Ulrike Stadtmüller



Grundlagen der Bioabfallwirtschaft

Lehr- und Handbuch

TK

Ulrike Stadtmüller

Grundlagen der Bioabfallwirtschaft

Lehr- und Handbuch

TK

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Grundlagen der Bioabfallwirtschaft
Lehr- und Handbuch
Ulrike Stadtmüller.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004
ISBN 3-935317-12-3

ISBN 3-935317-12-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2004
Redaktion: Ulrike Stadtmüller
Lektorat: Ulrike Stadtmüller
Layout: Cordula Müller, Martina Ringgenberg
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe Manz und Mühlthaler GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Tempus edax rerum, die Zeit zernagt die Dinge. Dies kennzeichnet sowohl die Wirkungsweise biologischer Verfahren als auch ihre Geschichte. Spielt die Zeit in thermischen und physikalischen Prozessen eine untergeordnete Rolle, so arbeitet in biologischen Prozessen die Zeit mit; sie dauern Tage, Wochen, Monate. Zeit, ein Produktionsfaktor. Und doch waren alle Bemühungen, den biologischen Prozess zu beschleunigen, nur von begrenztem Erfolg gekrönt. Lässt sich die erste Phase beispielsweise der Kompostierung inzwischen auf wenige Tage verkürzen, so benötigen wir für die Herstellung von Fertigkompost verfahrensunabhängig immer noch in etwa die gleichen Zeiträume. Dieser nur schwer fassbare, kaum beeinflussbare Faktor Zeit hat die biologischen Verfahren auch zu allen Zeiten suspekt erscheinen lassen; denn Zeit bedeutet Kosten in Form von Arbeit und Fläche, Zeit bedeutet längere Emissionszeiträume je Materialeinheit und Zeit bedeutet Unsicherheit bis zum Prozessende.

Doch interessanterweise arbeitet im Falle biologischer Verfahren die Zeit für uns mit. *Tempus edax rerum*, vom Abfall bleibt Kompost über.

In den letzten zwanzig Jahren sind biologische Verfahren im Aufwind. Dies startete mit der Einführung der getrennten Sammlung von Bioabfällen zu Beginn der zwanziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts. Heute werden etwa sechzig Prozent der Küchen- und Gartenabfälle in Deutschland kompostiert - eine Erfolgsgeschichte. Derzeit stagniert diese Entwicklung zugunsten der Anaerobtechnologien, da diese auch solche Abfallarten erschließen, die aufgrund ihrer Konsistenz meist aerob nicht behandelt werden können sowie aufgrund der Situation auf dem Energiemarkt. Diese in Deutschland, den Niederlanden und Österreich vollzogene Entwicklung weitet sich derzeit europaweit aus, speziell auf den Süden.

Dies ist verständlich. Biologische Verfahren produzieren ein Düngemittel mit hohen Anteilen an humusbildenden Substanzen, die auf den humusarmen Böden der Mittelmeeranrainerstaaten dringend benötigt werden. So ist die Kompostierung von Fäkalien und Klärschlamm im Süden Spaniens Stand der Technik und wird ausgedehnt praktiziert. Die Förderung von Humusbildung wirkt der Versalzung und Devastierung von Böden entgegen. Auf humusarmen Böden verlangsamt die Humusanreicherung, die Kohlenstoffumsetzung und damit der Kohlendioxidaustrag aus dem Boden in die Atmosphäre. Und es wird deutlich, dass biologische Prozesse etwas bewirken, was eigentlich unvorstellbar ist, sie kehren das *Tempus edax rerum* um. Was die Zeit mit Hilfe des Menschen zerstört hat, kann durch biologische Prozesse mit Hilfe des Menschen auch wieder aufgebaut werden, zumindest teilweise.

Werfen wir noch einen Blick zurück auf die Geschichte. Sie hat in den letzten hundert Jahren düster für die biologischen Verfahren der Abfallbehandlung ausgesehen. 1980 wurden weltweit etwa 0,05 Prozent der Abfälle kompostiert. Zum gleichen Zeitpunkt waren es in Mitteleuropa etwa ein Prozent. In Südostasien, wo die Kompostierung und Vergärung in der Vergangenheit ubiquitär anzutreffen waren, sind diese Verfahren heute marginal. Die Zeit hat ihre Vorteile vergessen lassen! Sie wurden nicht mehr bedarfsgerecht eingesetzt! Die Entsorgung trat in den Vordergrund, nicht die Herstellung eines Produktes für bestimmte Zwecke und der Faktor Zeit wurde monetär bewertet. Es ist der Verdienst derer, die die getrennte Sammlung von organischen Abfällen einführten, die Produktion eines anwendungsorientierten Gutes in den Vordergrund gestellt zu haben. Wollen wir die vielfältigen Möglichkeiten biologischer Prozesse in der Abfallwirtschaft in Zukunft nutzen, so darf nicht im Vordergrund stehen "wo nützen uns biologische Prozesse". Und dies wird überall dort der Fall sein, wo regenerative Energie gefragt ist, dort wo der Humusaufbau in Böden angeraten ist oder Erosionsminderung betrieben werden muss.

