.1	Physikalische und chemische Eigenschaften europäischer Normzemente	47
2.1.9.2	Zemente mit Sondereigenschaften	48
2.1.9.3	Tiefbohrzement	48
2.1.10	Hydratation	52

1 Bauchemie

- 2.1.10.1 Reaktion der Silicate (C_3S , C_2S) 52
- 2.1.10.2 Reaktionen des Aluminats (C_3A) 60
- 2.1.10.3 Hydratation des Ferrits (C_4AF) 65
- 2.1.10.4 Hydratation von Zementen 66
- 2.1.10.5 Reaktionen der Nebenbestandteile 71
- 2.1.10.6 Hydratation hüttensandhaltiger Zemente 72
- 2.1.10.7 Hydratation puzzolanischer Stoffe 73
- 2.1.10.8 Erstarrungsverzögerung 74
- 2.1.11 Das Zementsteingefüge 77
- 2.2 Baukalk 80
 - 2.2.1 Historisches und Wirtschaftliches 80
 - 2.2.2 Rohstoffvorkommen 81
 - 2.2.3 Kalkherstellung 81
 - 2.2.3.1 Gewinnung und Aufbereitung des Kalksteins 81
 - 2.2.3.2 Kalkbrennen 82
 - 2.2.3.3 Mahlen des Branntkalkes 86
 - 2.2.3.4 Kalklöschchen 86
 - 2.2.4 Verwendung der Kalkprodukte 88
- 2.3 Gips 90
 - 2.3.1 Historisches und Wirtschaftliches 90
 - 2.3.2 Physikalisch-chemische Grundlagen 92
 - 2.3.2.1 Phasen im System $CaSO_4 - H_2O$ 93
 - 2.3.2.2 Kristallstrukturen, Doppelsalze, Mischkristalle 93
 - 2.3.3 Vorkommen und Rohstoffe 97
 - 2.3.3.1 Naturgips, Naturanhydrit 97
 - 2.3.3.2 Chemiegips 98
 - 2.3.3.3 REA-Gips 99
 - 2.3.4 Herstellung von Calciumsulfat-Bindemittel 100
 - 2.3.4.1 Technische Prozesse 100
 - 2.3.4.2 Eigenschaften abbindefähiger Calciumsulfate 105
 - 2.3.5 Hydratation von $CaSO_4$ -Bindemitteln 105
 - 2.3.5.1 α - und β -Halbhydrat 109
 - 2.3.5.2 Natur-, REA- und Chemieanhydrit 109
 - 2.3.5.3 Eigenschaften verarbeiteter Gipsbaustoffe 111
 - 2.3.5.4 Andere Verwendungsgebiete 111
 - 2.3.5.5 Normen, chemische Analyse und Phasenanalyse 112
- 2.4 Weitere anorganische Bindemittel 113
 - 2.4.1 Tonerdezement 113
 - 2.4.1.1 Herstellung 113
 - 2.4.1.2 Chemische und mineralogische Zusammensetzung 114
 - 2.4.1.3 Hydratation 115
 - 2.4.1.4 Anwendungen 115
 - 2.4.2 Magnesiabinder 118
 - 2.4.3 Phosphatbinder 119
 - 2.4.3.1 Magnesiumphosphatbinder 119

2.4.3.2	Calciumphosphatbinder	120
2.4.3.3	Aluminiumphosphatbinder	121
3	Bauchemische Zusatzmittel	222
3.1	Verflüssiger	122
3.2	Fließmittel	226
3.2.1	Polykondensate	227
3.2.1.1	Naphthalinsulfonsäure-Formaldehyd-Harze	127
3.2.1.2	Melamin-Formaldehyd-Sulfit-Harze	230
3.2.2	Polycarboxylate	235
4	Baustoffsysteme	239
4.1	Beton	139
4.1.1	Transportbeton	240
4.1.2	Beton für Fertigteile	242
4.1.3	Selbstverdichtender Beton	242
4.2	Mörtel	243
4.2.1	Estriche	244
4.2.2	Ausgleichsmassen	245
4.2.3	Fliesenkleber	246
4.2.4	Fugenmörtel und -massen	247
4.2.5	Einpressmörtel	248
4.2.6	Putze	249
4.3	Gipsbauplatten	250
4.4	Farben und Lacke	153
4.5	Tiefbohrzementierung	254
5	Ausblick	255
6	Literatur	258

Chemische Technik

Prozesse und Produkte

Band 8

Ernährung, Gesundheit, Konsumgüter

Herausgegeben von

*Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa,
Alfred Oberholz*

5. Auflage



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

Vorwort XI

Produkte der Kaliindustrie 1

Ingo Stahl, Wolfgang W. Beer, Karl Rainer Wambach-Sommerhoff, Roland Keidel

Düngemittel 119

Klaus Jasche, Hans-Joachim Niclas

Pflanzenschutzmittel 213

; Franz Müller

III

Technologie der Kohlenhydrate 315

Klaus Buchholz, Bernhard Ekelhof, Waltraud Vorwerg, Sylvia Radosta, Jan Dijksterhuis, Martin Walter

