

Heinz Brauer (Hrsg.)

Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik

Band 3:
Additiver Umweltschutz:
Behandlung von Abluft und Abgasen

Mit 374 Abbildungen und 47 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis zu Band 3:

Additiver Umweltschutz: Behandlung von Abluft und Abgasen

1	Emissionsanalyse technischer Anlagen: H. Brauer	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Emissionsarten	2
1.3	Emissionsquellen	4
1.4	Struktur und Funktionen von Stoff- und Energiewandlungsanlagen	12
1.4.1	Schematisierte Struktur von Produktionsanlagen	12
1.4.2	Eingangsstufe	13
1.4.3	Stoff- und Energiewandlungsstufen	14
1.4.4	Produktstufe	16
1.4.5	Reinigungsstufe	16
1.4.6	Emissionsstufe	19
1.4.7	Schlußfolgerungen aus der Funktionsanalyse der Stufen einer Produktionsanlage	20
1.5	Weg der Schadstoffe und der Trägermedien durch die Produktionsanlage	21
1.6	Technische Maßnahmen zur Minderung von Emissionen	22
1.6.1	Prozeßtechnische Maßnahmen zur Emissionsminderung	23
1.6.1.1	Eingangsstufe	23
1.6.1.2	Stoff- und Energiewandlungsstufen	23
1.6.1.3	Produktstufe	24
1.6.1.4	Reinigungsstufe	25
1.6.1.5	Emissionsstufe	25
1.6.2	Geräte- und anlagentechnische Maßnahmen zur Emissionsminderung	26
1.6.2.1	Die emissionsdichte Anlage als Ziel	26
1.6.2.2	Einschränkung der Schadstoffproduktion	27
1.6.3	Zusammenfassung der prozeß- sowie geräte- und anlagentechnischen Maßnahmen	28
1.7	Graphische Darstellung der Emissionen	29
	Literatur	29

Verfahren zur Minderung staubförmiger Schadstoffemissionen

2	Physikalische Grundlagen der Partikelabscheidung aus Gasen: K. Leschonski	33
2.1	Einführung	33
2.2	Aufgabenstellung und Kennzeichnung der Partikelabscheidung	34
2.3	Prinzipielle Möglichkeiten zur Partikelabscheidung aus Gasen	37
2.4	Die Vorausberechnung von Bahnkurven	38
2.4.1	Einführung	38
2.4.2	Die Differentialgleichung zur Beschreibung der Bewegung einer Kugel in einer ebenen Strömung	39
2.4.3	Die Bewegungsgleichung im Bereich der Gültigkeit des Stokesschen Widerstandsgesetzes	42
2.5	Trenngrenzen und Trennkurven einiger wichtiger Abscheidemechanismen	43
2.5.1	Die Querstromabscheidung in einer ebenen, geraden Kanalströmung	44
2.5.2	Die Querstromabscheidung im gekrümmten Kanal	47
2.5.3	Die Querstrom- bzw. Trägheitsabscheidung an frei beweglichen Kugeln (Tropfen) oder feststehenden Zylindern (Fasern)	48
2.6	Trennkurven	50
	Symbolverzeichnis	55
	Literatur	57
3	Zyklonabscheider: M. Bohnet	58
3.1	Einleitung	58
3.2	Theorie des Abscheidevorgangs	60
3.2.1	Grenzpartikelgröße	60
3.2.2	Umfangsgeschwindigkeit	64
3.2.3	Fraktionsabscheidegrad	67
3.2.4	Gesamtabscheidegrad	70
3.3	Drückverlust	71
3.4	Optimalzyklone	74
3.5	Heißgaszyklone	78
3.6	Sonderbauarten	82
	Symbolverzeichnis	86
	Literatur	88
4	Elektroabscheider: G. Mayer-Schwinning	89
4.1	Einführung	89
4.1.1	Allgemeines	89
4.1.2	Historischer Hintergrund	90
4.2	Wirkungsweise von Elektroabscheidern	92
4.2.1	Aufbau und Abscheideprinzip	92