Zu biologischen Prozessen in der Abfallwirtschaft gibt es unzählige Publikationen, eine Internetrecherche zeigt rund zwanzigtausend und dies ist sicher nur ein Teil. Doch eine Gesamtschau, ein Lehrbuch fehlt. Ansätze sind vorhanden: Golouke, de Bertoldi, Diaz, das Müllhandbuch, aber die Zeit ist darüber hingegangen, sie blieben alle lückenhaft, unvollendet eben - *Tempus edax rerum*.

Um so höher ist der Verdienst der Autorin des vorliegenden Werkes, Ulrike Stadtmüller, einzuschätzen, die diese Lücke gefüllt hat. Sie hat die Zeit angehalten, wenn sicher auch nur für eine Sekunde in der Weltenzeit, um Kompostierung und Vergärung in ihrer Ganzheit darzustellen. Hier lässt sich aufbauen! Hier lässt sich erfahren, wo biologische Verfahren einzusetzen sind und wo nicht, damit zukünftig ihre gezielte, sinnvolle Anwendung ihnen zur weiteren Verbreitung verhilft.

Juli 2004

Professor Dr.-Ing. habil. Werner Bidlingmaier

Inhaltsübersicht

1	Bioabfallwirtschaft: Einführung und wissenschaftliche Entwicklung	1
2	Abfallwirtschaftliche Zusammenhänge	15
3	Stoffkreisläufe	25
4	Politische Rahmenbedingungen	33
5	Rechtliche Vorgaben	39
6	Ausgangsmaterial	67
7	Erfassung von Bioabfällen	79
8	Sammlung	99
9	Transport	111
10	Planung einer Bioabfall-behandlungsanlage	119
11	Annahme von Bioabfällen	125
12	Genutzte Organismen und deren Anforderungen an die Verfahrensgestaltung	131
13	Aufbereitung für die biologische Behandlung	177
14	Anaerobe Behandlung	187
15	Aerobe Behandlung	231
16	Feinaufbereitung nach der biologischen Behandlung	299
17	Emissionen und Emissionsminderung	311
18	Abschlussuntersuchungen	343
19	Produkte, Verwendung, Vermarktung	365
20	Qualitätsmanagement	395
21	Vergleich und Bewertung verschiedener Behandlungsverfahren	401
22	Spezialfall biologisch abbaubarer Kunststoffe	417
23	Perspektiven der Bioabfallwirtschaft	427
24	Anhang	437

