

HANSER



Leseprobe

zu

„Taschenbuch der Verfahrenstechnik, 5. Auflage“

von Karl Schwister

ISBN (Buch): 978-3-446-44778-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44778-3>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Das *Taschenbuch der Verfahrenstechnik* soll eine kompakte, verständliche und an den Bedürfnissen der Praxis ausgerichtete Gesamtdarstellung über den vielfältigen und weit verzweigten Bereich der Verfahrenstechnik bieten. Es gibt eine erste Einführung in die wichtigsten Grundverfahren der mechanischen und thermischen Verfahrenstechnik, chemischen Reaktionstechnik sowie der biologischen Verfahrenstechnik und will dadurch auch dem Fachfremden einen Einstieg in diese wichtige Ingenieurdisziplin ermöglichen. Darüber hinaus werden neben den beruflichen Perspektiven und Tätigkeitsfeldern des Verfahrensingeniieurs konkrete Anwendungen aus verschiedenen Bereichen in Industrie und Umwelt beispielhaft besprochen.

Die Abgrenzung der vier Teilbereiche erfolgt nach traditionellem Verständnis. Danach basieren die Grundoperationen der *mechanischen Verfahrenstechnik* im Wesentlichen auf den Grundgesetzen der Mechanik. Hinzu kommen die in der *thermischen Verfahrenstechnik* zusammengefassten Gesetzmäßigkeiten des Stoff- und Wärmetransports. Das komplexe Gebiet der *chemischen Reaktionstechnik* beschäftigt sich mit chemischen Umsetzungen, für deren quantitative Beschreibung sowohl die Thermodynamik als auch die Reaktionskinetik benötigt wird. Die *biologische Verfahrenstechnik*, eine relativ junge Disziplin, die auf mehrere tausend Jahre Erfahrung gründet, setzt leistungsfähige Mikroorganismen oder Zellbestandteile als Produzenten hochwertiger Substanzen in großtechnischem Maßstab ein.

Die Verfahrenstechnik ist eine Ingenieurwissenschaft mit integrativem Charakter, deren Gegenstand die industrielle Stoffumwandlung zum Zwecke der wirtschaftlichen Nutzung ist, wobei die Form der Stoffe keine primäre Bedeutung besitzt. Sie erstreckt sich auf eine Reihe von Industrie- und Umweltbereiche, wie Nahrungsmittelherstellung, Pharma- und Kosmetikindustrie, Kunststoffindustrie, Metallverarbeitung, Bergbau und Hüttenwesen, Abfallbehandlung, Wasser-, Boden- und Luftreinhaltung.

Die langjährige Erfahrung und erfolgreiche Tätigkeit der Autoren in unterschiedlichen Bereichen in Hochschulen und Industrie trägt zu einer ausgewogenen und praxisorientierten Darstellung bei.

Bei allen Kollegen und Mitarbeitern, die während der Entstehung des Buches mit Hinweisen und Anregungen geholfen haben, möchte ich mich ausdrücklich bedanken. Bei Herrn Thomas Pies bedanke ich mich für die sorgfältige Erfassung des Textes und die Anfertigung der Bilder recht herzlich. Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Peter Fuchs, der eine hervorragende Übersetzung des ungarischen Beitrages realisiert hat. Auch dem Verlag, vor allem Herrn Jochen Horn, sei für die gute Zusammenarbeit und die unterstützende Begleitung herzlichst gedankt, Herrn Klaus Vogelsang für das Korrekturlesen. Allen Lesern bin ich für kritische Hinweise dankbar.

Zwickau, im August 2017
Karl Schwister

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
TEIL I Berufliche Anforderungen und Perspektiven	21
1 Berufsbild des Verfahreningenieurs	22
1.1 Traditionelles Verständnis	22
1.2 Berufliche Einsatzmöglichkeiten	23
1.2.1 Forschung, Entwicklung und Lehre	24
1.2.2 Planung und Konstruktion	25
1.2.3 Betrieb und Produktion	25
1.2.4 Anwendungstechnik, Vertrieb und Einkauf	26
1.2.5 Branchenübergreifende Einsatzmöglichkeiten	27
2 Aktuelle Trends	28
2.1 Neue Beschäftigungsfelder	28
2.2 Veränderte Arbeitsplatzprofile	30
2.3 Freiberufliche Ingenieurdienstleistungen	31
3 Weiterentwicklung der Ingenieurausbildung	33
3.1 Arbeitsmarktsituation	33
3.2 Wahl von Studienform und Studienabschluss	34
3.3 Praxisbezug der Ausbildung	37
3.4 Reform der Ingenieurausbildung	38
3.5 Erhalt der Beschäftigungsfähigkeit	40

TEIL II Mechanische Verfahrenstechnik	43
4 Einführung	44
5 Kennzeichnung disperser Stoffsysteme	46
5.1 Begriffsbestimmung	46
5.2 Charakterisierung von Partikelmerkmalen	47
5.2.1 Feinheitsmerkmale	47
5.2.2 Verteilungskurven	49
5.2.3 Standardverteilungen	51
5.2.4 Kenngrößen aus Verteilungen	53
5.3 Messverfahren der Partikelgrößenanalyse	54
5.3.1 Probenahme und Probeteilung	54
5.3.2 Mikroskopische Zählverfahren	55
5.3.3 Bildanalyseverfahren	56
5.3.4 Optische Einzelpartikelzähler	57
5.3.5 Laserbeugungsspektrometer	58
5.3.6 Feldstörungsverfahren	59
5.3.7 Siebanalyse	60
5.3.8 Sichtanalyse	61
5.3.9 Sedimentationsanalyse	62
5.3.10 Messverfahren zur Oberflächenbestimmung	63
5.4 Haftkräfte	64
5.5 Bewegung von Teilchen in einem Fluid	66
5.5.1 Bewegung eines kugelförmigen Kornes	66
5.5.2 Bewegung nicht kugelförmiger Körner	68
5.5.3 Kornbewegung in nichtNEWTONSchen Flüssigkeiten ...	68
5.5.4 Bewegung von Körnerschwärmen	68
5.5.5 Sedimentation von Körnerkollektiven	69
5.6 Durchströmung von Kornschichten	70
5.6.1 Strömung durch eine ruhende Materialschicht	70
5.6.2 Strömung durch eine Wirbelschicht	72
6 Fließen von Schüttgütern	73
6.1 Ruhende Schüttgüter	73
6.2 Fließende Schüttgüter	77
6.2.1 Wandreibungswinkel	77
6.2.2 Ausflussverhalten aus Schüttgutspeichern	77

6.2.3	Brückenbildung	79
6.2.4	Ermittlung der Schüttgutparameter	81
7	Mischen von Feststoffen und Rühren	83
7.1	Übersicht der Mischverfahren	83
7.2	Kennzeichnung des Mischungs Zustands	85
7.2.1	Probeanalyse von Mischungen	86
7.2.2	Mittelwert und Varianz	87
7.2.3	Mischungs Zustände	89
7.2.4	Untersuchung des Mischungs Zustandes	91
7.3	Feststoffmischverfahren	92
7.4	Rühren	94
7.4.1	Rühren mit rotierenden Rührorganen	95
7.4.2	Leistungsbedarf des Rührers	97
7.4.3	Homogenisieren mit rotierenden Rührorganen	99
7.4.4	Suspendieren	99
7.4.5	Emulgieren	100
7.4.6	Begasen	101
7.5	Statisches Mischen von Flüssigkeiten	102
8	Mechanische Trennprozesse	103
8.1	Kennzeichnung der Trennprozesse	103
8.2	Klassieren	107
8.2.1	Siebklassierung	107
8.2.2	Windsichten	110
8.2.3	Nassstromklassierer	112
8.3	Sortieren	113
8.4	Fest-Flüssig-Trennung	115
8.4.1	Grundbegriffe	115
8.4.2	Trennverfahren	115
8.5	Partikelabscheidung aus Gasen	119
9	Agglomerieren	122
9.1	Übersicht zu Begriffen und Verfahren	122
9.2	Bindemechanismen und Festigkeit	123

9.3	Aufbauagglomeration	126
9.4	Pressagglomerieren	127
10	Zerkleinern	130
10.1	Grundlagen des Zerkleinerns	130
10.2	Modelle vom Zerkleinerungsvorgang	132
10.2.1	Bruchbildung	132
10.2.2	Zerkleinerungsgesetze	134
10.2.3	Zerkleinerungsgrad	138
10.3	Zerkleinerungsmaschinen und Klassierer	139
10.4	Brecher	141
10.4.1	Backenbrecher und Rundbrecher	141
10.4.2	Walzenbrecher	142
10.4.3	Prallbrecher	143
10.5	Mühlen	144
10.5.1	Wälzmühlen	144
10.5.2	Mahlkörpermühlen	145
10.5.3	Walzenmühlen	150
10.5.4	Prallmühlen	151
10.5.5	Strahlmühlen	152
10.6	Scheren und Schneidmühlen	153
	TEIL III Thermische Verfahrenstechnik	157
11	Thermische Trennoperationen im Überblick	158
12	Verdampfung	163
12.1	Grundlagen	163
12.2	Technische Anforderungen an die Bauweise von Verdampfern	165
12.3	Verdampferschaltungen	166
12.4	Verdampferbauarten	169
13	Kristallisation	172
13.1	Grundlagen	172
13.2	Technische Anforderungen an den Kristallisationsvorgang	175
13.3	Bauarten von Kristallisatoren	179

14 Destillation	184
14.1 Grundlagen	184
14.2 Blasendestillation	192
14.3 Trennung von Gemischen ohne Mischungslücke	195
14.4 Wasserdampf- oder Tragerdampfdestillation	197
14.5 Kontinuierliche Rektifikation	199
14.6 Diskontinuierliche Rektifikation	212
14.7 Einbauten und Dimensionierung der Rektifiziersäule	214
15 Absorption	224
15.1 Grundlagen	224
15.2 Dimensionierung der Absorptionskolonne	231
15.3 Bauarten von Absorbern	236
16 Adsorption	238
16.1 Grundlagen	238
16.2 Dimensionierung von Adsorptionsanlagen	244
16.3 Bauarten von Adsorbern	250
17 Trocknung	251
17.1 Grundlagen	251
17.2 Trocknungsarten	253
17.3 Bauarten von Trocknern	255
18 Flüssig-Flüssig-Extraktion (Solventextraktion)	258
18.1 Grundlagen	258
18.2 Solventextraktion in Kreuz- und Gegenstromfahrweise	265
18.3 Auslegungshinweise für Gegenstromkolonnen im kontinuierlichen Betrieb	271
18.4 Apparatetypen für die Solventextraktion	274
18.5 Auswahl und Regeneration des Lösungsmittels	278

19 Fest-Flüssig-Extraktion	279
19.1 Grundlagen	279
19.2 Durchführung der Feststoffextraktion	281
19.3 Beispiele für Feststoffextraktionsanlagen	282
20 Hochdruckextraktion	285
20.1 Grundlagen	285
20.2 Anwendung der Hochdruckextraktion	289
TEIL IV Chemische Reaktionstechnik	291
21 Einführung in die chemische Reaktionstechnik	292
21.1 Allgemeines	292
21.2 Beurteilungsgrößen für Reaktoren	294
21.2.1 Durchsatz	295
21.2.2 Umsatz	295
21.2.3 Selektivität	299
21.2.4 Ausbeute	299
21.2.5 Verweilzeit	299
21.2.6 Produktionsleistung	300
21.3 Stoffbilanz	301
22 Kinetik chemischer Reaktionen	303
22.1 Grundlagen der Reaktionskinetik	303
22.2 Analyse kinetischer Untersuchungen	305
22.2.1 Integrationsmethode	306
22.2.2 Differenzielle Methode	311
22.3 Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	312
22.4 Katalyse	316
22.4.1 Homogene Katalyse	317
22.5 Makrokinetik chemischer Reaktionen	318
22.5.1 Heterogene Katalyse	321
22.5.2 Gas-Flüssigkeits-Reaktionen	324
22.6 Reaktionsarten	328

22.6.1 Reversible Reaktionen	328
22.6.2 Parallelreaktionen	329
22.6.3 Folgereaktionen	331
23 Isotherm betriebene ideale Reaktoren	334
23.1 Betriebsweisen chemischer Reaktoren	334
23.1.1 Diskontinuierlicher Betrieb	334
23.1.2 Kontinuierlicher Betrieb	336
23.2 Der diskontinuierlich betriebene Rührkessel	339
23.3 Der kontinuierlich betriebene Rührkessel	344
23.4 Die Rührkesselkaskade	347
23.5 Das ideale Strömungsrohr	354
23.6 Vergleich der idealen Reaktoren	357
23.7 Reaktor mit Kreislauführung	358
23.8 Der halbkontinuierliche Rührkessel (Semibatch-Reaktor)	362
24 Reale Reaktoren (Verweilzeitverhalten)	364
24.1 Verweilzeitverteilung $E(t)$	364
24.2 Verweilzeitsummenfunktion $F(t)$	369
24.3 Mittlere Verweilzeit	370
24.4 Experimentelle Bestimmung der Verweilzeitfunktionen	371
24.5 Verweilzeitverhalten realer Reaktoren	373
24.5.1 Kontinuierlicher Rührkessel	373
24.5.2 Rohrreaktor	375
24.6 Berechnung des mittleren Umsatzes	377
25 Thermisches Verhalten von Reaktoren	379
25.1 Thermische Stabilität von Reaktoren	379
25.2 Wärmetechnische Auslegung von Reaktoren	383
25.3 Der diskontinuierlich betriebene Rührkessel	384
25.4 Der kontinuierlich betriebene Rührkessel	387
25.4.1 Adiabatischer Betrieb	387
25.4.2 Isothermer Betrieb	389
25.5 Das ideale Strömungsrohr	390