4.2.2	Elektrofilterauslegung	94
4.2.3	Aufladung und Abscheidung von Partikeln	95
4.2.4	Staubwiderstand	97
4.3	Ausführungsformen von Elektroabscheidern	99
4.3.1	Trocken arbeitende Elektroabscheider	99
4.3.1.1	Bauarten	99
4.3.1.2	Das Sprühsystem	100
4.3.1.3	Das Niederschlagselektrodensystem	104
4.3.1.4	Gassenabstand	106
4.3.2	Naßelektroabscheider	110
4.3.2.1	Horizontal-Naßelektroabscheider	110
4.3.2.2	Röhren-Elektroabscheider	111
4.3.3	Strömungsverteilung im Elektrofilter	113
4.4	Spannungsversorgung, Hochspannungssteuerung und Prozeßleittechnik	114
4.5	Anwendungen	119
4.5.1	Kraftwerke	119
4.5.1.1	Steinkohlegefeuerte Kraftwerke	122
4.5.1.2	Braunkohlegefeuerte Kraftwerke	123
4.5.1.3	Elektroabscheider hinter ZWS-Verbrennungsanlagen .	123
4.5.1.4	Entstaubung öligegefeuerter Kessel	124
4.5.1.5	Entstaubung nach trockener und halbtrockener Schadgasreinigung	125
4.5.2	Entstaubung im Eisenhüttenbereich	127
4.5.2.1	Sinteranlagen	127
4.5.2.2	Hochofen-Gichtgasreinigung	128
4.5.2.3	Konverteranlagen	131
4.5.3	Nichteisen-Metallhütten	132
4.5.4	Glaswannen	134
4.5.5	Zementwerke	135
4.5.6	Elektroabscheider in der thermischen Abfallbehandlung	137
4.6	Rauchgaskonditionierung	140
4.7	Staubabscheidung unter extremen Temperatur- und Druckbedingungen	144
	Symbolverzeichnis	146
	Literatur	147
5	Filternde Abscheider: E. Schmidt, F. Löffler	149
5.1	Einleitung	149
5.1.1	Allgemeine Merkmale	149
5.1.2	Bereiche und Grenzen der Anwendung	150
5.2	Funktionsweise und Betriebsverhalten	151
5.2.1	Partikelabscheidung	151
5.2.1.1	Vorbemerkung	151
5.2.1.2	Abscheidung am Filtermedium	151
5.2.1.3	Abscheidung am Filterkuchen	156

5.2.2	Druckverlust	161
5.2.3	Regenerierung	163
5.2.3.1	Regenerierung flexibler Filtermedien	163
5.2.3.2	Regenerierung starrer Filtermedien	167
5.2.3.3	Regenerierung von Schüttsschichten	167
5.3	Filtermedien	168
5.3.1	Gewebe, Vliese und Filze	168
5.3.2	Sinterschichten	173
5.3.3	Faser- und Kornkeramiken	173
5.3.4	Schüttungen	174
5.4	Bauformen und Betriebsweise	174
5.4.1	Schlauchfilter	174
5.4.2	Taschenfilter	180
5.4.3	Sinterlamellenfilter	182
5.4.4	Patronenfilter	182
5.4.5	Kassettenfilter	184
5.4.6	Schüttsschichtfilter	185
5.4.7	Heißgasfilter	188
5.5	Auslegung und Dimensionierung	189
5.5.1	Vorbemerkung und allgemeine Kriterien	189
5.5.2	Empirische Näherungsgleichungen	190
5.5.3	Modellansätze	191
5.5.4	Methode der Tabellen und Kennwerte	194
5.5.5	Laborversuche und Pilotfilteranlagen	195
5.6	Problemfälle und Lösungsvorschläge	196
5.6.1	Einführung	196
5.6.2	Filteranströmgeschwindigkeit	197
5.6.3	Regenerierungshäufigkeit	198
5.6.4	Zyklisches Precoatieren	199
5.6.5	Rohgaskonditionierung	199
	Symbolverzeichnis	201
	Literatur	202
6	Naßabscheider: E. Muschelknautz, G. Hägele, U. Muschelknautz	203
6.1	Die fünf Wäschergruppen	203
6.2	Optimaldiagramm	207
6.3	Verteilungsgesetze von Stäuben und Tropfen	211
6.4	Tropfengrößenverteilungen	212
6.5	Abscheidung von Staubteilchen an Einzeltropfen	215
6.6	Die Reinigungskenngröße m und der Druckverlust der Tropfen	217
6.7	Berechnung eines Wäschers	220
6.8	Andere Wäscher	223
6.9	Praktische Gesichtspunkte	226
	Symbolverzeichnis	227
	Literatur	228