Inhaltsverzeichnis

1 Bioabfallwirtschaft: Einführung und wissenschaftliche Entwicklung 1

2 Abfallwirtschaftliche Zusammenhänge 15

2.1 Verbrennung von nicht getrennt erfasstem Bioabfall 15

2.2 Ablagerung nicht getrennt erfassten Bioabfalls auf der Deponie 16

2.2.1 Biochemische Umsetzungsprozesse auf einer Deponie 16

2.2.2 Probleme bei der Deponierung von organischem Material 17

2.2.2.1 Deponiegas 18

2.2.2.1.1 Zusammensetzung 18

2.2.2.1.2 Umweltrelevanz 19

2.2.2.2 Sickerwasser 20

2.2.2.2.1 Zusammensetzung 20

2.2.2.2.2 Umweltrelevanz 21

2.2.2.3 Setzungen 22

2.2.2.4 Geruch 22

2.2.2.5 Auswirkungen hygienischer Art 23

2.2.3 Konsequenz des Gesetzgebers aus den Umweltproblemen bei der Deponierung organikhaltiger Abfälle 23

2.3 Behandlung des Bioabfalls bei getrennter Erfassung durch Kompostierung oder Vergärung 24

3 Stoffkreisläufe 25

3.1 Kohlenstoffkreisläufe 25

3.1.1 Aerober Kohlenstoffkreislauf 26

3.1.2 Anaerober Kohlenstoffkreislauf 27

3.1.3 Kohlendioxid-Methan-Kreislauf 28

3.2 Sauerstoffkreislauf 29

3.3 Stickstoffkreislauf 30

4 Politische Rahmenbedingungen 33

4.1 Umweltpolitik 33

4.1.1 Umweltpolitische Ziele 34

4.1.2 Prinzipien der Umweltpolitik 34

4.1.3 Umweltpolitisches Instrumentarium 36

4.2 Abfallpolitik 36

4.2.1 Entwicklung und Ziele 36

4.2.2 Probleme 37

5 Rechtliche Vorgaben 39

5.1 Europäisches Umwelt- und Abfallrecht 39

5.1.1 Rechtliche Wirkung und Bedeutung des EU-Rechts 39

5.1.2 Europäisches Abfallrecht 40

5.1.2.1 Die Begriffe „Abfall“ und „Ware“ 40

5.1.2.2 Richtlinien für die Bioabfallwirtschaft 41

5.1.2.2.1 Europäische Klärschlammrichtlinie 41

5.1.2.2.2 Europäische Deponierichtlinie 42

5.1.2.2.3 EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energiequellen 43

5.1.2.2.4 Biologische Behandlung von biologisch abbaubaren Abfällen, Entwurf 44

5.1.3 Europäisches Umweltstrafrecht 44

5.2 Deutsches Abfallrecht 45

5.2.1 Gesetze 45

5.2.1.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 46

5.2.1.2 Bundes-Immissionsschutzgesetz 47

5.2.1.3 Düngemittelgesetz ... 48
5.2.1.4 Bundes-Bodenschutzgesetz ... 49
5.2.1.5 Erneuerbare-Energien-Gesetz ... 50
5.2.1.6 Umwelthaftungsgesetz ... 51
5.2.2 Rechtsverordnungen ... 52
5.2.2.1 Bioabfallverordnung ... 53
5.2.2.2 Klärschlammverordnung ... 54
5.2.2.3 Abfallablagerungsverordnung ... 56
5.2.2.4 Gewerbeabfallverordnung ... 57
5.2.2.5 Biostoffverordnung ... 57
5.2.2.6 Düngeverordnung ... 58
5.2.2.7 Düngemittelverordnung ... 59
5.2.2.8 Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung ... 60
5.2.2.9 Biomasseverordnung ... 61
5.2.2.10 Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen ... 62
5.2.3 Verwaltungsvorschriften ... 62
5.2.4 Weitere Richtlinien ... 64

5.3 Deutsches Abfallrecht auf Ebene der Länder und Kommunen ... 64

5.4 Umweltstrafrecht ... 65

6 Ausgangsmaterial ... 67

6.1 Stoffliche Analyse: Herkunft und Zusammensetzung ... 67

6.1.1 Biogene Abfälle aus Privathaushalten ... 68
6.1.1.1 Zusammensetzung ... 68
6.1.1.2 Abhängigkeit der Zusammensetzung von äußeren Faktoren ... 70
6.1.2 Biogene Abfälle aus dem öffentlichen Bereich ... 71
6.1.3 Biogene Gewerbeabfälle ... 72

6.1.4 Biogene Abfälle aus der Industrie ... 73
6.1.4.1 Produktionsspezifische Abfälle von pflanzlichen Erzeugnissen ... 73
6.1.4.2 Produktionsspezifische Abfälle von tierischen Erzeugnissen ... 74
6.1.4.3 Sonstige produktionsspezifische Abfälle ... 74

6.2 Chemische Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ... 75

7 Erfassung von Bioabfällen ... 79

7.1 Ablauf ... 79

7.2 Erfassungsquote ... 79

7.3 Problematik ... 80

7.4 Gründe für eine mangelhafte Erfassung ... 81

7.5 Möglichkeiten zur Beeinflussung der Erfassung ... 82
7.5.1 Einflussnahme durch das Sammelsystem ... 82
7.5.2 Einflussnahme durch die Behältergröße ... 83
7.5.3 Einflussnahme durch das Gebührensystem ... 84
7.5.4 Einflussnahme durch eine Störstofferkennung ... 86

7.6 Öffentlichkeitsarbeit zur Optimierung der Erfassung ... 87
7.6.1 Einführung zum Begriff „Öffentlichkeitsarbeit“ ... 88
7.6.2 Öffentlichkeitsarbeit zur Einführung der Bioabfallsammlung ... 89
7.6.3 Öffentlichkeitsarbeit zur Optimierung des Sammelerfolges ... 91
7.6.3.1 Einflussfaktor Motivation ... 92
7.6.3.2 Einflussfaktor Komfort ... 94
7.6.3.3 Einflussfaktor Information ... 95
7.6.4 Erfahrungen und Kritik ... 97