26	Chemiereaktoren	394
26.1	Reaktoren für homogene Reaktionen	394
26.2	Reaktoren für heterogene Reaktionen	395
TEIL V Biologische Verfahrenstechnik		399
27	Grundlagen der Mikrobiologie	400
27.1	Entwicklung und Bedeutung der Mikrobiologie	400
27.2	Struktur und Funktion der prokaryotischen Zelle	405
27.2.1	Kern und Plasmide	409
27.2.2	Cytoplasmamembran	411
27.2.3	Zellwand	414
27.2.4	Geißeln	417
27.2.5	Fimbrien und Pili	418
27.3	Struktur und Funktion der eukaryotischen Zelle	418
27.3.1	Cytoplasma	419
27.3.2	Mitochondrien und Chloroplasten	420
27.4	Hauptgruppen der Bakterien	421
27.4.1	Stoffwechseltypen	424
27.4.2	Übersicht über die Vielfalt der Prokaryonten	424
27.5	Hauptgruppe der Hefen und Pilze	431
27.6	Technisch wichtige Mikroorganismen	434
28	Biochemische Grundlagen	436
28.1	Grundlagen des Stoffwechsels und der Energieumwandlung ..	436
28.2	Ernährungstypen	441
28.2.1	Heterotrophie und Autotrophie	441
28.2.2	Chemotrophie und Phototrophie	442
28.2.3	Lithotrophie und Organotrophie	442
28.2.4	Aerobier und Anaerobier	442
28.3	Atmungsprozesse	443
28.3.1	Embden-Meyerhof-Parnas-Weg	443
28.3.2	ENTNER-DOUDOROFF-Weg und Pentosephosphat-Weg ...	445
28.3.3	Oxidativer Abbau von Pyruvat	446
28.3.4	Tricarbonsäure-Cyclus	447
28.3.5	Atmungskette	448

28.4	Anaerobe Atmung	450
28.4.1	Nitrat-Atmung	450
28.4.2	Sulfat-Atmung	453
28.5	Gärungen	453
28.5.1	Alkohol-Gärung	455
28.5.2	Milchsäure-Gärung	456
28.5.3	Propionsäure-Gärung	457
29	Bioprozesskinetik	459
29.1	Nährmedien und Wachstumsbedingungen	459
29.1.1	Feste Nährböden	461
29.1.2	Temperaturabhängigkeit des Wachstums	461
29.1.3	pH-Abhängigkeit des Wachstums	463
29.2	Wachstumsbestimmungen	464
29.2.1	Bestimmung der Mikroorganismenzahl	465
29.2.2	Bestimmung der Mikroorganismen	467
29.3	Statische Kultur	469
29.3.1	Exponentielles Wachstum	469
29.3.2	Wachstumskurve	472
29.4	Kontinuierliche Kultur	476
29.4.1	Wachstum im Turbidostaten	478
29.4.2	Wachstum im Chemostaten	479
30	Bioreaktoren	483
30.1	Allgemeine Anforderungen an Bioreaktoren	483
30.2	Oberflächenreaktoren	484
30.2.1	Feste Nährböden	485
30.2.2	Statische Oberflächenkultur	485
30.2.3	Bettreaktoren	487
30.2.4	Membran-Reaktoren	488
30.3	Submers-Reaktoren	489
30.3.1	Energieeintrag durch Begasung	490
30.3.2	Energieeintrag durch eine Flüssigkeitspumpe	492
30.3.3	Energieeintrag mit Rührorganen	494
30.3.4	Vergleich der Reaktorsysteme	496
30.4	Belüftung und Sauerstofftransport	497

31 Sterilisation und Steriltechnik	501
31.1 Einführung	501
31.2 Kinetik der Abtötung durch Hitzeeinwirkung	503
31.3 Sterilisation von flüssigen Medien	504
31.3.1 Batch-Sterilisation mit Dampf	505
31.3.2 Kontinuierliche Sterilisation mit Dampf	508
31.3.3 Sterilisation durch Filter	511
31.3.4 Sterilisation durch chemische Methoden	511
31.4 Sterilisation von Gasen	512
32 Messtechnik an Bioreaktoren	514
32.1 Einführung	514
32.2 Physikalische Messgrößen	517
32.2.1 Temperatur	517
32.2.2 Druck	518
32.2.3 Drehzahl	518
32.2.4 Schaum	519
32.2.5 Trübung	519
32.3 Chemische Messgrößen	520
32.3.1 pH-Wert	520
32.3.2 Redoxpotenzial	521
32.3.3 Sauerstoff	522
32.3.4 Kohlenstoffdioxid	524
32.3.5 Ionenselektive Elektroden	525
32.4 Biologische Sensoren	526
TEIL VI Anwendungen in Industrie und Umwelt	529
33 Schwefelsäureherstellung	530
33.1 Einführung	530
33.2 Reaktion	531
33.3 Rohstoffeinsatz	532
33.4 Katalysator	532
33.5 Kontaktverfahren	533

34 Herstellung von Titandioxid	536
34.1 Einführung	536
34.2 Rohstoffeinsatz	536
34.3 Verfahren	537
34.3.1 Sulfatverfahren	537
34.3.2 Chloridverfahren	539
34.3.3 Nachbehandlung	540
35 Erdölaufbereitung und Petrochemie	541
35.1 Einführung	541
35.2 Physikalische Bearbeitung	542
35.2.1 Vorbereitung	542
35.2.3 Fraktionierte Destillation	543
35.2.3 Entparaffinierung	545
35.3 Raffinerieverfahren zur stofflichen Umwandlung	545
35.3.1 Cracking-Verfahren	547
Thermisches Cracking	548
Katalytisches Cracking	550
Hydrocracking	551
35.3.2 Reforming	552
35.3.3 Hydrierung	554
35.3.4 Isomerisierung	555
35.3.5 Polymerisation	555
35.3.6 Alkylierung	556
36 Herstellung von Polyurethanen	557
36.1 Einführung	557
36.2 Reaktion	558
36.3 Rohstoffeinsatz	558
36.3.1 Isocyanate	558
36.3.2 Polyolkomponenten	561
36.3.3 Hilfs- und Zusatzstoffe	562
36.4 Verarbeitungsverfahren	563
36.4.1 Allgemeines	563
36.4.2 Dosiermaschinen	564
36.4.3 Formwerkzeuge	567

37 Herstellung von Citronensäure	568
37.1 Einführende Bemerkungen	568
37.2 Mikroorganismen und Biosynthese	569
37.3 Nährmedien	570
37.4 Produktionsverfahren	571
37.4.1 Oberflächenverfahren	571
37.4.2 Submersverfahren	573
38 Herstellung von Penicillin	576
38.1 Einführende Bemerkungen	576
38.2 Antibiotika-Produzenten und Klassifizierung	576
38.3 Wirkungsspektrum von Antibiotika	579
38.4 Produktionsverfahren	580
39 Metallgewinnung durch Mikroorganismen	584
39.1 Einführende Bemerkungen	584
39.2 Mechanismen der mikrobiellen Laugung	585
39.2.1 Direkte Laugung	585
39.2.2 Indirekte Laugung	586
39.3 Laborverfahren	587
39.3.1 Perkulatorlaugung	588
39.3.2 Suspensionslaugung	589
39.3.3 Säulenlaugung	590
39.4 Industrielle Laugungsverfahren	591
40 Reinigung kommunaler Abwässer	595
40.1 Abwasserarten und Fortleitung	595
40.2 Abwasserinhaltsstoffe	596
40.2.1 Typische Messgrößen zur Abwasserbeurteilung	598
40.2.2 Typische Abwasserparameter für ein kommunales Abwasser	599
40.3 Aufbau und Funktion einer kommunalen Kläranlage	601
40.3.1 Mechanisch-physikalische Reinigung	601
40.3.2 Chemische Elimination	604

40.3.3	Biologische Abwasserbehandlung	605
40.3.3.1	Elimination von Phosphorverbindungen	605
40.3.3.2	Elimination von Stickstoffverbindungen	607
40.3.4	Nachklärung	613
40.3.5	Schlammbehandlung	613
40.4	Alternative Verfahren	615
41	Mechanische und thermische Abluft- reinigungsverfahren	617
41.1	Einführende Bemerkungen	617
41.2	Mechanische Abluftreinigungsverfahren	619
41.3	Thermische Abluftreinigungsverfahren	622
41.3.1	Rauchgasentschwefelung und Stickoxidreduktion im Abgasstrom von Kohlekraftwerken	623
41.3.2	Abscheidung von Quecksilber und Beseitigung von Dioxinen aus dem Rauchgasstrom von Abfallverbrennungsanlagen mit Adsorbern	627
41.3.3	Adsorber in Lackierstraßen der Automobilindustrie ...	628
41.3.4	Thermische oder katalytische Nachverbrennung	629
42	Biologische Abluftreinigung	633
42.1	Kriterien zur Anwendung der biologischen Abluftreinigung ..	635
42.1.1	Abzubauenende Substanzen	635
42.1.2	Mikrobiologische Voraussetzungen	636
42.2	Biowäscher	637
42.2.1	Tropfkörperverfahren	638
42.2.2	Belebtschlammverfahren	639
42.3	Biofilter	641
42.4	Biomembranverfahren	644
42.5	Analysemethoden	646
42.5.1	Geruchsmessung (Olfaktometrie)	646
42.5.2	Instrumentelle Abluftanalytik	649

43 Beseitigung von Altlasten – Bodensanierungs- verfahren	653
43.1 Einführende Bemerkungen	653
43.2 Überblick über die Verfahren zur Bodensanierung	654
43.3 In-situ-Verfahren	655
43.4 On-site- und Off-site-Verfahren	658
44 Verfahren zur Abfallbehandlung	661
44.1 Einführende Bemerkungen	661
44.2 Geordnete Deponien	662
44.3 Hausmüll- und Sonderabfallverbrennung	663
44.4 Thermische Abfallbehandlungsanlagen neuer Konzeption	665
45 Biologische Abfallbehandlung	669
45.1 Einführende Bemerkungen	669
45.2 Kompostierung von organischen Abfällen	670
45.3 Kompostqualität	672
45.4 Produktion von Biogas	672
Sachwortverzeichnis	675

Tabelle 7.3: Übersicht der Bauformen von Feststoffmischern (Fortsetzung)

Grundtypen von Feststoffmischern		Charakteristische Bauformen
Schwerkraft- und pneumatische Mischer ohne bewegte Mischwerkzeuge	Schwerkraftmischer	Mischsilos (ein- oder mehrstufig, Zellsilos); Silos mit Misch- und Teilrohren; Silos mit äußerer oder innerer Zirkulation
	Pneumatische Mischer	Wirbelschichtmischer Strahlmischer
mischende Lagerverfahren		geschichtete Mischhalden

■ 7.4 Rühren

Es werden hier nur Gemische von nicht hochviskosen NEWTONSchen oder nicht-NEWTONSchen Flüssigkeiten behandelt. Nach Tabelle 7.1 ist die den Aggregatzustand eines solchen Gemisches bestimmende Komponente die Flüssigkeit. Die andere Komponente, die zugemischt wird, kann eine in dieser Flüssigkeit gut lösliche oder auch schwer lösliche andere Flüssigkeit (Homogenisieren oder Emulgieren), ein körniger Feststoff (Suspendieren) oder gasförmig (Begasen von Flüssigkeiten) sein. Das Rühren erfolgt meistens mithilfe rotierender, seltener schwingend bewegter Rührwerkzeuge oder mit sog. statischen Rührern, die keine bewegten Bestandteile enthalten.

Die wichtigsten Aufgaben, die durch Rühren gelöst werden können, sind folgende [26, 27]:

- **Homogenisieren:** Vermischen und Vergleichmäßigen von ineinander löslichen Flüssigkeiten, Konzentrations- und Temperatenausgleich (z.B. Verdünnen konzentrierter Lösungen, Neutralisieren)
- **Suspendieren:** gleichmäßiges Verteilen, ggf. Lösen und In-Schweben-Halten von körnigen Stoffen (z.B. Lösen von Feststoffen, Kristallisieren, Auswaschen von körnigen Stoffen, Erzeugen einer Schwertrübe)
- **Emulgieren:** Dispergieren einer Flüssigkeit in einer anderen, d.h. Zerteilen und Feinverteilen von Tröpfchen einer Flüssigkeit in einer zweiten, in der sie nur schwer löslich ist (z.B. Emulsions-Polymerisation, Flüssig-Flüssig-Extraktion)
- **Begasen:** Dispergieren eines Gases in einer Flüssigkeit, d.h. Zerteilen des Gases in kleine Teilchen oder Blasen und ihr nachfolgendes Einbringen in die Flüssigkeit oder Suspension bzw. ihre dortige gleichmäßige Verteilung (z.B. Gas-Flüssig-Reaktionen, Absorption, aerobe

Fermentation, Sauerstoffeintrag bei der Abwasserreinigung, Flotation, Mammutpumpen)

- **Beschleunigung des Wärmeaustausches** zwischen der Flüssigkeit oder Suspension und der Wärmeübertragungsfläche (Heiz- oder Kühlfläche) (z. B. Abführen der Reaktionswärme, Beschleunigung von Reaktionen durch Erwärmen)

Oft sind mehrere grundlegende Rühraufgaben gleichzeitig in komplexer Weise zu erfüllen.

7.4.1 Rühren mit rotierenden Rührorganen

In Bild 7.6 ist der Aufbau eines Rührwerks gezeigt. Der Behälterboden ist meistens gewölbt, abgerundet, seltener halbkugelförmig oder flach.