7	Neue Geräte und Verfahren	
	zur Staubabscheidung: H. Brauer	230
7.1	Aufgabenstellung	230
7.2	Staubabscheidung in einer Kombination von Faserfilter und Elektrofilter	232
7.2.1	Einleitung	232
7.2.2	Beschreibung des Filtermediums	233
7.2.2.1	Allgemeine Anforderungen	233
7.2.2.2	Eigenschaften des Filtermediums	234
7.2.3	Eigenschaften des verwendeten Staubes	237
7.2.4	Definition von Gesamt- und Fraktionsabscheidegrad	240
7.2.5	Beschreibung der Entstaubungsanlage und der Meßeinrichtungen	242
7.2.5.1	Aufbau der Entstaubungsanlage	242
7.2.5.2	Der Abscheider	244
7.2.5.3	Die Staubdosierung	246
7.2.5.4	Der Partikelanalysator HC-15	247
7.2.6	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	249
7.2.6.1	Der Fraktionsabscheidegrad	250
7.2.6.2	Der Druckverlust	257
7.3	Naßentstaubung in einer Zerstäubungsmaschine	265
7.3.1	Einleitung	265
7.3.2	Aufbau und Wirkungsweise der Zerstäubungsmaschine	266
7.3.3	Berechnung der Tropfenbahnen im Schaufelrad	268
7.3.4	Beschreibung der Naßentstaubungsanlage	273
7.3.4.1	Weg der Luft durch die Anlage	276
7.3.4.2	Weg des Wassers durch die Anlage	277
7.3.5	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	278
7.3.5.1	Der Fraktionsabscheidegrad	278
7.3.5.2	Der Grenzkorndurchmesser	281
7.3.5.3	Der Leistungsbedarf der Entstaubungsmaschine	282
7.3.5.4	Der spezifische Energieaufwand	286
7.3.5.5	Abscheideleistung bei Rückführung des Wassers	288
7.3.6	Zusammenfassung	290
	Literatur	291

Verfahren zur Minderung gasförmiger Schadstoffemissionen

8	Abscheidung gasförmiger Stoffe durch Absorption, Kondensation, Membran-Permeation und Trockensorption: G.-G. Börger	295
8.1	Grundlagen: Aufnahme von Gasen in eine flüssige oder feste Phase ggf. zugleich mit chemischer Umwandlung	295