Lebensmitteltechnologie und -Verfahrenstechnik 413

Heike P. Schuchmann, Harald Schuchmann

Geruchsstoffe und Aromen 519

Mike Mattner

Arzneimittel 561

Käthe Baumann, Thomas Gießmann, Peter Graf, Andreas Greinacher, Wolfgang Holla, Manfred Hunz, Oliver Kayser, Gerhard Maldener, Guido Radtke, Werner Siegmund, Steffen Weinbrenner, Werner Weitschies

Futter- und Lebensmitteladditive 715

Hans-Ullrich Hoppe, Christoph Weckbecker

Tenside, Wasch- und Reinigungsmittel 795

Herrmann C. Hauthal

VI *Inhalt*

- 10 Kosmetik und Körperpflege** 937
Annette zur Mühlen, Andreas Domsch, Hagen Tronnier, Ulrike Heinrich
- 11 Glas** 991
Hans-Jörg Voss
- 12 Keramik** 1097
Hans Walter Hennicke, Sigismund Kienov
Bearbeitet von Jürgen Huber
- Stichwortverzeichnis** 1183

Produkte der Kaliindustrie

Ingo Stahl, Wolfgang W. Beer, Karl Rainer Wambach-Sommerhoff, Roland Keidel

1 Einführung 3

- 1.1 Das Element Kalium 3
- 1.2 Historisches 3

2 Kalivorkommen 8

- 2.1 Minerale der Kalilagerstätten 8
- 2.2 -Bildung, Verbreitung, Nutzung von Kalilagerstätten 8
- 2.3 Weltkalivorräte 26

3 Gewinnung von Kaligesteinen und kaliumhaltigen Lösungen 28

- 3.1 Bergbau 28
- 3.2 Solende Gewinnung (Lösungsbergbau) 30
- 3.3 Gewinnung von natürlichen Salzlösungsvorkommen 32
- 3.4 Gewinnung von anderen kaliumhaltigen Erzen 34

4 Kaliumchlorid 35

- 4.1 Eigenschaften 35
- 4.2 Mahlung 36
- 4.3 Herstellung durch Kristallisation aus der Lösung 40
 - 4.3.1 Phasentheorie 40
 - 4.3.2 Heißlöseverfahren 44
 - 4.3.3 Carnallit-Verarbeitung 50
- 4.3 A Technologie 53
- 4.4 Flotation 58
 - 4.4.1 Grundlagen 59
 - 4.4.2 Technologie 63
 - 4.4.3 Prozesse 66
- 4.5 Elektrostatische Trennung 68
 - 4.5.1 Grundlagen 69
 - 4.5.2 Technologie 69
 - 4.5.3 Prozesse 72
- 4.6 Schwerentrennung 72

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz

Band 8: *Ernährung, Gesundheit, Konsumgüter.*

Copyright © 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

ISBN: 3-527-30773-7

7 *Produkte der Kaliindustrie*

- 4.7 Deckprozess 73
- 4.8 Entwässerung und Trocknung 75
- 4.9 Granulierung 78
- 4.10 Prozesskontrolle 80
- 4.11 Umweltschutz 82
- 4.12 Gesundheit und Arbeitsschutz 84
- 4.13 Qualitätsanforderungen 84
- 4.14 Wirtschaftliches 87

- 5 Kaliumsulfat 91
 - 5.1 Eigenschaften 92
 - 5.2 Herstellung 93
 - 5.2.1 Aus Kaliumchlorid und Schwefelsäure (Mannheim-Prozess) 93
 - 5.2.2 Aus Kaliumchlorid und Magnesiumsulfat 95
 - 5.2.3 Aus Kaliumchlorid und Langbeinit 97
 - 5.2.4 Aus Kaliumchlorid und Kainit 97
 - 5.2.5 Aus Kaliumchlorid und Natriumsulfat 99
 - 5.2.6 Aus Kaliumchlorid und Calciumsulfat 99
 - 5.2.7 Aus Alunit 100
 - 5.2.8 Aus natürlichen Lösungen 100
 - 5.3 Granulierung 100
 - 5.4 Gesundheit und Arbeitsschutz 101
 - 5.5 Qualitätsanforderungen 101
 - 5.6 Wirtschaftliches 102

- 6 Kalium-Magnesiumprodukte 103

- 7 Herstellung von Kaliumsalzen aus natürlichen Lösungen 104
 - 7.1 Das Tote Meer 104
 - 7.2 Great Salt Lake (USA) 105
 - 7.3 Searles Lake (USA) 106
 - 7.4 Salar de Atacama (Chile) 106
 - 7.5 Qarhan See (China) 106
 - 7.6 Weitere Vorkommen 107

- 8 Lagerung und Transport 107

- 9 Analytik des Kaliums 108

- 10 Literatur 108