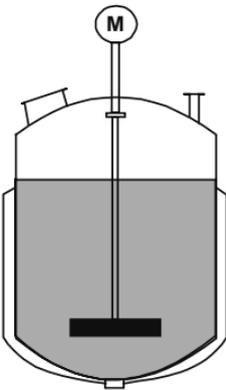


Bild 7.6:
Behälter mit Rührsystem

Bei zentrisch eingebauter Rührwelle und großen REYNOLDS-Zahlen (hohe Drehzahl, großer Rührerdurchmesser, kleine oder mittlere Viskosität) rotiert die ganze Flüssigkeit gleich einem Festkörper, sodass sich an ihrer Oberfläche eine trichterförmige Vertiefung (**Trombe**) ausbildet, der Mischeffekt geht zurück, beim Trichter tritt Luftansaugung und Schaumbildung auf und bei Suspensionen kommt es zu einer Trennung im Zentrifugalfeld. Diese Nachteile lassen sich mithilfe von Stromstörern oder durch den nicht zentrischen (exzentrischen) geneigten Einbau des Rührers vermeiden.

Die in der Praxis eingesetzten Rührorgane lassen sich in drei Gruppen einordnen. Man unterscheidet

- axialfördernde
- radialfördernde und
- tangentialfördernde Rührer.

Ausschlaggebend für die Bezeichnung des Rührertyps ist das in unmittelbarer Nähe des Rührorgans erzeugte Strömungsfeld, die Haupttrichtung der das rotierende Rührorgan verlassenden Flüssigkeitsströmung. Bild 7.7 zeigt charakteristische **axialfördernde Rührer**.

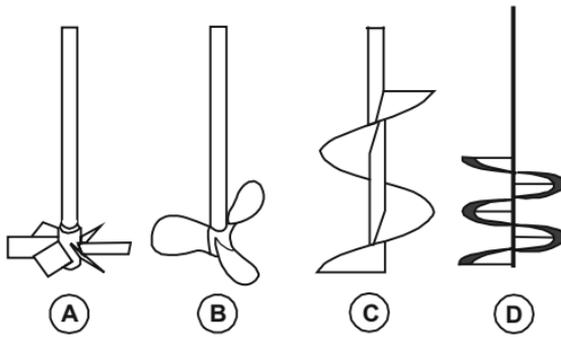


Bild 7.7: Axialfördernde Rührer: (A) Schrägblattrührer, (B) Propellerrührer, (C) Schraubenrührer und (D) Wendelrührer

Axialfördernde Propellerrührer werden in der Regel mit 2, 3 oder 6 Flügeln, die Schrägblattrührer mit 6 viereckigen, trapezförmigen oder besonders geformten Schaufeln versehen.

Die am häufigsten verwendeten Bauformen der **radialfördernden Rührer** sind der Scheibenrührer, der Radialschaufelrührer und der Impellerrührer (vgl. Bild 7.8).

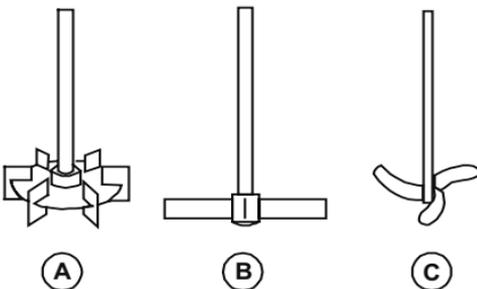


Bild 7.8: Radialfördernde Rührer: (A) Scheibenrührer, (B) Radialschaufelrührer, (C) Impellerrührer

An der Kreisscheibe des radialfördernden Scheibenrührers werden meistens 6 radial angeordnete ebene Rechteck-Blätter bzw. Turbinenschaufeln befestigt (in einseitiger oder zweiseitiger Bestückung). Die Scheibe wird mit mittlerer Drehzahl bzw. Umfangsgeschwindigkeit bewegt und bei niedriger oder mittlerer Viskosität angewandt, in der Regel bei Einbau von 4 Strombrechern.

Einige Bauformen der **tangentialfördernden Rührer** sind in Bild 7.9 dargestellt. Es sind Ankerrührer, Gitter- und Blattrührer. Letzterer kann als tangential-radialfördernd betrachtet werden.

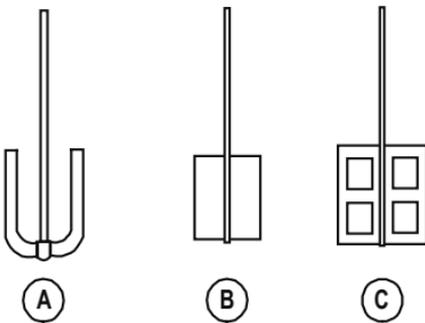


Bild 7.9: Tangentialfördernden Rührer: (A) Ankerrührer, (B) Blattrührer, (C) Gitterrührer

Der Ankerrührer ist ein langsamlaufender Rührer, hat in der Regel zwei Schaufeln (Ankerarme), die dicht an der Behälterwand bewegt werden; man setzt sie hauptsächlich zur Intensivierung des Wärmeaustausches ein. Auch der Gitterrührer und der Blattrührer sind langsamlaufend und werden mit und ohne Stromstörer gebaut.

Außer den aufgezählten Rührern gibt es zahlreiche andere Bauformen. Diese sind zum größten Teil rotierende Werkzeuge, doch werden auch in Axialrichtung schwingende (Vibrations-)Rührer verwendet, bei denen die Strömung in Tangentialrichtung vernachlässigt werden kann.

7.4.2 Leistungsbedarf des Rührers

Eine wichtige Aufgabe besteht in der Bestimmung der mit dem Rührorgan in die Flüssigkeit eingebrachten Rührenergie bzw. der benötigten Rührleistung.

Die Rührleistung P von rotierenden Rührern wird mithilfe von im Labor durchgeführten Modellversuchen und auf Grund der **Ähnlichkeitstheorie** – unter Berücksichtigung der Kriterien der geometrischen und physikalischen Ähnlichkeit – angegeben. Es lassen sich drei unabhängige Ähnlichkeitskriterien angeben:

$$Ne = \frac{P}{\rho n^3 d^5} \quad Re = \frac{nd^2 \rho}{\mu} \quad Fr = \frac{n^2 d}{g}$$

Die FROUDE-Zahl Fr kann man in den meisten Fällen vernachlässigen. Die Leistungskennzahl hängt dann nur von der REYNOLDS-Zahl ab ($Ne = f(Re)$) und lässt sich nur experimentell bestimmen (vgl. Bild 7.10).

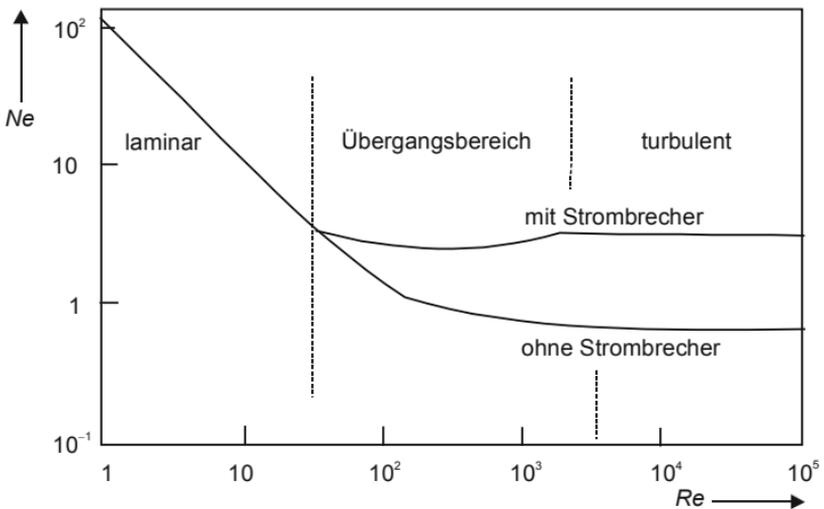


Bild 7.10: Leistungscharakteristik eines bestimmten Rührertyps mit und ohne Strombrecher

Entsprechend Bild 7.10 ist bei Re -Zahlen $< 10 - 60$ der Röhreffekt gering, das Rühren verläuft **laminar**. Der Leistungsbedarf ist bei laminarem Rühren und bei gegebenem Rührertyp, bei festgelegter Drehzahl n und Durchmesser d eine lineare Funktion der Viskosität μ und ist von der Dichte ρ unabhängig. Im **Übergangsbereich** wird bei gegebenem Rührertyp die Leistung auch von der Viskosität und von der Dichte beeinflusst. Im **turbulenten** Bereich, d. h. im NEWTON-Bereich der Rührer, ist

die Leistungskennzahl konstant. Im turbulenten Bereich kann bei konstantem n und d der Einfluss der Viskositätsänderung auf den Leistungsbedarf vernachlässigt werden, der Einfluss der Dichte ist linear.

7.4.3 Homogenisieren mit rotierenden Rührorganen

Beim Rühren stehen zum Nachweis der Tatsache, dass das verfahrenstechnische Ziel, d. h. die gewünschte Mischgüte, erreicht wurde, zwei Methoden zur Verfügung:

- **Schlieren-Methode:** Flüssigkeiten mit unterschiedlichem Brechungsindex werden so lange gerührt, bis keine Schlieren mehr festzustellen sind.
- **Entfärbemethode:** Durch das Hinzumischen einer anderen Flüssigkeit oder eventuell einer zusätzlichen Chemikalie wird das System entfärbt. Dies ist als Zeichen der entsprechenden Mischgüte anzusehen.

Die für das Erreichen einer gewünschten Mischgüte benötigte minimale Rührzeit ist eine wichtige Kenngröße der Homogenisierung.

7.4.4 Suspendieren

Um spezifisch schwerere Körner in einer Flüssigkeit ($\rho_s > \rho_l$) vom Boden des Rührerbehälters aufzuwirbeln und gegen die Schwerkraft in Schwebe zu halten, ist ein kontinuierlicher Energieeintrag, eine fortlaufende Betätigung des rotierenden Rührorgans notwendig.

- Bei **Drehzahlen** $< n_{\min}$ werden die Körner nicht bewegt.
- Bei **Drehzahlen** $n_{\min} < n < n_{s0}$ sind erste Kornbewegungen auf dem Rührerboden zu beobachten, ein Schwebezustand der Körner wird aber noch nicht erreicht.
- Bei Erreichen der **Drehzahl** $n = n_{s0}$ werden einzelne Körner in der Nähe der Bodenplatte in den Schwebezustand versetzt.

Bei der **Suspendierdrehzahl** $n = n_s$ werden die Körner aufgewirbelt und in Schwebe gehalten. Die Suspendierdrehzahl n_s wird unter Berücksichtigung folgender Kriterien bestimmt:

- Beim Aufwirbeln des Feststoffs soll erreicht werden, dass die einzelnen Körner höchstens eine Sekunde lang den Boden berühren (**1-s-Kriterium**).

- Die Körner sollen bis zu einer Höhe von 90% der Füllhöhe in Schwebelage gehalten werden (**90%-Schichthöhen-Kriterium**).
- Die Feststoffpartikel steigen bis an die Obergrenze der Flüssigkeitsschicht, sodass die feststofffreie, klare obere Flüssigkeitsschicht verschwindet.

Beim Suspendieren werden hauptsächlich axialfördernde Rührer verwendet. Die Rührbehälter haben meistens einen gewölbten Boden. Rührer mit ebenem Boden werden nur selten eingesetzt.

Eine kennzeichnende Größe beim Suspendieren ist die sog. **Sinkleistung** P_s , die sich als Produkt aus dem Gewicht der Partikel mit dem Gesamtvolumen in der Flüssigkeit und der behinderten Sinkgeschwindigkeit ergibt:

$$P_s = (\rho_s - \rho_f) g V_s v_{\text{oh}} \quad (7.6)$$

ρ_s Dichte Feststoff, ρ_f Dichte Flüssigkeit, g Fallbeschleunigung, V_s Gesamtvolumen, v_{oh} Sinkgeschwindigkeit

7.4.5 Emulgieren

Das Flüssig-Flüssig-Dispergieren, kurz Emulgieren, bedeutet die Herstellung eines Stoffsystems aus zwei ineinander schwer löslichen Flüssigkeiten, wobei die eine Flüssigkeit in Form kleiner Tröpfchen in der anderen verteilt ist. Wenn keine Turbulenz vorhanden oder nicht ausreichend stark ist, werden die beiden Flüssigkeiten durch eine Phasengrenze voneinander getrennt und sie schichten sich übereinander. Bei ausreichend starker Turbulenz, d.h. bei ausreichend hoher Rührerdrehzahl, treten entlang der Phasengrenze der Flüssigkeiten infolge großer lokaler Geschwindigkeitsunterschiede große Scherkräfte auf und eine der Flüssigkeitsphasen wird in einzelne Tropfen zerteilt. Das verfahrenstechnische Ziel beim Emulgieren ist gerade die Erzeugung von Tropfen mit einer großen spezifischen Oberfläche.

Der geeignete Rührertyp ist ein **schnelllaufender radialfördernder Rührer** mit scharfen Kanten und Ecken (Scheibenrührer) und ein mit Strombrechern versehener Rührbehälter. Bei Flüssigkeiten kleiner oder mittlerer Viskosität werden auch statische Rührer (Düsen) zum Emulgieren verwendet.

7.4.6 Begasen

Das Dispergieren von Gas in einer Flüssigkeit oder kurz Begasen bedeutet die Lösung von drei Teilaufgaben:

- Einbringen des Gases in die Flüssigkeit
- Zerteilung in Blasen
- Verteilung auf das Gesamtvolumen

Das verfahrenstechnische Ziel besteht in der **Schaffung von Phasengrenzflächen** zum Stoffaustausch zwischen den einzelnen Phasen (Chlorierung, Hydrierung, Oxidation) oder im **vertikalen Transport von Flüssigkeit** in Form eines Gemisches Flüssigkeit-Gas (Mammutpumpe) oder im Aufschwimmen von Feststoffpartikeln, die sich an die Bläschen anlagern (Flotation). Neben der Beschreibung der mit rotierenden Rührern arbeitenden Verfahren sei hier aus der zweiten Gruppe die einfachste Begasungseinrichtung erwähnt, bei der das Gas unter Hochdruck durch ein über den ganzen Behälterquerschnitt eingebautes Lochblech oder durch einen Siebboden eingeführt wird und keine weitere Rührereinrichtung zur Verteilung der Gasblasen verwendet wird.