8.1.1	Begriffsdefinitionen	295
8.1.2	Dampfdruck und Temperatur	296
8.1.3	Ideale Lösungen (Raoultsches Gesetz)	298
8.1.4	Reale Lösungen, Beschreibung von Flüssig-Gas-Gleichgewichten	298
8.1.5	Bestimmung der Anzahl erforderlicher Stoffübergangs-Einheiten	299
8.1.6	Bestimmung der Höhe der Stoffübergangs-Einheiten	305
8.1.7	Druckverlust in Kolonnen	317
8.2	Absorbentien	318
8.2.1	Absorbentien für physikalische Absorption	318
8.2.2	Absorbentien für Chemi- und Elektro-Chemisorption	320
8.2.3	Weiterverwendung, Aufarbeitung oder Entsorgung von Absorbaten	323
8.3	Absorber und Absorptionsverfahren	327
8.3.1	Wirkungsweisen von Absorbern	327
8.3.2	Bauformen von Absorbern	328
8.3.3	Absorptions-Verfahren für die Abgasreinigung	334
8.4	Kondensation	341
8.4.1	Teilkondensation von Dämpfen aus Abluft	341
8.4.2	Zusammenwirken von Kondensation und Absorption	342
8.4.3	Kondensations-Verfahren für die Abgasreinigung	344
8.5	Membranpermeation	347
8.5.1	Diffusion, Adsorption, Absorption und Quellung in Membranen	347
8.5.2	Membran-Aufbau, Membran-Werkstoffe und Membran-Module	350
8.5.3	Membran-Verfahren für die Abgasreinigung	352
8.6	Trockensorption	355
8.6.1	Diffusion, Adsorption, Absorption und Reaktion	355
8.6.2	Trockensorptions-Verfahren	357
	Symbolverzeichnis	357
	Literatur	359
9	Abgasbehandlung in Stoffaustauschmaschinen:	
	H. Brauer	362
9.1	Einleitung	362
9.2	Einige wissenschaftliche Grundlagen	363
9.2.1	Der Stoffstrom durch die Phasengrenzfläche	363
9.2.2	Die Phasengrenzfläche	364
9.2.3	Der Stofftransportkoeffizient	364
9.2.3.1	Definition des Stofftransportkoeffizienten	364
9.2.3.2	Stofftransportwiderstand in der Partikel	365
9.2.3.3	Stofftransportwiderstand in dem umgebenden Fluid	368
9.2.4	Schlußfolgerungen aus den theoretischen Untersuchungen	370

9.3	Stoffaustauschmaschine mit periodisch wiederholter Tropfenbildung	370
9.3.1	Aufbau und Wirkungsweise der Maschine	370
9.3.2	Beschreibung des Absorptionsprozesses bei Gleichstrom von Gas und Flüssigkeit	372
9.3.3	Diskussion einiger Ergebnisse für die Absorption in der Stoffaustauschmaschine	374
9.3.3.1	Versuchsbedingungen	374
9.3.3.2	Einfluß der Volumenströme von Gas und Flüssigkeit	376
9.3.3.3	Einfluß der SO ₂ -Konzentration des Gases	378
9.3.3.4	Einfluß der Drehzahl und der Strömungsrichtung des Gases	379
9.3.4	Vergleich der Leistung der Zerstäubungsmaschine mit der anderer Absorptionsgeräte	381
9.3.5	Stoffaustauschmaschine mit periodisch wiederholter Blasenbildung	384
9.3.5.1	Aufbau und Wirkungsweise der Maschine	384
9.3.5.2	Energieübertragung in einer Stufe	388
9.3.5.3	Gasgehalt einer Stufe	392
9.3.5.4	Stoffaustausch in den drei Stufen der Maschine	393
9.3.5.5	Vergleich des Stofftransportes in verschiedenen Geräten	397
	Literatur	399
10	Abscheidung gasförmiger Schadstoffe durch Adsorption und Adsorptionskatalyse:	
	H. Menig, H. Krill	400
10.1	Einleitung	400
10.2	Geschichtlicher Rückblick	400
10.3	Grundlagen der Adsorption und Adsorptionskatalyse	402
10.3.1	Wesen und Grundbegriffe	402
10.3.2	Adsorptive Trenneffekte	404
10.3.3	Adsorptionskapazität	405
10.3.4	Kinetik der Adsorption	408
10.3.5	Adsorptionswärme	410
10.3.6	Regenerierung beladener Adsorbentien	411
10.3.6.1	Regenerierung mit Desorption in die Gasphase	411
10.3.6.2	Regenerierung mit Desorption in die flüssige Phase	413
10.3.6.3	Regenerierung mit reaktivierender Desorption	415
10.4	Technische Adsorbentien	415
10.4.1	Charakterisierung nach Rohstoff und Herstellung	415
10.4.1.1	Kohlenstoffadsorbentien	415
10.4.1.2	Oxidische Adsorbentien	416
10.4.1.3	Polymeradsorbentien	420
10.4.1.4	Imprägnierte Adsorbentien	420
10.4.2	Technisch bedeutsame Eigenschaften der Adsorbentien	421