8 Sammlung 99

8.1 Rechtliche Grundlagen 99

8.2 Aufgabe, Funktion und Kosten des Einsammelns 100

8.3 Organisation der getrennten Sammlung 101

8.3.1 Unterscheidung nach Abfuhrsystem und Entleerungsturnus 101

8.3.2 Unterscheidung nach dem Grad der Vorsortierung 102

8.3.3 Unterscheidung nach dem Benutzerkomfort 102

8.3.4 Auswahlkriterien 103

8.4 Sammelsysteme 103

8.4.1 Sammelverfahren 104

8.4.1.1 Umleerverfahren 104

8.4.1.2 Wechselverfahren 104

8.4.1.3 Einwegverfahren 105

8.4.1.4 Systemlose Sammlung 105

8.4.2 Behältersysteme 105

8.4.2.1 Mülleimer und Mülltonnen 106

8.4.2.2 Müllgroßbehälter 106

8.4.2.3 Müllgroßcontainer 107

8.4.2.4 Spezialfall Biotonne 107

8.5 Kosten 108

9 Transport 111

9.1 Ablauf und Organisation der Müllabfuhr 111

9.2 Sammelfahrzeuge 111

9.2.1 Heck-, Front- und Seitenlader ... 112
9.2.2 Schüttungen ... 114
9.2.3 Verdichtungseinheiten ... 115

10 Planung einer Bioabfallbehandlungsanlage ... 119

10.1 Auslegung ... 119

10.2 Transportwege und regionalspezifische Faktoren ... 120

10.3 Zentrale und dezentrale Anlagen ... 121

10.4 Anforderungen an Anlagen zur Bioabfallbehandlung ... 122

10.5 Kosten ... 123

11 Annahme von Bioabfällen ... 125

11.1 Anlieferung ... 125

11.2 Abfallannahme ... 125

11.3 Speicherung ... 126

11.4 Dosierung ... 127

12 Genutzte Organismen und deren Anforderungen an die Verfahrensgestaltung ... 131

12.1 Die Zelle: Definition und Abgrenzung zu anderen „Lebens-?!"-Formen ... 131

12.1.1 Allgemeingültige Charakteristika des Zellaufbaus ... 132
12.1.2 Unterscheidung Prokaryonten und Eukaryonten ... 132

12.1.3 Untergliederung der Eukaryonten in tierische und pflanzliche Zellen 134
12.1.4 Unterscheidung in ein- und mehrzellige Eukaryonten..... 135

12.2 Mikrobiologische Grundlagen 136
12.2.1 Bakterien..... 136
12.2.1.1 Aufbau..... 138
12.2.1.2 Vermehrung 138
12.2.1.3 Lebensweise und Anpassungsmodi 139
12.2.1.4 Ernährung/Stoffwechsel 140
12.2.1.5 Spezialfall Actinomyceten 141
12.2.2 Pilze..... 143
12.2.2.1 Aufbau..... 143
12.2.2.2 Vermehrung 144
12.2.2.3 Lebensweise und Anpassungsmodi 146
12.2.2.4 Ernährung/Stoffwechsel 146

12.3 Herkunft der bei Vergärung und Kompostierung beteiligten Organismen 147

12.4 An der Vergärung beteiligte Organismen 150
12.4.1 Anaerobe Bakterien 150
12.4.2 Spezialfall methanogene Bakterien..... 151

12.5 An der Kompostierung beteiligte Organismen 153
12.5.1 Mikroflora und -fauna 154
12.5.1.1 Mikroflora..... 155
12.5.1.2 Mikrofauna..... 156
12.5.2 Mesofauna..... 159
12.5.3 Makrofauna..... 161
12.5.4 Megafauna..... 162

12.6 Bedeutung dieser Organismen für die Abfallbehandlung..... 162

12.7 Anforderungen der Organismen an das Substrat 166

12.7.1 Temperatur ... 167
12.7.2 Wassergehalt ... 168
12.7.3 Sauerstoff ... 169
12.7.4 Nährstoffe ... 170
12.7.4.1 Mineralische Nährstoffe ... 171
12.7.4.2 Organische Nährstoffe ... 171
12.7.4.3 C/N-Verhältnis ... 172
12.7.5 pH-Wert ... 172
12.7.6 Schadstoffe ... 174
12.7.7 Aktive Oberfläche ... 174

12.8 Konsequenzen für die Aufbereitung des Ausgangsmaterials ... 175

13 Aufbereitung für die biologische Behandlung ... 177

13.1 Entfernung von Störstoffen ... 177
13.1.1 Handlese ... 178
13.1.2 Siebung ... 179
13.1.3 Magnetscheider ... 182
13.1.4 Sink-Schwimm-Trennung ... 183

13.2 Behandlung des verbleibenden Bioabfalls ... 184
13.2.1 Zerkleinerung ... 184
13.2.2 Mischung und Homogenisierung ... 185