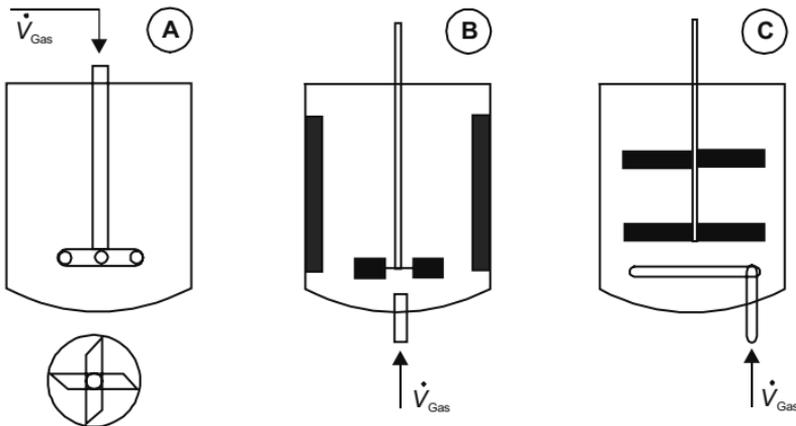


Bild 7.11: Begasungsrührer: (A) Hohlrührer, (B) Scheibenrührer, (C) Kreuzbalkenrührer

Bei Begasungsrührern erfolgt der Gaseintrag über in der Nähe des Behälterbodens eingebaute Düsen oder ringförmige perforierte Rohre mit

Überdruck oder auch über einen rotierenden Hohlrührer, bei dem das Gas durch die hohle Achse angesaugt wird (vgl. Bild 7.11). Letzterer ist einfach, aber wegen der geringen geförderten Gasmenge nur begrenzt anwendbar.

■ 7.5 Statisches Mischen von Flüssigkeiten

Statische Mischer, die keine bewegten Bestandteile enthalten, werden vom zu vermischenden Material durchströmt. Die dazu erforderliche Strömungsenergie bzw. die benötigte Druckdifferenz muss dem Mischgut übertragen werden. Der Mischer ist meistens ein Rohrabschnitt, in den zur Erreichung einer Mischwirkung Aufprall- oder Umlenkelemente eingebaut werden. Man unterscheidet turbulent und laminar durchströmte statische Mischer.

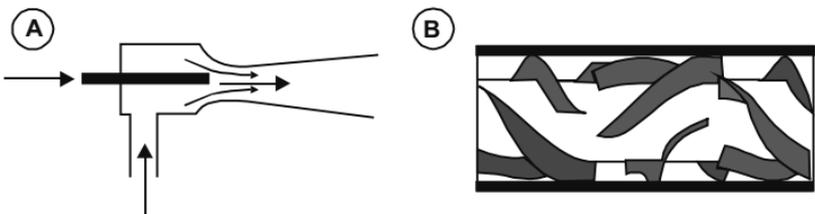


Bild 7.12: (A) Injektor-Mischer, (B) Statischer Turbulenzmischer mit Einbauten

Bei statischen Turbulenzmischern wird die Turbulenz in Strahlmischern, Injektoren oder in Mischkammern erzeugt oder aber durch den Einbau von Umlenkelementen (vgl. Bild 7.12) erreicht. Bei statischen Laminarmischern werden Gutströme durch Einbauten geteilt, gegeneinander verschoben und wieder vereinigt. Diese Mischer wurden hauptsächlich zum Vermischen hochviskoser Stoffe konzipiert, doch werden sie auch bei niedrigeren Viskositäten verwendet.

8

Mechanische Trennprozesse

■ 8.1 Kennzeichnung der Trennprozesse

Die mechanischen Trennprozesse (Begriffsdefinitionen nach [31]) lassen sich in vier verschiedene Arten gliedern:

- **Klassierprozesse** dienen zur Trennung fester Teilchenkollektive nach Feinheitsmerkmalen wie Korngröße oder Sinkgeschwindigkeit.
- **Sortierprozesse** führen zur Trennung fester Teilchenkollektive nach Partikeleigenschaften wie Dichte, Farbe, Form oder Zusammensetzung.
- **Fest-Flüssig-Trennverfahren** dienen zur Abtrennung disperser fester Partikeln aus einer flüssigen Phase.
- **Fest-Gasförmig-Trennverfahren** leisten eine Abtrennung disperser fester Partikeln (Staub) aus Gasen.

Bei **Klassierungen** wird das **Aufgabegut** als Teilchenkollektiv einem Klassierapparat zugeführt, der es in zwei oder mehr Teilmengen (**Fraktionen**) zerlegt. Bei Zweiguttrennungen unterscheidet man **Grobgut** und **Feingut**. Ihre jeweiligen Anteile bezogen auf das Aufgabegut, **Grobgutanteil** g und **Feingutanteil** f , addieren sich stets zu 1.

Im Idealfall wird so getrennt, dass sich die Verteilungsdichtekurven von Grob- und Feingut nicht überschneiden, d. h. die Verteilungsdichtekurve des Aufgabegutes durch einen senkrechten Schnitt in zwei Flächen geteilt wird (Bild 8.1A).

Bei einer **idealen Teilung** wird dagegen ein Aufgabegut so zerlegt, dass die betrachteten Merkmale (z. B. Feinheit) in beiden Teilmengen gleich und gleich denen der Ausgangsmenge sind (Bild 8.1B)

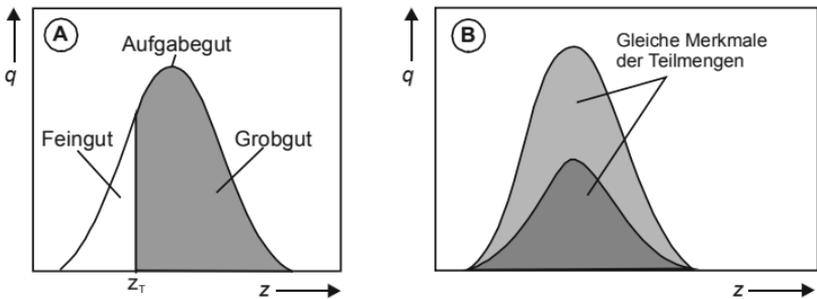


Bild 8.1: Verteilungsdichtekurven für ideale Trennung (A) und ideale Teilung (B)

Bei **Sortierprozessen** verwendet man abhängig von der Partikeleigenschaft andere Bezeichnungen für die sich ergebenden Teilmengen, z. B. bei **Dichtesortierern Leichtgut** und **Schwergut**.

Bei einer **realen Trennung** überschneiden sich dagegen die Verteilungsdichtekurven von Fein- und Grobgut. Je nach Güte des Trennapparats ist die Überschneidung mehr oder weniger groß. Zur Kennzeichnung von Zweigut-Klassierprozessen werden die Verteilungsdichtekurven von Aufgabegut, Grob- und Feingut meist in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt (vgl. Bild 8.2). Man gewichtet dann die Verteilungsdichten des Grobguts q_G und des Feinguts q_F mithilfe ihrer Mengenanteile g und f , sodass sich die aufgespannten Flächen der Grobguts- und Feingutskurve zur Aufgabegutkurve $q_A(z)$ addieren. Für jeden Wert des Feinheitsmerkmals z gilt dann:

$$q_A(z) = g q_G(z) + f q_F(z) \quad (8.1)$$

Beim Wert z_T schneiden sich die Verteilungsdichten des Grob- und Feinguts genau bei 50 % der Aufgabegutkurve, daher wird auch die Bezeichnung z_{50} verwendet. Man bezeichnet diesen Wert des Feinheitsmerkmals als **Median-Trenngrenze** oder **präparative Trenngrenze**. Ist das Feinheitsmerkmal ein Teilchendurchmesser, so ergibt sich der bekannte Ausdruck **Trennkorndurchmesser** d_T oder auch d_{50} .

Sachwortverzeichnis

Symbole

- 2-Keto-3-desoxy-6-phosphogluconat-Weg 443
- 6-Phosphogluconat 445

A

- Abbaubilanz 447
- Abbaurate 641
- Abfallbehandlung
 - biologische 669
- Abfallrecht 661
- Abfallsäure 530
- Abfallvermeidung 661
- Abfallverwertung 661
- Abfallwärme 209
- Abkühl-Phase 505
- Abluftanalytik 649
- Abluftinhalstoffe 649 f.
- Abluftreinigung
 - biologische 633, 635
 - Einsatzmöglichkeiten 636
 - katalytische 629
 - Kriterien 635
- Abluftreinigungsverfahren 633 f.
- Abscheidegrad 107
- Abscheiden von Quecksilber 622
- Abscheideprinzip
 - Gewebefilter 621
- absetzbare Stoffe 599
- Absetzbecken 641
- Absorption 224, 251, 258, 664
- Absorptionsgleichgewicht 226
- Absorptionskolonne 232, 624
- Absorptionsschritt 635
- Absorptionsverfahren
 - nicht regenerative 624
- Absterbegeschwindigkeitskonstante 503, 507
- Absterbephase 476
- Abtötung durch Hitzeinwirkung 503
- Abtötungsbedingungen 502
- Abtötungskurven 504
- Abtötungsrate 503
- Abtriebsgerade 204 f., 210
- Abtriebsgeraden 268
- Abtriebssäule 199, 203
- Abwärme 614
- Abwasser
 - Fortleitung von 595
- Abwasserarten 595
- Abwasserbehandlung 487, 604
- Abwasserinhalstoffe 596
- Abwasserkläranlage 404
- Abwasserparameter 599
- Abwasserreinigung 501, 633, 638
- Abwassertechnik 490
- Abwasserteiche 615
- Abweiseradsichter 111
- Acetobacter* 425, 463
- Acetyl-CoA 446
- acidophil 463
- Adaption 473
- Adaptionsphase 636
- Adenin 410
- Adenosintriphosphat 440
- adiabatische Temperaturdifferenz 386
- adiabatischer Betrieb 384, 387, 390
- Adsorbieren 241 ff.
- Adsorber 622, 657
 - Bauarten von 250
- Adsorption 238, 240, 572, 622, 664
- Adsorptionsgleichgewichtskurven 239
- Adsorptionsisothermen verschiedener Stoffe 240
- Adsorptionsrad 250, 628 f.
- Adsorptionsverlauf im Festbettadsorber 247
- Ähnlichkeitstheorie 98
- aerobe Zonen 612
- aerobe Atmung 450
- aerober Vorgang 609
- Aerobier 442
- Agar 461
- Agglomeratbildung 124
- Agglomerate 573
- Agglomerieren 122
- Airlift-Reaktor 490 f., 574
- Aktinomyceten 428, 463, 576
- Aktivkohle 243, 322, 655
- Aktivkoks 243, 628
- Aktivtonerde 243
- akut-toxisch 597
- Algenpilz 432
- alkaliphil 463
- Alkohol-Gärung 455
- Alkylierung 556
- Alterung der pH-Elektrode 521
- Altlasten 661
- Aminoglykosid-Antibiotika 578
- Ammoniumoxidierer 608
- Amphotericin B 579
- Amplitude 109
- Anabolismus 437, 441
- anaerobe Atmung 450
- anaerobe Fermentation 673
- anaerobe Verfahren 672
- Anaerobier 442
 - obligate 453
- Analysemethoden 646, 649
- Analyseprobe 55
- Analysesichtung 61
- Analysesiebung 60
- anaplerotische Sequenzen 439
- Anatas 537, 539
- Ankerrührer 97
- Anlaufphase 472
- anoxische Zone 612
- Anschmelzagglomeration 122
- Ansprechzeit 521, 524
- Antibiotika 404, 576, 579

- Antischaummittel 519
 Anzucht von Impfmateriel 485
 AOX 598
 Äquivalent-Reaktionsgeschwindigkeit 304
 Äquivalentdurchmesser 47
 Arbeitsgerade 205, 212, 268
 Arbeitsgeraden für den Desorptionsprozess 234
 Arbeitsmarktsituation 22, 33
 Arbeitsplatzprofile 30
 Archaeobakterien 430
 Archimedes-Schneckenpumpe 601
 arithmetisches Mittel 88
 Armerze 584, 591
 Arrhenius-Gleichung 312, 314, 379, 387, 392, 508
Ascomycetes 431
Aspergillus 433, 577
Aspergillus niger 434, 568 f., 571
Aspergillus oryzae 435
Aspergillus-Arten 569 f., 581
 Atmung
 – aerobe 450
 Atmungskette 439, 448
 Atmungsprozesse 443
 ATP 447, 450
 ATP-Hydrolyse 441
 Aufarbeitung 572
 Aufbauagglomeration 122, 126
 Aufheiz-Phase 505
 Auflagerspannung 79
 Aufsalzung 606
 Aufschluss 113
 Aufstromklassierern 112
 Auftreffhäufigkeit 108
 Ausbeute 299, 475, 572
 Auslaugung 283
 Auslaugverfahren 659
 Auslegung
 – wärmetechnische 383
 Auspressen 116, 118
 Austraghilfen 80
 autokatalytischen Reaktionen 362
 Autoklav 502, 505, 512
 Autotrophie 441
 axiale Strömung 495
 axialfördernde Rührer 96
 Azeotropbildung 278
 azeotrope Destillation 196
 azeotropes Gemisch 195