10.4.2.1	Spezifische innere Oberfläche	421
10.4.2.2	Porenvolumen und Porenradienverteilung	422
10.4.2.3	Adsorptions-Charakteristik	425
10.4.2.4	Katalytische Eigenschaften	427
10.4.2.5	Korngrößenverteilung	427
10.4.2.6	Dichte und Porosität	428
10.4.2.7	Mechanische und chemische Beständigkeit	429
10.4.3	Auswahlkriterien für Adsorbentien zur Abscheidung gasförmiger Schadstoffe	429
10.5	Bewertung der zu adsorbierenden gasförmigen Stoffe	430
10.6	Adsorberbauarten	431
10.6.1	Festbettadsorber	431
10.6.2	Bewegtbettadsorber	433
10.6.3	Rotoradsorber	433
10.6.4	Flugstromadsorber	434
10.7	Anwendungsgebiete	434
10.7.1	Lösemittelabscheidung mit und ohne Rückgewinnung	435
10.7.2	Lösemittelverarbeitende Industrien	435
10.7.2.1	Festbettverfahren mit Wasserdampfdesorption	436
10.7.2.2	Festbettverfahren mit Heißgasdesorption	441
10.7.2.3	Bewegtbettverfahren mit Heißgas- oder Wasserdampfdesorption	443
10.7.2.4	Adsorber mit rotierenden Einbauten und Heißgasdesorption	449
10.7.3	Abluftreinigung bei Tankanlagen und Umfüllstationen	450
10.7.4	Reinigung von Viskose-Abluft	454
10.7.5	Entschwefelung von Claus-Abgasen	456
10.7.6	Minderung von SO ₂ -Emissionen	457
10.7.7	Emissionsminderung bei Geruchs- und Giftstoffen	461
10.7.8	Abscheidung von Quecksilber	463
10.7.9	Abscheidung von Dioxinen	464
10.7.10	Abscheidung von Phenol und Formaldehyd	465
10.7.11	Minderung von NO _x -Emissionen	467
10.7.12	Abscheidung radioaktiver Gase	469
	Literatur	471
11	Abbau von Dioxinen und Furanen in Abgasen mit Wasserstoffperoxid:	
	C. Weber-Ruhl, U. Schelbert	473
11.1	Einleitung	473
11.1.1	Die Gruppe der Dioxine	474
11.1.2	Dioxin-Quellen	475
11.2	Generelle Emissionsminderungsmaßnahmen	475
11.2.1	Einsatzstoffbezogene Primärmaßnahmen	475

11.2.2	Prozeßtechnische Primärmaßnahmen	476
11.2.3	Dioxinminderung im Abgasweg	476
11.2.4	Anwendung von Abgasreinigungsverfahren	477
11.3	H ₂ O ₂ -Oxidationsverfahren	478
11.3.1	Eigenschaften und Anwendung von Wasserstoffperoxid im Umweltschutz	478
11.3.2	Versuche an einer Müllverbrennungsanlage	480
11.3.2.1	Versuchsbeschreibung	480
11.3.2.2	Versuchsergebnisse	482
11.3.3	Versuche an einer Metallschrott-Recycling-Anlage	484
11.3.3.1	Versuchsbeschreibung	484
11.3.3.2	Versuchsergebnisse	485
11.3.4	DEDIOX®-Anlagenkonzept	486
11.3.4.1	Allgemeines	486
11.3.4.2	Lagerung und Dosierung von Wasserstoffperoxid	489
11.3.5	Wasserstoffperoxid-Vormischung	489
11.3.6	Dedioxinierung	490
11.3.7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	490
11.3.8	Schlußbemerkung	492
12	Abscheidung gasförmiger Schadstoffe durch katalytische Reaktionen: T. Schmidt	493
12.1	Grundlagen des Katalysatoreinsatzes zur Luftreinhaltung	493
12.1.1	Administrative Randbedingungen und deren technische sowie wirtschaftliche Konsequenzen	493
12.1.2	Reaktionstechnische Grundlagen	497
12.1.2.1	Katalytische Reaktionen	497
12.1.2.2	Teilschritte heterogen katalysierter Reaktionen	499
12.1.2.3	Transportvorgänge	501
12.1.2.4	Prozeßberechnung	503
12.1.3	Katalysatoren für die Abgasreinigung und deren Handhabung	510
12.1.3.1	Anforderungen an Abgasreinigungskatalysatoren	510
12.1.3.2	Einteilung technischer Abgasreinigungskatalysa- toren	512
12.1.3.3	Beeinflussung der Katalysatorstandzeit	516
12.1.4	Anlagenkonzepte	524
12.1.4.1	Grundfließbild katalytischer Abgasreinigungs- verfahren	524
12.1.4.2	Reaktortypen	525
12.1.4.3	Wärmeübertragung	527
12.1.4.4	Verfahrenskombinationen	528
12.2	Katalytische Oxidationsverfahren	529
12.2.1	Nichtselektive Verfahren	529
12.2.1.1	Reaktionsmechanismen der katalytischen Totaloxidation und Katalysatorbeispiele	529