14 Anaerobe Behandlung ... 187

14.1 Einführung und Geschichte ... 187

14.2 Allgemeine biochemische Grundlagen ... 189
14.2.1 Erstes Charakteristikum: Reaktionsablauf mit Zwischenstufen ... 191

14.2.2 Zweites Charakteristikum: Nutzung unterschiedlicher Wege und Kompartimente in Anabolismus und Katabolismus 192
14.2.3 Drittes Charakteristikum: Stoffwechsel als ein enzymatisch geregeltes Fließgleichgewicht 192
14.2.4 Viertes Charakteristikum: Metaboliten-Reservoir im Stoffwechsel 192

14.3 Biochemie der Vergärung 193
14.3.1 Unterschiede zwischen anaerobem und aerobem Stoffwechsel 194
14.3.2 Glycolyse als gemeinsamer Startpunkt aerober und anaerober Abbauwege 194
14.3.3 Aufbau der anaeroben Stoffwechselkette 196
14.3.3.1 Erste Phase: Hydrolyse 197
14.3.3.2 Zweite Phase: Acidogenese 197
14.3.3.3 Dritte Phase: Acetogenese und Methanogenese 200

14.4 Enzyme als Katalysatoren biochemischer Reaktionen 201
14.4.1 Definition und Nomenklatur 201
14.4.2 Funktion 202
14.4.3 Aufbau und Lokalisierung 202
14.4.4 Kinetik 204
14.4.5 Regulation 206

14.5 Technische Umsetzung 208
14.5.1 Inbetriebnahme 209
14.5.2 Verfahrensparameter 210
14.5.2.1 Sauerstoff 210
14.5.2.2 pH-Wert 211
14.5.2.3 Verweildauer 211
14.5.3 Methoden zur Erhöhung der Bakteriendichte im Reaktor 212
14.5.4 Vergärungsprozesse, unterschieden nach der Prozessführung 213

14.5.4.1 Einstufige Prozesse ... 213
14.5.4.2 Zweistufige Prozesse ... 216
14.5.5 Vergärungsprozesse, unterschieden nach Trockensubstanzgehalt des Ausgangsmaterials ... 218
14.5.5.1 Trockenfermentation ... 219
14.5.5.2 Nassfermentation ... 220
14.5.6 Vergärungsprozesse, unterschieden nach der Betriebstemperatur ... 221
14.5.6.1 Mesophile Prozesse ... 221
14.5.6.2 Thermophile Prozesse ... 223
14.5.7 Energiebilanz ... 224

14.6 Spezialfall Speisereste-Verwertung ... 225
14.6.1 Rechtliche Grundlagen ... 225
14.6.1.1 Tierkörperbeseitigungsgesetz ... 225
14.6.1.2 Viehverkehrsordnung ... 226
14.6.2 Verwertungsmöglichkeiten ... 226
14.6.3 Ausblick ... 229

15 Aerobe Behandlung ... 231

15.1 Einführung und Geschichte ... 231

15.2 Biochemische Stoffwechselprozesse ... 232
15.2.1 Prinzipielle Schritte der Energiegewinnung aus organischem Material ... 233
15.2.1.1 Erste Ebene: Zerlegung großer Moleküle in kleine Untereinheiten ... 234
15.2.1.2 Zweite Ebene: Direkte Verwendung dieser kleinen Untereinheiten oder Umbau zu wenigen einheitlichen Grundsubstanzen ... 234
15.2.1.3 Dritte Ebene: Nutzung der gewonnenen Grundsubstanzen zur Energiegewinnung ... 234
15.2.2 Abbau von Lipiden ... 235
15.2.2.1 Grundlagen ... 235
15.2.2.2 Abbaureaktionen ... 236

15.2.2.2.1 Abbau von Fetten zu Glycerin und Fettsäuren 236
15.2.2.2.2 Abbau von Glycerin zu Acetyl-CoA 236
15.2.2.2.3 Abbau von Fettsäuren zu Acetyl-CoA bzw. Succinyl-CoA 238
15.2.3 Abbau von Proteinen 240
15.2.3.1 Grundlagen 240
15.2.3.2 Abbaureaktionen 242
15.2.3.2.1 Abbau von Proteinen zu Aminosäuren 243
15.2.3.2.2 Abbau oder Weiterverwendung der Aminosäuren 244
15.2.4 Abbau von Kohlenhydraten 246
15.2.4.1 Grundlagen 247
15.2.4.2 Abbau der Polysaccharide zu Di- und Monosacchariden 250
15.2.4.2.1 Abbau von Cellulose 251
15.2.4.2.2 Abbau von β-1-4 Xylan 252
15.2.4.2.3 Abbau von Stärke 252
15.2.4.2.4 Abbau von Chitin 253
15.2.4.3 Verwertung der Monosaccharide 254
15.2.5 Abbau von Lignin 255
15.2.5.1 Grundlagen 255
15.2.5.2 Abbau 258
15.2.6 Gemeinsame Wege zur Energiegewinnung aus dem Abbau der verschiedenen Ausgangssubstanzen 259
15.2.6.1 Citratcyclus 261
15.2.6.2 Glyoxylatcyclus 261
15.2.6.3 Atmungskette und Oxydative Phosphorylierung 262