Azospirillum brasilense 425
Azospirillum lipoferum 425

B
 Bachelor 34 f.
 Bachelor-Absolventen 39
Bacillus brevis 435
Bacillus cereus 584
Bacillus megaterium 417, 584
Bacillus polymyxa 435
Bacillus stearothermophilus 462, 507 ff.
Bacillus subtilis 434
 Backenbrecher 141 f.
 Bacteriostatica 404
 Bakterien
 – chemolithotrophe 429
 – coliforme 426
 – Grundformen 408
 – halophile 430
 – heterotrophe 609
 – lithotrophe 609
 – methanogene 430
 – thermoacidophile 430
 Bakterienchromosom 407, 409
 Bakterizide 404
 Bandextraktionsanlage 284
 Bandrockner 255
Basidomycetes 433
 batch culture 469
 Batch-Kultur 478
 Batch-Sterilisation 505
 Batch-Verfahren 580
 Bausteine 437
 Begasen 94, 101
 Begeißelung 417
 Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten 580
 Beladungsdiagramm 260, 264, 268
 Belagschwinger 109
 Belastungsgrenze 273
 Belebtschlammbecken 639
 Belebtschlammverfahren 639, 641
 Belebungsbecken 607, 609, 640
 Berechnung von Packungskolonnen 222
 Berechnungsgrundlage für Sterilisationszeit 507 f.
 Berufschancen 24

 Beschäftigungsfelder 28
 Beschäftigungsfähigkeit 40 f.
 Beseitigung von Dioxinen 622
 Bestimmung der Frisch- und Trockenmasse 468
 Bestimmung der Zusammensetzung 596
 Bestimmung des Proteingehalts 468
 Bestimmung essenzieller Elemente 468
 Betriebskosten 496
 Betriebspunkt
 – autotherm 382
 Bettfilter 511
 Bettreaktoren 487
 Beurteilungskriterien 596
 Bewegungsorganell 417
 Bierbrauen 400
Bifidobacterium 428, 456
 Bilanzraum 301
 Bildanalyseverfahren 56
 Bildungssystem 39
 Binodalkurve 260
 Bioabfall 670
 Bioakkumulation 597
 Biobergbau 584
 Biochemie 423
 Biofilm 641
 Biofilter 633, 641
 Biofilterverfahren
 – schematisch 642
 Biogasanlage 661, 674
 biologische Abfallbehandlung 669
 biologische Abluftreinigung 633, 635
 biologische Abwasserbehandlung 605
 biologische Abwasserreinigung 639
 biologische Phosphatelimination 607
 biologische Sensoren 526
 biologische Verfahren 658
 biologischer Rasen 638
 biologischer Sauerstoffbedarf 598
 Biomassenbilanz 477
 Biomembranreaktor 645
 Biomembranverfahren 644
 Bioreaktoren 483
 Bioreaktorsysteme 477
 Biosensoren 526

Biotechnologie 29
 Bioverfahrenstechnik 28
 Biowäscher 633, 637
 bipolar 417
 Bischoff-Verfahren 623
 Blähmittel 562
 Blasen 46
 Blasendestillation 192
 Blasensäule 236, 395, 490
 Blasensäulen-Reaktor 490
 Blasensäulenreaktor 396
 Blattrührer 97
 Blockheizkraftwerk 663
 Blockschaumstoff 566
 Boden 214
 – schadstofffreier 653
 Bodenabstand 218
 Bodenanzahl 218
 Bodenkolonnen 214, 216, 218,
 236, 640
 Bodenkonstruktionen 158
 Bodenschutzgesetz 653
 Bodenwirkungsgrad 201, 216,
 272
 Bodenzahl
 – praktische 272
 Bologna-Beschluss 34
 Bond-Zerkleinerungsgesetz
 135
 Böschungswinkel 75
 Brechen 131
 Brecherarten 142
 Breitbandantibiotika 579
 Brennstoff-Stickoxid 625
 Brenztraubensäure 438
Brevibacterium linens 428
 Bruchbildung 132
 Bruchspannung 132
 Brückenbildung 79
 Brüden 167ff.
 Brüdenverdichtung 169
 BSB 598
 BSB₅-Werte 663
 Bunker 75
 Bunsen-Absorptions-
 koeffizient 227
 Bypass 520

C

C/N-Verhältnis 671
Canda lipolytica 574
Candida guilliermondii 569
Candida lipolytica 574

Candida utilis 434
 Carbonat-Atmung 450
 Cephalosporin 577ff.
Cephalosporium 577
 chancenmaximierend 24
 Charakterisierungsgrößen
 516
 Chemiereaktoren 394
 chemischer Sauerstoffbedarf
 598
 Chemisorption 225
 chemoorganoheterotroph 431
 Chemostat 476, 479
 chemotherapeutisch 579
 Chemotrophie 442
 Chlamydien 426
 Chloridverfahren 536, 539
 Chloroplasten 406, 418, 420
 Chlortetracyclin 578
 chronisch-toxisch 597
Chytridiomycetes 432
Citromyces pfefferianus 569
 Citronensäure 568
 Citronensäure-Cyclus 447f.
 Clark-Prinzip 522
Clostridien 454
Clostridium acetobutylicum
 403, 434
Clostridium botulinum 427
Clostridium tetani 427
 Coenzym 407
 Coenzym A 447
 Coking 549
Corynebacterium 428, 569,
 574
Corynebakterium glutamicum
 428
 Coulter-Counter 466
 Cracking
 – katalytisches 550
 – thermisches 548
 Cracking-Verfahren 547
 credit points 35
 CSB 598
 CSB-Belastung 674
 CSTR 337
 Cyclisierung 550
 Cytoplasma 406, 412, 419, 447
 Cytoplasmamembran 406,
 413
 Cytosin 410

D

DALTONSches Gesetz 161, 184,
 186, 229, 239, 241
 Damköhler 293
 Dampfdruck 163
 Dampfdruckkurven 164, 184,
 197
 Dampfgeschwindigkeit 216
 Dampfinjektion 509f.
 Dampfstertilisator 502
 DANIELLI-Modell 412
 Darmbakterien 418
 Deep Shaft Reactor 491f.
 Degussa-Verfahren 656
 Dehydrierung 553
 Dehydrogenierung 447, 453
 Dekantierzentrifuge 614
 Denaturierungsgeschwindig-
 keit 508
 Denitrifikation 451, 609, 612
 DENOX-Anlage 627
 Deponieaufbau 662
 Deponieflächen 662
 Deponiegas 662
 Deponien
 – geordnete 662
 Desinfektion 485
 Desorption 226
 Desorptionsvorgang 244
 Desoxyribonucleinsäure 409
 Desoxyribose 411
 Destillation 184
 – extraktive 195
 Destillationsvorgang 192
Desulfococcus 426
Desulfomonas 426
Desulfovibrio 426
Deuteromycetes 433
 Dichtesortierer 104
 Dienstleistungsgesellschaft 31
 differenzielle Methode 311
 Diffusion 318, 498
 – instationäre 325
 Diffusionsbarriere 412
 Diffusionsbatterie 280
 Diffusionskoeffizient 280, 318
 Diffusionsvorgang 280
 Dihydroxyacetonphosphat
 444
 Diisocyanate 559
 Dimensionierung 214, 231
 Diplomstudiengang 34
 direkte Laugung 585

- Direktinleiter 596
 diskontinuierliche Kultur 469
 diskontinuierliche Rektifikation 212
 diskontinuierlicher Betrieb 334 f.
 disperse Systeme 46
 Dispersitätszustand 130
 DNA-Chromosomen 409
 DNA-Replikation 411
 DNA-Sequenzen 411
 DNA-Verdopplung 409 f.
 Doppelkontaktverfahren 534
 Dosiermaschine 563
 Drehfilter 574
 Drehrohfen 664
 Drehzahl-Messung 518
 Dreiwalzenmühle 150
 Druck
 – kritischer 285
 – osmotischer 414, 570
 Druck 518
 Druck-Messung 518
 Druckdiagramm für das ideale Zweistoffgemisch 186
 Druckfestigkeit 79
 Druckfilter 119
 Druckspannung 73
 Druckverlust 217 f.
 Druckverlustdiagramm 220 f.
 Dünnschichtverdampfer 165, 193
 Düsenboden 214
 Durchbruchbelastung 246
 Durchgangssumme 49
 Durchgangssummenkurve 50
 Durchgangssummenverteilung 136
 Durchlauferfahren 281
 Durchsatz 295
 Durchströmungsverfahren 33
 Durchtrittswahrscheinlichkeit 108
 dynamische Methode 499
 dynamische Verfahren 671
- E**
- ebullioskopische Konstante 163
 ECTS 36
 Einbauten 214
 Eindicken 115
 Einsatzgebiet Elektrofilter 621
 Einsatzgebiet Gewebefilter 621
 Einsatzmöglichkeiten
 – berufliche 23
 – branchenübergreifende 27
 Einschlussverfahren 655
 Einstabmesskette 520
 Eintauchverfahren 281
 Einwalzen-Prallbrecher 144
 Einzelkornzerkleinerung
 – Beanspruchungsarten 133
 Einzelpartikelzähler
 – optisch 57
 Einzelproben 55
 Einzelsubstanzen 599
 Eisen-Atmung 451
 Elastomere 564
 Elektrofilter
 – Einsatzgebiet 620
 Elektronenakzeptor 450, 453
 Elektronendonator 442, 453, 610, 612
 Elektronentransport 414
 Elektronentransportkette 449 f.
 elektrostatische Kräfte 65
 Embden-Meyerhof-Parnas-Weg 443 f., 455
 Emissionsüberwachung 646
 empirische Streuung 89
 Emulgieren 94, 100
 End-of-the-pipe-Technik 28, 661
 Endocytose 420
 Endosymbionten 427
 Energieeintrag durch Flüssigkeitspumpen 492
 Energieeintrag mit Rührorganen 494
 Energieumwandlung 436
Enterobacter aerogenes 426
Enterobacteriaceen 473
 Entfärbemethode 99
 Entgasungseinrichtung 663
 Entmischung
 – vollständige 90
 Entner-Doudoroff-Weg 445 f.
 Entparaffinierung 172, 545
 Entsorgungskonzepte 665
 Entsorgungstechniken 661
 Entsorgungswirtschaft 665
 Entspannungsverdampfen 166 f.
 Entstaubung 664
- Entwässern 115
 Enzymaktivität 469, 473, 571
 Enzymelektrode 527
 Enzymkonzentration 473
 Erdölaufbereitung 541
 Erdöldestillation 542 f.
 Erdölfractionen 542
 Ergänzungsstoffe 459
 Ernährungstypen 441
 Ertrag 475
 Ertragskoeffizient 475, 480
 Erzeugniskonzentration 212
 Erzeugnisprodukt 212
 Erzvorkommen 532
Escherichia coli 426, 438, 443, 452, 462, 503
 essenzielle Elemente 468
 Essig-Generator 488
 Essig-Herstellung 486
 Essigsäurebakterien 401
 Etagenfilter 644
 Eubakterien 577
 Eukaryoten 411, 418, 447
 Eumyceta 431
 Eumycota 432
 Eutrophierung 597, 605
 Exocytose 420
 exotherme Reaktionen 362
 exponentielle Phase 473, 479
 exponentiellem Wachstum 469
 exponentielles Wachstum 469
 externe Faktoren 473
 externe Regulation 474
 Extinktionszähler 57
 Extraktion
 – Fest-Flüssig- 279
 Extraktion 289
 Extraktion mit überkritischem Toluol 289
 Extraktionsbatterie 283
 Extraktionsmittel 279, 286
 – kritische Daten 286
 Extraktionsverfahren 659
 Extraktionszeit 280
- F**
- Fachgebiet
 – interdisziplinäres 23
 Fachhochschule 34
 FAD 448
 FADH₂ 447 f.
 Fähigkeiten
 – kommunikative 25

- Faktoren
 – externe 473
 fakultativ anaerob 452
 Fallfilmbiosorber 236
 Fallfilmverdampfer 165, 170
 Faultürme 614
 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ -Cyclus 586
 Fehlkorn 105
 Feingut 103
 Feinheit disperser Elemente 47
 Feinheitsmerkmal 47
 Feinrechen 601
 Feinvermischen 83
 Feldstörungsverfahren 59
 Feret-Durchmesser 55
 Fermentation
 – anaerobe 673
 – nasse 674
 Fest-Flüssig-Trennverfahren 103
 Fest-Gasförmig-Trennverfahren 103
 Festbettadsorber 244 f., 249
 Festbettreaktor 364, 396, 487 f., 555, 641
 Festkörperbrücken 124, 127
 Feststoffextraktion 258, 281
 Feststoffmischer
 – Bauformen 93
 Feststoffmischverfahren 29
 Feuchtegehalt 242
 Ficksches
 – 1. Gesetz 318
 – 2. Gesetz 327
 Filmdiffusionsgebiet 323
 Filmmodell 324
 Filterapparate 119
 Filtermaterial 641, 643
 Filterzentrifugen 119
 Filtration 117
 Fimbrien 418
 Fischtest 598
 Flächenfilter 644
 Flachbett-Reaktoren 396
 Flagell 417
 Flagellatenpilze 432
 Fliehkraft-Gegenstromsichter 111
 Fließbetrieb 297
 Fließbett 126
 Fließbettagglomeration 126
 Fließbettreaktor 487
 Fließgleichgewicht 476, 481
 Fließborte 81
 Fließzustand 77
 Flotationsvorgänge 656
 Fluid-Feststoff-Reaktoren 396
 Fluid-Fluid-Reaktoren 395
 Flüssigkeitsbrücken 64, 124
 Flüssigkeitshülle 124
 Flüssigkeitspumpe
 – Energieeintrag 492
 Flutgrenze 219 f.
 Folgereaktionen 328, 331
 Förderbohrungen 594
 Formfaktor 48
 Formwerkzeug 563
 Forschungsaufgaben 24
 Fotosedimentometer 62
 Fraktion 49
 Freistrahlnreaktor 493
 Frischmasse
 – Bestimmung der 468
 Fructose 570
 Fructose-1,6-bisphosphat 443
 Füllkörper 158, 214, 219, 222, 235, 638
 Füllkörperneinbauten 639
 Füllkörperkolonne
 – pulsierte 277
 Füllkörperschüttung 201
 Füllstoffe 563
 Fumarat-Atmung 450 f.
 Fungi imperfecti 577
 Fungistatica 404
 Fusobacterium 426
- G**
- galvanische Verfahren 522
 Gärkammern 572
 Gärprozesse 443
 Gärungen 453
 Gärungsstoffwechsel 455
 Gas-Flüssig-Extraktionsverfahren 258
 Gasadsorptionsverfahren 63
 Gasaufbereitungstechnik 238
 Gasaustausch 497
 Gasbelastungsfaktor 217, 220
 Gaserfassung 662
 Gasstrom-Reinigung 667
 Gaswäsche 639
 Gefriertrocknung 254
 Gegenstrahlmühle 153
 Gegenstrom 160, 265
 Gegenstromextraktion 583
 Gegenstromfahrweise 168, 267
 Geißel 417
 Gelatine 461
 Gemische
 – explosive 674
 Gemische mit Siedepunktsmaximum 191
 Gemische mit Siedepunktsminimum 190
 Generationszeit 464, 470, 472
 Generatorverfahren 487
 Gentamycin 578
 Gentechnik 405
 Geruchsbelastung 633, 648
 Geruchseinheit 647
 Geruchsintensität 647
 Geruchskonzentration 647
 Geruchsmessung 646, 649
 Geruchstoffe 633
 Geruchswirkung 647
 Gesamtzahl 465
 Geschwindigkeitsgesetz
 – 1. Ordnung 471
 Geschwindigkeitsgesetz 304
 Geschwindigkeitskonstante 304
 Gesetz von der Erhaltung der Masse 296
 Gewässergüte 599
 Gewebefilter 621
 Gewinnung von Kupfer 594
 Gewinnung von Metallen 591
 Gewinnung von Uran 594
 Giftstoffe 597
 Gilliland-Diagramm 208 f.
 Gitterrührer 97
 Glaskontaktthermometer 157
 Gleichgewichtsapparaturen 184
 Gleichgewichtsbelastung 247
 Gleichgewichtsdiagramm 187, 191, 201
 Gleichgewichtskurve im Beladungsdiagramm 233
 Gleichstrom 160
 Gleichstromfahrweise 167
 Glockenboden 214 ff.
 Gluconsäure 574
 Glucose 443, 570
 Glucose als C-Quelle 582
 Glucose-6-phosphat 443
 Glucoseabbau 440, 449