12.2.1.2	Katalytische Totaloxidation organischer Lösemittel	531
12.2.1.3	Katalytische Totaloxidation zur Reinhaltung von Abgasen partieller Oxidationsverfahren	543
12.2.1.4	Katalytische Totaloxidation zur Reinigung von Raffinerieabgasen	549
12.2.1.5	Anwendung von Edelmetallkatalysatoren zur Reinigung von Dieselmotorabgasen	550
12.2.2	Selektive Oxidationsverfahren	552
12.2.2.1	Anwendung von Platinkatalysatoren zur NH ₃ -Oxidation	552
12.2.2.2	Anwendung von Al ₂ O ₃ -Katalysatoren zur selektiven Oxidation von Schwefelverbindungen bei der Reinigung von Claus-Anlagen-Abgasen	556
12.3	Katalytische Reduktionsverfahren	560
12.3.1	Nichtselektive Stickoxid-Reduktion	560
12.3.1.1	Reaktionsverlauf an Platinkatalysatoren	560
12.3.1.2	Anwendung von Platinkatalysatoren zur Abgasreinigung bei der Salpetersäureherstellung	560
12.3.2	Selektive Stickoxidreduktion	561
12.3.2.1	Reaktionsverlauf an Vanadiumoxid-Katalysatoren	561
12.3.2.2	Anwendung zur Rauchgasreinigung	564
12.3.2.3	Anwendung bei Stationärmotoren	568
12.4	Katalytische Zersetzungreaktionen	571
12.4.1	Auftreten von Ozon als Emission	571
12.4.2	Reaktionen	571
12.4.2.1	Oxidationsreaktionen	571
12.4.2.2	Katalytische Zersetzung	572
12.5	Simultanverfahren	572
12.5.1	Abgasreinigung für Otto-Motoren mit dem Dreiwegesystem	572
12.5.1.1	Reaktionsverlauf und Katalysatoren	572
12.5.1.2	Verfahrensbeschreibung	575
12.5.2	Simultane Abscheidung von Schwefeldioxid und Stickoxiden an Aktivkokskatalysatoren	577
12.5.2.1	Reaktionsverlauf und Katalysatorbeschreibung	577
12.5.2.2	Verfahrensbeschreibung der Anwendung zur Rauchgasreinigung	578
12.6	Adsorptionskatalyse	579
12.6.1	Chemisorption von Schwefeltrioxid	579
12.6.1.1	Reaktionsverlauf und Katalysatoren	579
12.6.1.2	Verfahrensbeschreibung zur Rauchgasreinigung	580
12.6.2	Physikalische Adsorption von Elementarschwefel	581
12.6.2.1	Reaktionsführung beim Claus-Verfahren	581
12.6.2.2	Reaktionsführung beim Sulfreen-Verfahren	582
12.6.2.3	Umwandlung von COS und CS ₂ : Hydrosulfreen-Verfahren	584