15.3 Technische Umsetzung 264

15.3.1 Konkreter biologischer Ablauf des Rotteprozesses 264
15.3.1.1 Abbauphase 265
15.3.1.2 Umbauphase 266
15.3.1.3 Aufbauphase 266
15.3.2 Verfahrensparameter 267

15.3.2.1 Temperatur ... 267
15.3.2.2 Wasser ... 268
15.3.2.3 Sauerstoff ... 268
15.3.3 Häusliche Eigenkompostierung ... 270
15.3.4 Einführung in die Kompostierungstechnik ... 273
15.3.5 Energiebedarf ... 274
15.3.6 Rottesysteme ... 275
15.3.6.1 Dynamische Systeme ... 275
15.3.6.1.1 Rottetürme (Reaktortürme) ... 275
15.3.6.1.2 Rottetrommeln ... 277
15.3.6.2 Statische Systeme ... 279
15.3.6.2.1 Mietenkompostierung mit natürlicher Belüftung ... 279
15.3.6.2.2 Mattenverfahren ... 282
15.3.6.2.3 Mietenverfahren mit künstlicher Belüftung ... 283
15.3.6.2.4 Künstlich belüftete Hallen ... 284
15.3.6.2.5 Zeilenkompostierung ... 285
15.3.6.2.6 Tunnelkompostierung ... 286
15.3.6.2.7 Brikollareverfahren ... 289
15.3.6.2.8 Boxen- oder Containerkompostierung ... 290
15.3.7 Bestandsaufnahme zur Kompostierungstechnik in Deutschland ... 291
15.3.8 Vergleich alter und neuer Bundesländer ... 293
15.3.9 Quintessenz ... 294

15.4 Spezialfall Klärschlamm-Kompostierung ... 295

16 Feinaufbereitung nach der biologischen Behandlung ... 299

16.1 Aufbereitung des Biogases ... 299
16.1.1 Reinigung ... 300
16.1.2 Methananreicherung ... 302
16.1.3 Speicherung ... 303

16.2 Aufbereitung der Gärreste ... 304

16.3 Aufbereitung des gerotteten Kompostmaterials 305
16.3.1 Zerkleinerung und Siebung 306
16.3.2 Schwerstoffabscheidung 306
16.3.3 Folienabscheidung 306

16.4 Konfektionierung und Lagerung 308

16.5 Massenbilanzen 308

17 Emissionen und Emissionsminderung 311

17.1 Lärm 311

17.2 Staub 311

17.3 Abgase 312

17.4 Ungeziefer 312

17.5 Geruch 313
17.5.1 Gesetzliche Grundlagen 313
17.5.2 Arten von Geruchsstoffen 314
17.5.3 Entstehungsorte 315
17.5.4 Minimierung von Geruchsemissionen 316
17.5.4.1 Primärmaßnahmen 317
17.5.4.2 Sekundärmaßnahmen 318
17.5.4.2.1 Biofilter 318
17.5.4.2.2 Biowäscher 320
17.5.4.2.3 Thermische und katalytische Nachverbrennung 320
17.5.5 Geruchsimmissionsprognose 320
17.5.6 Messung von Geruchsimmissionen 321
17.5.6.1 Geruchskonzentration 322
17.5.6.2 Geruchsintensität 322
17.5.6.3 Hedonik 322

17.5.6.4 Zeitpunkt und Dauer ... 322
17.5.6.5 Häufigkeit der Geruchsemission ... 323

17.6 Abwasser ... 323
17.6.1 Rechtliche Grundlagen ... 323
17.6.2 Herkunft des Abwassers ... 324
17.6.3 Aufkommen ... 324
17.6.4 Abwasser-relevante Parameter ... 325
17.6.5 Konsequenz aus den Analysen ... 327
17.6.6 Aufbereitungsverfahren ... 328
17.6.6.1 Entfernung von Kleinstpartikeln ... 328
17.6.6.2 Eliminierung hoher Stickstoff- und Kohlenstofffrachten ... 328
17.6.6.3 Membrantechnologien ... 328
17.6.6.4 Adsorption ... 329
17.6.6.5 Katalytische Oxidation ... 329