Glycerinaldehyd-3-phosphat 444
 Glykolyse 443, 570
 Golgi-Apparat 420
 Gram-Färbung 414
 Gramicidin 578
 Grenzfilm
 – laminarer 319
 Grobgut 103
 Grobrechen 601
 Grobvermischen 83
 Grundgesamtheit 54
 Grundoperationen 22, 44, 161
 Grundwassergefährdung 594
 Gruppenparameter 598
 Guanin 410

H

Haemophilus influenza 426
 Haftkräfte 64
 Halbhartschaumstoffe 563
 halbkontinuierlicher Betrieb 334
 halbtrockene Verfahren 623
 Halbwertszeit 307
 Haldenlaugung 591, 593
 Hammerbrecher 143
 Hammermühle 151
 Hartschaumstoffe 564
 Hartzerkleinern 130
 Haufenlaugung 593
 Hauptelemente 459
 Hauptrotte 671
 Heatless-Prinzip 246
 Heißdampfverbrauch 166
 Heizregister 169
 Heißhaltezone 509
 Heißschaumverfahren 566
 Henrysche Gerade 227, 232
 Henryscher Absorptionskoeffizient 227
 Henrysches Gesetz 229, 240, 325
 Herdofenkoksadsorber 664
 Herdofenkoksanlage 627
 heterogen 158
 heterotrophe Bakterien 609
 Heterotrophie 441
 High-Dust-Variante 627
 Hilfsstoffe 562
 Hochbioreaktor 237
 Hochdruckextraktion 258, 285, 287

Hochdruckmaschinen 565
 Hochdruckverfahren 564
 Hochdruckwäsche 660
 Hochfrequenztrocknung 254
 Hochleistungsextraktor 276
 Hochschule
 – wissenschaftliche 34
 Höherqualifizierungseffekt 30
 Hohlfasermembran-Bündel 489
 Hohlraumanteil 73
 Hohlrührer 102
 homogen 158
 homogene Keimbildung 177
 Homogenisieren 94, 99
 Hordenreaktor 396
 Horizontallastverhältnis 75
 Horizontalstromklassierer 112
 HTU-Wert 219, 221
 hydraulische Verfahren 655
 Hydrierung 554
 Hydrocracking 551
 Hydrofining 554
 Hydrolyse 673
 Hydrotreating 554
 Hydrozyklon 112
 hygroskopisch 251
 hyperthermophil 463

I

ICI-Reaktor 491
 ideales Zweistoffgemisch 184
 Ilmenit 536 f.
 Immissionschutz 27
 Immissionsüberwachung 646
 Impellerrührer 96
 Impfgutzanzucht 581
 Impfkristalle 176
 Impfmateriale-Anzucht 485
 Impulsmarkierung 366
 Indirekteinleiter 596
 Industrierückstände 591
 Ingenieurausbildung
 – Reform der 38
 Ingenieurdienstleistungen
 – freiberufliche 31
 Inhomogenitäten im Reaktor 524
 Injektionsbohrung 594
 Injektor-Mischer 102
 in situ 520
 In-situ-Laugung 593
 In-situ-Messungen 516

In-situ-Verfahren 654
 Integralschaumstoffe 563
 Integrationsmethode 306
 Intermediärprodukte 572
 Intermediärstoffwechsel 437, 446
 Internationalisierung 38
 interne Regulation 474
 ionenselektive Elektroden 525
 Isocyanate 558
 Isomerisierung 553, 555
 Isotherme nach Freundlich 239
 isothermer Betrieb 389

J

Jenike-Schergerät 81
 Jochpilze 433

K

Kalkstein-Suspension 623
 kalorischer Faktor 205 f.
 Kaltschaumverfahren 566
 Kanalbildung im Festbett 487
 Kapillarbereich 124
 Kapsel 416
 Karriere
 – lineare 41
 Kaskade 353
 Kaskadenberechnung 349
 Kaskadenboden 214
 Kaskadenmodell 376
 Katabolismus 437 f., 636
 Katalysatoren 316, 562
 Katalysatorgift
 – Entfernung 555
 Katalysatorgifte 630 f.
 Katalyse
 – heterogene 316, 321
 – homogene 316 f.
 katalytische Nachverbrennung 622, 629, 657
 katalytische Nachverbrennungsanlage 629
 katalytisches Cracking 550
 Kennzeichnung der Trennprozesse 103
 Kern 409
 Kernfluss 77
 Kernmembran 420
 Kesselzahl
 – Berechnung 350

- Kettenverlängerer 562
 Kick-Zerkleinerungsgesetz 135
 Kieselgel 243, 322
 kinetisches Gebiet 323
 kinetisches Konzept 271
 Klären 115
 Klassieren 107
 Klassiersiebung 108
 Klon 423
 KLa-Wert 518
 Koeffizienten nach Bond 136
 Kohle-Öl-Anlage 666
 Kohlenhydrate 570
 Kohlenstoffdioxid-Elektrode 525
 Koloniezahl 467
 Kolonne
 – gepulste 276
 – gerührt 275
 – statische 274
 Kolonnenhöhe 217
 Kommunikationstechnologie 31
 Kompaktfilter 644
 Kompartimente 419, 421
 komplexe Nährmedien 571
 Komplexierungsmittel 568
 Kompost 642, 670
 Kompostanlage 661
 Kompostiervorgang 670
 Kompostqualität 672
 Kompostwerk 671
 Kompressionszone 70
 Kondensator 199
 konjugierte Phasen 260
 Konode 260
 Kontaktkristallisator 181 f.
 Kontaktrocknung 253
 Kontaktverfahren 533
 Kontamination 501, 571
 kontinuierliche Kultur 476
 kontinuierliche Phase 46
 kontinuierliche Rektifikation 199
 kontinuierliche Sterilisation 508
 kontinuierlicher Betrieb 334, 336
 Kontinuitätsgesetz 216
 Konvektion 498
 Konvektionsströmung 325
 Konvektionstrocknung 253
 Konzepte
 – aerobe 669
 – anaerobe 669
 Korngröße
 – mittlere 671
 Kornverteilung 130
 kosmetische Produkte 568
 Kostenvergleich verschiedener Abluftreinigungsverfahren 634
 Kraftwerksabgase
 – saure 653
 Kreisläufe 636
 Kreislaufwirtschaft 661
 Kreuzbalkenrührer 101
 Kreuzstrom 160, 265
 Kreuzstromfahrweise 265
 Kristallisation 172, 572, 574
 Kristallisationsverfahren 179
 Kristallkeimbildung 179
 Kristallwachstum 179
 Kristallwasser 174
 Kriterien zur biologischen Abluftreinigung 635
 Kriterium
 – 1-s- 99
 – 90 % 100
 kritische Temperatur 285
 kritische Verdünnungsrate 481
 kritischer Druck 285
 Krustenbildner 174
 Kugelmühlen 146
 Kühlungskristallisation 178 ff.
 Kühni-Kolonne 275
 Kultur
 – diskontinuierliche 469
 – kontinuierliche 476
 – statische 469
 Kurzschlussströmung 373
- L**
- Lactobacillus acidophilus* 456
Lactobacillus-Arten 428
Lactobacillus brevis 456
Lactobacillus bulgaricus 435
Lactobacillus bulgaris 456
Lactobacillus delbrückii 456
Lactobacillus helveticus 456
Lactobacillus lactis 456
Lactobacteriaceae 456
Lactococcus lactis 456
 Lactose 582
 Lage des azeotropen Punktes 195
 Landschaftspflege 653
 Langmuir 240
 Laserbeugungsspektrometer 58
 Laserscanner 57
 Laugung 584
 – direkte 585
 – indirekte 586
 Laugungsflüssigkeit 591
 Laugungsverfahren 591
 Leaching 584
 Lebendzellzahl 465
 Lebensmittelindustrie 29, 568
 leichter siedende Komponente 185
 Leichtgut 104
 Leistungsbedarf von Rührern 97
 Leitkomponente 295
 Leptospirosen 425
Leptotrichia 426
 Lichtmikroskop 55
 Lipiddoppelschicht 412 f.
 lithotrophe Bakterien 609
 Lithotrophie 442
 Löslichkeit von Sauerstoff 497
 Löslichkeit von zwei Gasen 229
 Löslichkeitskurven 173 f., 178, 288
 Lösungskristallisation 172
 Lösungsmittel 258, 278
 Lösungsmittelbedarf 281
 Lösungsmittelphase 259
 logarithmische Normalverteilung 52
 Low-Dust-Variante 627
 Luftblasen 574
 Luftschadstoffen 633
 Luftstrahlsieb 61
 Luftzahl 664
- M**
- Mahlen 131
 Mahlkörper 146
 Mahlkörpermühlen 145
 Makrokinetik 302, 318
 Maschenform 109
 Massenbeladungsanteile 161
 Massenfluss 77
 Massenkräfte 60, 65
 Massenstrom 295
 Master 34 f.
 Materialfeuchte 642

- Matrixkamera 56
 McCabe-Thiele-Verfahren 205 f.
 mechanische Schaumzerstörung 519
 mechanische Stoffumwandlung 44
 Median-Trenngrenze 104
 Medianwert 51
 Mehrstoffgemische 212
 Mehrstufen-Impuls-Gegenstrom-Rührer 494
 Mehrstufenverdampferanlage 166
 Membran 406, 411
 Membran-Reaktoren 488
 Membranfilter 502, 512
 Membranfilter-Methode 466
 Membranfiltrationseinheiten 511
 mesophil 462
 Messelektrode 520
 Messenger-RNA 411
 Messgrößen
 – physikalische 517
 Messmethoden 517
 Messort 516
 Messtechnik 514
 Messung der Drehzahl 518
 Messung der Trübung 520
 Messung des Drucks 518
 Messung des Redoxpotenzials 521
 Messung des Sauerstoffs 522
 Messung des Schaums 519
 Messungen des pH-Werts 521
 Metabolisierung 597
 Metabolismus 436
 Metallgewinnung durch Mikroorganismen 584
 Metallgewinnungsanlage 592
 Metallionen 571
 metastabiler Bereich 176
 Methangärung 673
Methanococcus 430
Methanospirillum 430
Methylococcus 425
Methylomonas 425
 Michaelis-Menten-Gleichung 474
Micrococcus luteus 427
 mikrobielle Laugungsverfahren 584
 mikrobiologische Eigenschaften des Filtermaterials 642
 Mikrokinetik 302
 Mikroorganismen 400
 Mikroorganismenpopulation 636, 639
 Milchsäurebakterien 401
 Milchsäure-Gärung 456
 minderwertige Erze 584
 Mindestbodenzahl 208
 Mindestrücklaufverhältnis 208
 Mindestsauerstoffkonzentration 574
 Mindestsolvensstrom 268
 Mineralisierung 597
 MINT-Fächer 36
 Mischagglomeration 126
 Mischen
 – statisches 102
 Mischerbauarten 85
 Mischgüte
 – momentane 87
 Mischkultur 504
 Mischtrommel 126
 Mischung 90
 Mischungslücke 262
 Mischungszustand 85, 87, 89
 Mischverfahren 83 ff.
 Mischvorgang 83
 mismatch-Situation 33
 Mitochondrien 406, 419 f.
 Mitochondrienmatrix 447
 Mittel
 – arithmetisches 88
 Mittelhartzerkleinern 130
 Mittelwert 87
 mittlere Korngröße 671
 Mixer-Settler-Extraktoren 274, 277
 Modalwert 53
 Modularisierung 38
 Mohs-Härte 130
 Molekularität 305
 Moment
 – 1. statistisches 370
 – 2. statisches 375
 Monod-Gleichung 475, 480, 482
 monodispers 46
 Morphologie 423
 Moving-Bed-Verfahren 551
 MPN 466
 Mühlen 144
 Multienzymkomplex 446
 Müllverbrennungsanlage 627 f., 663 f.
 Murein-Sacculus 414
 Mycel 408
 Mycelbildung 407
 Myceldecke 572
 Mycelstruktur 573
 Mycelwachstum 582
 Mykoplasmen 427
Myxomycota 431 f.
- N**
 Nachfällung 604
 Nachrotte 671, 674
 Nachverbrennung
 – katalytische 630
 Nachverbrennungsanlage 658
 NAD(P)H 447
 NAD+ 447
 NADH 447, 453
 NADP 447
 Nährböden 461, 485
 Nährlösung 438, 572
 Nährmedien
 – komplexe 571
 – Nährmedien 459
 – synthetische 460
 Nährmedien für die bakterielle Laugung 590
 Nährmedium für Bakterien 460
 Nährmedium für Hefen 460
 Nährstoffe 436, 438, 597
 Nährstoffkonkurrenz 501
 Nahrungskette
 – menschliche 672
 Nahrungsmittelkonservierung 580
 Nasen, elektronische 648
 Nassmahlen 131, 148
 Nasssiebung 61
 Nassstromklassierer 112
 Naturschutz 653
Neisseria gonorrhoeae 426
Neisseria meningitidis 426
Neisseriaceae 426
 Neomycin 578
 Nernstscher Verteilungskoeffizient 260
 Neukeimbildung 176 f.
 Neutralisation 604
 neutrophil 604