12.6.2.4	Erhöhung der Umsatzgrade durch katalytische Direktoxidation: Carbosulfreen Verfahren	586
12.7	Beschreibung des Katalysatorrecycling am Beispiel von Autoabgaskatalysatoren	586
12.7.1	Zielsetzung	586
12.7.2	Konzept und Prozeßschritte des Autoabgaskatalysator-Recycling	588
12.7.3	Ausblick und Bedeutung des Recyclingprinzips	589
	Symbolverzeichnis	590
	Abkürzungen und Indices	591
	Literatur	592
13	Abscheidung gasförmiger Schadstoffe durch biologische Reaktionen: K. Fischer, F. Sabo	595
13.1	Einleitung	595
13.2	Verfahrenstechnische Grundlagen	596
13.2.1	Allgemeines	596
13.2.2	Großräumige Transportprozesse	597
13.2.3	Schadstoffaufnahme durch Sorption	597
13.2.3.1	Übersicht	597
13.2.3.2	Adsorption	597
13.2.3.3	Absorption	598
13.2.4	Grundlagen des Stoffübergangs	599
13.2.5	Modell für den Stofftransport	600
13.2.6	Kinetik enzymkatalysierter Reaktionen	602
13.3	Mikrobiologische Grundlagen	605
13.3.1	Einleitung	605
13.3.2	Abbauverhalten von Abluftinhaltstoffen	606
13.3.3	Beteiligte Mikroorganismen	607
13.3.4	Beeinflussende Faktoren	608
13.4	Grundlagen der Olfaktometrie	614
13.5	Biowäscher	616
13.5.1	Allgemeines	616
13.5.2	Verfahrensbeschreibung	620
13.5.3	Auslegung	622
13.5.4	Bauformen	623
13.5.5	Anwendungsbeispiel	624
13.6	Biofilter	625
13.6.1	Strömungsprozesse	626
13.6.2	Filtermaterial	631
13.6.3	Filterfeuchte	632
13.6.4	Aufbau und Verfahrensvarianten	633
13.6.5	Dimensionierung	637
13.7	Neue Verfahren	638
13.7.1	Bereich Biofilter	638
13.7.2	Bereich Biowäscher	640
13.7.3	Biomembranverfahren	641

13.8	Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung	
	biologischer Verfahren	641
	Literatur	642

Verfahren zur Minderung von Schadstoffemissionen als Folge von Explosionen

14	Explosionen und Emissionen: N. Jaeger	649
14.1	Einleitung	649
14.2	Sicherheitstechnische Kenngrößen	650
14.2.1	Prüfpflicht	650
14.2.2	Abgelagerter Staub	650
14.2.2.1	Brennverhalten	650
14.2.2.2	Relative Selbstentzündungstemperatur	651
14.2.2.3	Selbstentzündungstemperatur (Warmlagerversuche im Drahtkorb)	651
14.2.2.4	Relative Zersetzungstemperatur	651
14.2.2.5	Spontane Zersetzungsfähigkeit	652
14.2.2.6	Schlagempfindlichkeit	652
14.2.3	Aufgewirbelter Staub	653
14.2.3.1	Maximaler Explosionsüberdruck P_{\max} und maximaler zeitlicher Druckanstieg $(dP/dt)_{\max}$, Explosionsgrenzen EG	653
14.2.3.2	Sauerstoffgrenzkonzentration SGK	654
14.2.3.3	Mindestzündenergie MZE	654
14.2.3.4	Mindestzündtemperatur MZT	655
14.2.3.5	Hybride Gemische	655
14.3	Explosionsschutz	656
14.3.1	Vorbeugender Explosionsschutz	656
14.3.1.1	Vermeiden von explosionsfähigen Brennstoff/ Luft-Gemischen	657
14.3.1.2	Vermeiden von Explosionen durch Inertisierung	658
14.3.1.3	Vermeiden von wirksamen Zündquellen	658
14.3.1.4	Konsequenzen für die Praxis	660
14.3.1.5	Elektrostatische Zündquellen	661
14.3.2	Konstruktiver Explosionsschutz	662
14.3.2.1	Explosionsfeste Bauweise	662
14.3.2.2	Explosionsentlastung	663
14.3.2.3	Explosionsunterdrückung	664
14.3.3	Explosionsentkoppelung	665
	Abkürzungen	669
	Literatur	669
	Sachverzeichnis	671