17.7 Keime ... 329
17.7.1 Grundlagen zur Emission von Keimen ... 330
17.7.1.1 Arten von Keimen ... 331
17.7.1.2 Trägermedium Luft ... 332
17.7.1.3 Medizinische Bedeutung der Mikroorganismen ... 332
17.7.1.4 Beurteilung der hygienischen Relevanz von Keimemissionen ... 333
17.7.2 Chronologie der Verbreitung von Keimen ... 334
17.7.2.1 Hygienische Aspekte bei der Sammlung ... 335
17.7.2.2 Hygienische Aspekte bei der Abholung ... 336
17.7.2.3 Hygienische Aspekte bei der Behandlung ... 337
17.7.2.4 Hygienische Aspekte bei der Anwendung ... 338
17.7.3 Minimierung von Keimemissionen ... 338
17.7.4 Schlussfolgerungen ... 340

18 Abschlussuntersuchungen 343

18.1 Hygienische Anforderungen an Prozesse und Produkte 343

18.1.1 Nachweis des Hygienisierungserfolges 343

18.1.2 Charakterisierung hygienisch relevanter Organismen 344

18.1.2.1 Phytohygienisch wichtige Organismen 344

18.1.2.2 Seuchenhygienisch wichtige Organismen 345

18.1.3 Hygienisierungsprozess bei der Vergärung 347

18.1.4 Durchführung und Kontrolle der Hygienisierung im Rottegut 350

18.1.4.1 Hygienisierung durch Antibiotika 350

18.1.4.2 Hygienisierung durch die Temperatur 351

18.2 Stoffliche Anforderungen an die Produkte 352

18.2.1 Körnung 353

18.2.2 Rottegrad und Pflanzenverträglichkeit 353

18.2.3 Wassergehalt 353

18.2.4 Gehalt an organischer Substanz 354

18.2.5 C/N-Wert 354

18.2.6 pH-Wert 354

18.2.7 Pflanzennährstoffe 355

18.2.8 Salzgehalt 356

18.2.9 Spurenelemente/Schwermetalle 356

18.2.9.1 Gehalt und Grenzwerte 357

18.2.9.2 Herkunft 361

18.2.10 Organische Schadstoffe 363

19 Produkte, Verwendung, Vermarktung 365

19.1 Biogas 365

19.1.1 Verwendungsmöglichkeiten von Biogas 365

19.1.1.1 Einspeisung ins öffentliche Gasnetz 366

19.1.1.2 Verbrennung in Feuerungsanlagen ... 366
19.1.1.3 Verbrennung in Wärmekraftmaschinen ... 367
19.1.1.3.1 Verbrennungsmotoren ... 367
19.1.1.3.2 Gasturbinen ... 369
19.1.1.4 Nutzung in Brennstoffzellen ... 370

19.2 Kompost ... 372
19.2.1 Kompostarten ... 372
19.2.1.1 Unterscheidung nach dem Ausgangsmaterial ... 372
19.2.1.2 Differenzierung nach dem Reifegrad ... 373
19.2.1.3 Unterscheidung nach dem Grad der Aufbereitung ... 374
19.2.1.4 Unterscheidung nach Düngemitteltyp ... 374
19.2.2 Verwendungsmöglichkeiten von Kompost ... 374
19.2.2.1 Einmal Abfall, immer Abfall?! ... 375
19.2.2.2 Gleichwertigkeit gegenüber anderen Düngemitteln ... 376
19.2.2.3 Landwirtschaftliche Verwertung ... 377
19.2.2.4 Garten- und Landschaftsbau ... 378
19.2.2.5 Produktionsgartenbau ... 379
19.2.2.6 Weinbau ... 380
19.2.2.7 Forstwirtschaft ... 381
19.2.2.8 Bedarf seitens der öffentlichen Hand ... 381
19.2.2.9 Erdenwerke ... 382
19.2.2.10 Technische Anwendungen ... 382
19.2.3 Bedeutung der durch Kompost substituierten Produkte ... 382
19.2.3.1 Wirtschafts- und Mineraldünger ... 383
19.2.3.2 Rindenhumus ... 384
19.2.3.3 Torf ... 385
19.2.4 Vermarktung von Komposten ... 385
19.2.4.1 Marktanalyse ... 386
19.2.4.2 Inhalte einer möglichen Imagekampagne für Kompost aus Bioabfällen ... 388
19.2.4.3 Probleme ... 389
19.2.4.4 Prognosen ... 391