Nichtmischbarkeit 258
 nichtregenerative Absorptionsverfahren 624
 Niederdruckmaschinen 564
 Niederdruckverfahren 564
 Nitrat-Ammonifikation 452
 Nitrat-Atmung 450, 610
 Nitrat-Nitrit-Atmung 452
 Nitrifikanten 463
 Nitrifikation 608 ff.
Nitrobacter 473
Nitrobacter agilis 609
Nitrosomonas 473
Nitrosomonas europaea 609
 NOELL-Konversionsverfahren 667
 Normalspannungen 74
 Normalverteilung nach Gauss 51
 Normalverteilung, logarithmische 52
 NTU 219, 221

O

O₂-Bestimmung, galvanische 523
 Oberfläche, spezifische 49, 53
 Oberfläche, volumenspezifische 48
 Oberflächenkultur, statische 485
 Oberflächenreaktoren 484
 Oberflächenverfahren 568, 571
 Offline-Messverfahren 516
 Off-site-Verfahren 654, 658
 Oleum 535
 Olfaktometer 648
 Online-Verfahren 516
 On-site-Verfahren 654, 658
Oomycota 431
 Organismen, Anforderungen 483
 Organotrophie 442
 Orleáns-Verfahren 485
 osmotischer Druck 570
 Oxalacetat 447
 Oxalsäure 574
 Oxidationsgräben 615
 Oxidationskatalysatoren 531
 Oxytetracyclin 578

P

Packung 201, 214, 223, 638
 Packung aus Metallgewebe 223
 Packungskolonnen 218, 235, 277
 Paraffinen 574
 parallel geschaltete Adsorber 245
 Parallelbetrieb 167
 Parallelreaktionen 328 f.
 Parameter der Desorption 229
Parracoccus denitrificans 452
 Partialdruckkurven 184, 186
 Partikel 46
 Partikelgröße, gewogene mittlere 53
 Pelletierteller 126
 Pelletiertrommel 127
 Penicillin 576
Penicillium 433, 577
 Penicillium-Arten 569, 571, 581
Penicillium camembertii 434
Penicillium chrysogenum 435, 581
Penicillium citrium 569
Penicillium luteum 569
Penicillium notatum 404, 576, 581
Penicillium roquefortii 434
 Pentosephosphat-Weg 443, 445
 peritrich 417
 Perkulatorlaugung 588
 Permeationsverfahren 63
 Persönlichkeitsentwicklung 37
 Petrochemie 541
 Pflanzenkläranlage, horizontal durchströmte 616
 Pflanzenkläranlagen 615
 Pflanzenkrankheiten, Bekämpfung 580
 PFR 337
 Pflopfströmungssystem 476
 Phagocytose 416, 420
 pharmazeutische Produkte 568
 Phase 158
 Phase, disperse 46, 271
 Phase, exponentielle 473, 479
 Phase, kontinuierliche 46, 271
 Phase, stationäre 475
 Phasengleichgewicht 226
 Phasengrenzfläche 158
 Phosphatelimination 604
 Phosphorlipide 413
 Phosphorverbindungen – Elimination von 605
 Phosphorylierung 443
 Phosphorylierung, oxidative 414
 Photonenkorrelations-Spektroskopie 58
 Photosynthesepigmente 420
 Phototrophie 442
 physikalische Messgrößen 517
 Physiologie 423
 Physisorption 225
 pH-Wert 671
 pH-Wert-Messung 520
 Pili 418
 Pilze 431, 577
 Planetenmühlen 149
 Plansieb 109
 Plasmid 407, 409
 Plastide 418
 Plat-Forming 553
 Plattentest 467
 Plattenwärmetauscher 510
 Plug-Flow-Reaktor 476
 polarografische Verfahren 522
 Polarogramm 522
 polydispers 46
 Polyeen-Antibiotika 578
 Polyesterole 561
 Polyetherole 561
 Polymerisation 555
 Polyole 562
 Polypeptid-Antibiotika 578
 Polysaccharid, extracelluläres 416
 polytrich 417
 Polyurethan 557
 Porendiffusionsgebiet 323
 Porosität 73
 praktische Böden 201
 Prallbrecher 143
 Prallmühlen 151
 Prandtl'sche Grenzschicht 319
 präparative Trenngrenze 104
 Praxisbezug 37
 Pressagglomeration 122, 127
 Primärstoffwechsel 569

Primärstruktur 411
 Probeanalyse von Mischungen 86
 Probebehälter 649
 Probenahme 54, 649
 Probestecher 54
 Probeteilung 54
 Produkte, kosmetische 568
 Produkte, pharmazeutische 568
 Produktionsbereiche, automatisierte 23
 Produktionsleistung 293, 300, 335, 343
 – maximale 343
 Produktionsreaktor 573
 Produktionsriebe, Bauformen 109
 Produktionsriebe 108
 Produktionsverfahren 22, 293
 Produktivität 480, 481
 Projektionsflächen 55
 Prokaryoten 405, 447
 Promotion, kooperative 35
 Propellerrührer 96, 494
Propionibacterium 428, 435
 Propionsäure-Gärung 457
 Protein 407, 411
 Proteingehalt, Bestimmung 468
 Protocyt 405, 407ff.
 Protoplast 414
 Prozessgrößen 514
 prozessnachgeschaltete Umweltschutzmaßnahme 28
Pseudomonas 425, 462
Pseudomonas aeruginosa 425
Pseudomonas denitrificans 435, 610
Pseudomonas fluorescens 584
Pseudomonas putida 584
 psychophil 463
 Pulver, trocken 65
 Pyrolyse 666
 Pyrolyseanlage 659
 Pyruvat 438, 443, 446

Q

Qualitätsgrößen 514
 Quasi-Echtzeitbedingungen 516

Querstromfilter 119
 Quotient, respiratorischer 480

R

radiale Strömung 495
 radialfördernde Rührer 96
 Radialschaufelrührer 96
 Raffinatkomponente 259
 Raffinerieverfahren 545
 Randgängigkeit 219
 Raoult'sches Gesetz 184, 186
 Rauchgasentschwefelung 615, 623
 Rauchgasentstaubung 614
 Rauchgasreinigung 622, 653
 Rauchgaswäsche 624
 Raumzeit 300
 RDC-Kolonnen 275
 Reaktionen
 – 0. Ordnung 305, 310
 – 1. Ordnung 304, 306, 310, 329, 345, 347, 356, 361, 377, 392
 – 2. Ordnung 305, 307, 310, 346 f., 357, 378, 392
 – 3. Ordnung 310
 – autokatalytische 362
 – exotherme 380
 – höherer Ordnung 305
 – n-ter Ordnung 309
 – reversible 328
 – volumenkonstante 300
 Reaktionsarten 328
 Reaktionsführung
 – adiabatische 379 f.
 – polytrope 379
 – thermische 380
 Reaktionsgeschwindigkeit 303, 327
 – effektive 323
 – stoffbezogene 304
 Reaktionskinetik 303
 Reaktionskontrolle 328
 Reaktionsmasse 295
 Reaktionsordnung 305
 Reaktionszeit 334
 Reaktor 573
 Reaktoren
 – diskontinuierlich betriebene 296
 – Fluid-Feststoff- 396
 – Fluid-Fluid- 395
 – ideale 302

– kontinuierlich betriebene 297
 – Reaktionen 394
 – reale 364
 Reaktorkenngrößen 496
 Reaktorsysteme 496
 Recycling 28, 113, 622
 Reduktionsäquivalente 439, 447, 454
 Reduzierung von Abfällen 28
 Reforming 552
 Regulation, externe 474
 Regulation, interne 474
 Reibungsbeiwert 75
 Reifekompost 672
 Reingas 107
 Reinigung von Prozessgasen 238
 Reinkultur
 – Herstellung 485
 Reinkultur 403
 – Klassifizierung 423
 Rektifikation 225, 258, 268
 Rektifiziersäule 199
 relative Flüchtigkeit 187
 Reservestoffe 408
 Resistenzen 409
 respiratorischer Quotient 480
 Ressourcenschonung 28
 Restfeuchte 107
 Resublimieren 172
 Retikulum, endoplasmatisches 420
 reversible Reaktionen 328
 Reynolds-Zahl 320
 Rheni-Forming 553
 Ribose 411
 Ribosom 407, 411, 420
 Rickettsien 426
 Rieselbettreaktoren 555
 Rieselfilm-Reaktor 487
 Rieselfilmreaktor 395
 RIM-Werkstoffe 564
 Ringerweiterung 553
 Ringschergarät 82
 Ringspaltkugelmühlen 149
 Rittinger-Zerkleinerungsgesetz 135
 Robert-Verdampfer 169
 Rohgas 107
 Rohrbündelreaktor 396
 Rohrmühlen 149
 Rohrreaktor 354, 364, 375
 Rohrschlaufenreaktor 493

- Rohrverdampfer 165
 Rohölfractionen 543
 Rollagglomeration 126
 Röntgensedimentometer 62
 Rostsysteme 663
 Rotating Disk Contactor 275
 Rotationsprühwäscher 640
 Rottedeponien 672
 RRSB-Verteilung 52
 Rücklaufverhältnis 203, 213
 Rückstandssumme 49
 Rückstandssummenkurven 50
 Rückstände der Abwasserreinigung 601
 ruhende Ladung 54
 ruhende Schüttung 54
 rühren 94
 Rührer, axialfördernd 96
 Rührer, radialfördernd 96
 Rührer, tangentialfördernd 97
 Rührkessel
 – diskontinuierlich 385
 – kontinuierlich 381, 387
 Rührkessel 335, 364, 394
 – diskontinuierlich 339, 341, 356
 – halbkontinuierlich 362
 – kontinuierlich 337, 344, 351, 367, 369, 373
 Rührkesselkaskade
 – n-stufig 367, 369
 Rührkesselkaskade 338, 347, 350
 Rührkesselreaktor 334
 Rührorgan, Energieeintrag 494
 Rührreaktor 574, 581
 Rührvorgänge 44
 Rührwerkskugelmühle 146, 149
 Rührzellenextraktor 275
 Rundbrecher 141
 Rüstzeit 335
 Rutil 537, 539
 Rutil, synthetischer 537
 Rutilpigment 539
- S**
- Saccharomyces cerevisiae* 433f., 443, 455
Saccharomycopsis lipolytica 434, 569
- Saccharose 570
Salmonella 418, 426
 Sammelprobe 55
 Sandfänge 603
 Sättigungsbelastung 240
 Satz-Kultur 469
 Satzbetrieb 296, 334, 344
 Sauerstoffbedarf 671
 Sauerstoffbedarf, biologischer 598
 Sauerstoffbedarf, chemischer 598
 Sauerstofftransferate 499
 Sauerstofftransport 497, 500
 Sauerstoffzufuhr 670
 Säulenlaugung 590
 Säurebildung 673
 Sauter-Durchmesser 54
 Scale-up 272, 292
 Schadstoff 635
 Schadstoffabbau 639
 Schadstoffabsorption 639
 Schaumbildung 519
 Schaumdetektoren 519
 Schaummessung 519
 Schaumstabilisatoren 562
 Schaumzerstörung, mechanische 519
 Scheibel-Kolonie 275
 Scheibenrührer 96, 100, 495
 Scheren 153
 Schimmelpilze 568
 Schlagkreuzmühle 151
 Schlagstiftmühle 151
 Schlammfall 613
 Schlammbehandlung 613
 Schlammflocken 640
 Schlankheitsgrad 492
 Schlaufenreaktor 362, 490
 Schleim 416
 Schlieren-Methode 99
 Schlitzboden 214
 Schlüsselkomponente 297
 Schlüsselqualifikationen 38
 Schlüsseltechnologie 29
 Schlüsselrends 40
 Schmelze 172
 Schmidt-Zahl 320
 Schneidmühlen 153
 Schnittpunktgerade 205
 Schnittpunktgeraden 204
 Schockkühlung 667
 Schrägblattrührer 96
- Schraubenrührer 96
 Schreddern 113
 Schubspannungen 75
 Schulunterricht, Voraussetzungen 38
 Schwefel-Atmung 451
 Schwefeldioxid, Herstellung 532
 Schwefelentfernung 555
 Schwefelvorkommen 532
 Schwelbrennverfahren von Siemens 666f.
 Schweltrommel 666
 schwer siedende Komponente 185
 Schwertgut 104
 Schwerkraft-Gegenstromsichter 111
 Schwerkraftfilter 119
 Schwerkraftklassierung 112
 Schwermetallanreicherung im Kompost 672
 Schwingbodenkolonne 276
 Schwingmühle 146, 149
 Schwingungsfrequenz 109
 Schürwirkung 663
 Schüttdichte 73
 Schüttelkultur 581
 Schüttgutparameter 81
 Schüttgutspeicher 77
 Schüttgüter 73
 Schütthöhe der Füllkörper 222
 Schüttung 638
 Schüttung, ruhende 54
 SCR-Katalysator 626
 SCR-Reaktor 627
 SCR-Technik 626
 Screening 576
 Sedimentation 115
 Sedimentation von Einzelkörnern 70
 Sedimentation von Körnerkollektiven 69
 Sedimentationsanalyse 62
 Sedimentationsbecken 613
 Sedimentationswaage 62
 Selbstreinigungsprozess durch Mikroorganismen 633
 selektive Antibiotika 580
 selektive katalytische Reduktion 622
 Selektivität 299
 Semibatch-Reaktor 362

- Sensorik 646
 Separatoren 574
 Sherwood-Zahl 320
 Sichter­mühle 111
 Sickerwässer 662
 Siebboden 214, 274
 Siebfilter 511
 Siebgütegrad 106
 Siebhilfen 61
 Siebkastenschwinger 109
 Sieb­klassierung 107, 127
 Sieb­neigung 109
 Siebroste 109
 Siebtrommel­mühle 146
 Siebtrommel­reaktoren 614
 Siede- und Gleichgewichts-
 diagramm 189
 Siedepunktserhöhung 163
 Silikagel 461
 Silo 75
 simultane Nitrifikation/Denit-
 rifikation 612
 simultane Nitrifikation/Denit-
 rifikation, Schema 612
 Sinkleistung 100
 Soft Skills 38
 Solvensphase 259
 Solventextraktion 258, 279
 Sortieren 113
 Sortierprozess 103 f.
 Sortierverfahren 114
 Spannungsarten 74
 spezifische Oberfläche 53
 spezifischer Druckverlust
 219 f.
Sphaerotilus natans 429
 Sphärizität 49
 Spiralstrahl­mühle 152
 Spiralwindsichter 111
 Spiralwärmetauscher 510
Spirillum volutans 425
 Spirochaeten 424
 Sporen 502, 572 f.
 Sprungmarkierung 371
 Sprödbbruch 132
 Sprühtrockner 256
 Sprühturm 396
 Spurenelemente 438, 459
 Stabilität 524
 Standardabweichung 88
 Standardbioreaktor 494
 Ständerpilze 433
Staphylococcus aureus 404,
 427
Staphylococcus epidermis 427
 Starterkultur 501
 stationäre Phase 475, 479
 stationärer Zustand 336
 statische Oberflächenkultur
 485
 statische Verfahren 671
 statischer Turbulenzmischer
 102
 statisches Mischen 102
 Staubabscheidung 622
 Staugrenze 220
 Steigung der Löslichkeits-
 kurve 172, 178
 Steilheit 521
 Stellgrößen 515
 Stempelpresse 128
 Sterilisation 501, 509
 Sterilisation durch chemische
 Methoden 511
 Sterilisation durch Dampf-
 injektion 509
 Sterilisation durch Filter 511
 Sterilisation nach dem Wär-
 metauscherprinzip 510
 Sterilisation von Gasen 512
 Sterilisationsbedingungen 509
 Sterilisationseffekt 506
 Sterilisationsverfahren,
 kontinuierliche 509
 Sterilitätskriterium 506
 Steriltechnik 501
 Stickoxide 625
 Stickstoffverbindungen,
 Elimination von 607
 Stoffaustausch 199
 Stoffaustauschverfahren 656,
 659
 Stoffbilanz 301, 390
 Stoffbilanzgleichung 339
 Stoffdurchgang 325
 Stoffdurchgangskoeffizient
 326
 Stoffmengenanteil 160
 Stoffmengenstrom 295
 Stofftransport, konvektiver
 319
 Stoffumwandlung, mechani-
 sche 44
 Stoffvereinigungsprozesse 44
 Stoffwechsel 436
 Stoffwechselaktivität 637
 Stoffwechselleistung 400
 Stoffwechselfprodukt 468, 576
 Stoffübergangskoeffizient 273,
 319, 499
 Stoffübergangskontrolle 327
 Störstoffe 597
 Stoßmarkierung 371
 Strahl­düsenreaktor 493
 Strahl­düsenwäscher 236
 Strahl­mühlen 152
 Strahl­schlaufenreaktor 492
 Strahlungstrocknung 254
 Strahlwäscher 396
Streptococcus pneumoniae
 456
Streptomyces 430
 Streptomycin 578
 Streulichtmessungen 468
 Streulicht­zähler 57
 Streuung 88
 Strippung 656
 Strömung, axiale 495
 Strömung, radiale 495
 Strömungsrohr 337
 – ideales 337, 354, 367, 369,
 390
 Strom-Spannungs-Diagramm
 522
 Strukturwandel 25
 Studienabschluss 34
 Studiendauer, Verkürzung der
 38
 Studienform 34
 Studienstrukturreform 38
 Stufenkonzept 271
 Sturzmühle 146, 148
 Submers-Reaktoren 484, 489
 Submersverfahren 568, 581
 Substanzen, geruchsintensive
 635
 Substratlimitierung 479
 Substratphosphorylierung
 445
 Sulfat-Atmung 450 f., 453
 Sulfatverfahren 537
 Sulfatverfahren, Fließschema
 538
Sulfolobus 584
 Summenparameter 598
 Suspensierdrehzahl 99
 Suspensieren 94, 99
 Suspensionslaugung 589
 Symbole
 Synthese von ATP 445
 Systeme, disperse 46

T

T. ferrooxidans 587, 590
T. thiooxidans 587, 590
 tangentialfördernde Rührer 97
 Tätigkeit in Forschung und Lehre 24
 Tauchstrahlreaktor 492
 Taxonomie 421
 technische Anleitung 669
 Teilchenkollektiv 46
 Teilungsrate 469
 Temperatur 517
 Temperatur, kritische 285
 Temperatur-Zeit-Abhängigkeit 502
 Temperatur-Zeit-Diagramm 505
 Temperaturabhängigkeit des Wachstums 461
 Tetracycline 578
 theoretische Bodenzahl 208
 theoretische Trennstufen 265
 theoretischer Boden 159, 199
 thermische Behandlung 512
 thermische Nachverbrennung 622, 657
 Tiefenfilter 512
 Trägerkatalysatoren 321
Trichoderma viride 569
 Triisocyanate 558
 Trinkwassergewinnung 653
 tRNA 411
 Trocken-Additiv-Verfahren 623
 Trockenmahlen 131
 Trockenmasse-Bestimmung 468
 Trockensubstanzgehalt 614
 Trocknen von Feststoffen 251
 Trocknen von Gasströmen 251
 Trocknen von hygroskopischen und nichthygroskopischen Feststoffen 252
 Trocknerbauarten 255
 Trocknung, allgemein 251
 Trocknung von Druckluft 238, 246
 Trocknungsabschnitt 251 f.
 Trocknungsanlagen 614
 Trocknungsarten 253
 Trocknungsgeschwindigkeit 253
 Trombe 95

Trommelmühlen 148
 Trommeltrockner 255
 Tropfen 46
 Tropfkörper 487
 Tropfkörperassen 487
 Tropfkörperreaktor 638
 Tropfkörperverfahren 638
 Trübung 466
 Trübungsmessung 468, 520
 TS-Gehalt 614
 TU9 39
 Tunnelboden 214
 Turbidostat 476
 Turmfilter 644

U

Überdruckkolonnen 217
 Überdüngung 653
 Übergangskomponente 258, 279
 Übergangszustand, Theorie 313
 Überkorn 105
 überkritisch 285
 Überlöslichkeitskurve 176
 Umsatz 295, 342
 – mittlerer 377
 Umsatzgrad 295
 Umwandlung von Schadstoffen 635
 Umweltbelastung 28
 Umweltschutz
 – integrierter 29
 – produktionsintegrierter 28
 Umweltschutzmaßnahmen, prozessnachgeschaltete 28
 Umwelttechnik, integrierte 661
 Umweltverträglichkeitsprüfung 655
 unipolar 417
 Unit Operation 22
 Unterkorn 105
 Unternehmensberater 31
 Uracil 411

V

Vakuole 418
 Vakuumfilter 119
 Vakuumkristallisation 178 f., 181
 Vakuumrektifikation 219

Van-der-Waals-Kräfte 64, 123
 Vanadiumpentoxidkatalysator 532
 Varianz 88
 VDI 39
 Veillonella alcalescens 426
 Ventilboden 214
 Venturi-Wäscher 640
 Verbrennungsanlage 659
 Verdampfer 199
 Verdampferbauarten 169
 Verdampferleistung 165
 Verdampferschaltung 166
 Verdampfertypen 165
 Verdampfung 163, 181
 Verdampfungsenthalpie 210
 Verdampfungskristallisation 178 f., 183
 Verdichtung 666
 Verdopplungszeit 464, 481
 Verdrängungsverfahren 281
 Verdünnungsrate 477
 – kritische 481
 Verdünnungsreihe 465
 Veredlungsprozesse 545
 Verfahren
 – anaerobe 672
 – biologische 658
 – Bodenverdichtungs- 655
 – dynamische 671
 – galvanische 522
 – halbtrockene 623
 – hydraulische 655
 – nasse 623
 – polarografische 522
 – statische 671
 Verfestigungsspannung 80
 Vergasung fester Produkte 666
 Vergleich der Reaktorsysteme 496
 Verkrustungsgefahr 218
 Vermehrung 437
 Verstärkungsgerade 203, 208, 212, 268
 Verstärkungssäule 199
 Verteilungsdichte 49
 Verteilungsdichtekurve 49
 Verteilungsfunktion
 – normierte 366
 Verteilungsfunktion 87
 Verteilungskoeffizient 279
 vertriebsorientierte Ingenieure 26

- Verursacherprinzip 654
 Verweilzeit
 – mittlere 370
 – relative 367
 Verweilzeit 299
 Verweilzeitsummenfunktion 369
 Verweilzeitverhalten 364
 – realer Reaktoren 373
 Verweilzeitverteilung 365, 368
 Visbreaking 549
 Vollraumreaktor 396
 vollständige Entmischung 90
 Volumenfaktor 300
 volumenspezifische Oberfläche 48
 Volumenstrom 295
 Vorfällung 604
 Vorklärbecken 603
 Vorklärschlamm 603
 Vorkultur 473
 Vorrotte 671
 Vorschubroste 663
- W**
- Wachstum
 – exponentielles 469, 471
 Wachstum 437
 Wachstumsbedingungen 459, 571
 Wachstumsbestimmung 464
 Wachstumsertrag 453
 Wachstumsfaktoren 459
 Wachstumsgeschwindigkeit 461, 464
 Wachstumsgeschwindigkeit der Kristalle 176
 Wachstumskurve 472
 Wachstumsphasen 472
 Wachstumspotenzial 31
 Walzenbrecher 142
 Walzenmühlen 150
 Walzenpresse 128
 Wälzmühlen 144
 Wanderschichtadsorber 250
 Wandreibungswinkel 77
 Wärmeabfuhrgerade 381 f.
- Wärmeaustausch 95
 Wärmebedarf einer Rektifiziersäule 209
 Wärmebilanz 389
 Wärmedurchgangskoeffizient 165, 169
 Wärmedämmung 557, 564
 Wärmeerzeugungskurve 380 ff.
 Wärmetauscherprinzip 511
 Wärmetönung 379
 Wasserdampfdestillation 197 f.
 Wassergehalt 670
 Wasserhaushalts
 – Gesetz zur Ordnung des 596
 Weichschaumstoffe 563
 Weichzerkleinern 130
 Weinherstellung 401
 Wellmann-Lord-Verfahren 624
 Wendelrührer 96
 Wetterstabilität 540
 Widerstandsbeiwert 67
 Widerstandsthermometer 517
 Windsichten 110
 Wirbelschicht 70
 Wirbelschichtadsorber 250
 Wirbelschichtreaktoren 396, 487
 Wirbelschichtverfahren 551
 Wirbelstufenadsorber 250
 Wirkung auf die Umwelt 597
 Wirkungsmechanismen 579
 Wirkungsort 579
 Wirkungsspektrum von Antibiotika 579
 Wurfprüfsieb 60
 Wurfsieb 109
- Y**
- Yarrowia lipolytica* 433
- Z**
- Zähbruch 133
 Zählkammer-Verfahren 465
 Zehrstoffe 597
 Zeit-Temperatur-Diagramm 509
 Zelle
 – prokaryotische 405, 407
 Zellen
 – immobilisierte 574
 Zellkonzentration 476
 Zellstoffwechsel 437
 Zellteilung 469
 Zellwand 406, 414 ff.
 Zellwandaufbau 415
 Zellwandstruktur 414
 Zentrifugalextraktoren 272, 274
 Zentrifugalklassierer 112
 Zentrifugalpumpen 601
 Zeolith 241, 243, 322
 Zerkleinern 130 f.
 Zerkleinerungsarbeit 137
 Zerkleinerungsgesetze 134 f.
 Zerkleinerungsmaschinen 137, 139
 Zerstäubungstrockner 256 f.
 Zeta-Potenzial 66
 Zisternen 419
 Zonen-Sedimentation 70
 Zufallsmischung 90
 Zugspannungen 74
 Zusammenarbeit
 – interdisziplinäre 37
 Zusammenstoß
 – unwirksamer 312
 – wirksamer 312
 Zusatzstoffe 562
 Zustand
 – überkritischer 285
 Zustandsgrößen 515
 Zwangsumlaufverdampfer 165
 Zweifilmtheorie 159, 324, 498
 Zweiteilung 464
Zygomycetes 431
 Zykluszeit 335