20 Qualitätsmanagement 395

20.1 Elemente des Gütesicherungssystems 395
20.1.1 Güterichtlinien für Kompost 396
20.1.2 Fremdüberwachung 396
20.1.3 Deklarationspflicht 397
20.1.4 Angaben zur Anwendung 397
20.1.5 Konsequenzen bei mangelnder Qualität 398

20.2 Gütezeichen in der Bioabfallwirtschaft 398

21 Vergleich und Bewertung verschiedener Behandlungsverfahren 401

21.1 Technisch-wirtschaftlicher Verfahrensvergleich 402
21.1.1 Eignung und Realisierbarkeit 403
21.1.2 Unterschiede in der Verfahrenstechnik 404
21.1.3 Flächen- und Raumbedarf 404
21.1.4 Emissionspotential 406
21.1.5 Endprodukte 407
21.1.6 Energie 407
21.1.7 Kosten 408
21.1.8 Ergebnisse 408

21.2 Ökobilanz verschiedener Entsorgungswege für organische Abfälle 409
21.2.1 Bewertungskriterien 410
21.2.2 Verglichene Entsorgungsszenarien 411
21.2.3 Ergebnisse 412

22 Spezialfall biologisch abbaubarer Kunststoffe 417

22.1 Rechtliche Grundlagen 417

22.2 Ausgangsmaterial und Herstellung 418

22.3 Einsatzgebiete 419

22.4 Biologischer Abbau 420

22.5 Erfassung von Produkten aus biologisch abbaubaren Werkstoffen 422

22.6 Sammlung, Transport und Sortierung 422

22.7 Zertifizierung von Produkten aus biologisch abbaubaren Werkstoffen 423

22.8 Wege zur Verwertung und Beseitigung biologisch abbaubarer Kunststoffe 424

23 Perspektiven der Bioabfallwirtschaft 427

23.1 Stand und Perspektiven der aeroben Abfallbehandlung in Europa 427

23.1.1 Status quo der getrennten Erfassung organischer Abfälle 427

23.1.2 Verwendung des erzeugten Kompostes 429

23.1.3 Entwicklungspotential bei der Getrennterfassung und Vermarktung 430

23.2 Stand und Perspektiven der anaeroben Abfallbehandlung 432

23.2.1 Stand der Anaerobtechnik in Deutschland 432

23.2.2 Internationaler Stand der Anaerobtechnik 433

23.2.3 Entwicklungs- und Exportpotentiale 434

23.3 Ausblick 435

24 Anhang 437

24.1 Abkürzungsverzeichnis 437

24.2 Glossar 441

24.3 Literaturverzeichnis 461

24.4 Strukturformelverzeichnis 479

24.5 Tabellenverzeichnis 481

24.6 Bildverzeichnis 483

24.7 Schlagwortverzeichnis 489

24.8 Inserentenverzeichnis 503

Dank

24.7

Schlagwortverzeichnis

A

Abbau
-geschwindigkeit 211
-leistungen 166, 210, 216
-phase 265
-raten 188, 210, 211, 224
Abbau von Antibiotika 210
Abbau von Aromaten 210
Abfall 62
-ablagerungsverordnung 24, 56
-aufkommen 73
-bilanz 125
-eigenschaften von Kompost 375
-erzeuger 79
-gebühren 87, 89
-politik 36
-vermeidung 420
Abfuhrorganisation 101
Abgas 312, 319, 406
-reinigung 312
Abholrhythmus 340
Abkühlungsphase 266
Ablagerungskriterien 24
Abluft 319, 320
-mengen 276, 288
-reinigung 318, 338
Abrieb 363
Absatz
-chancen 387, 391, 392, 407
-sicherheit 387
Abwasser 269, 323
-reinigung 328
Acetogenese 200, 210
Acetyl-CoA 192, 203, 261
Acidogenese 197, 210
Actinomyceten 141, 149, 156, 62, 173, 251, 254, 275, 350
thermophile 345
aerob 136, 169
aerober
Kohlenstoffkreislauf 26
Stoffwechsel 194
aerogene Freisetzung von Keimen 335
aerotolerant 151, 169
Aktivierungsenergie 202
Aktivkohle 385
Akzeptanz 94, 97, 122, 296
Algen 149
Alkohol 73, 197, 314
-Dehydrogenase 202
Allergien 332, 337
Alles-oder-Nichts-Prinzip 207
Altpapier 363
Ameisensäure-Gärung 199
Aminosäuren 197, 240, 243
Ammoniak 211, 272
Ammoniumpuffer 211
Anabolismus 189
anaerob 136, 151, 169
anaerobe
Atmung 28, 201
Bakterien 150, 167
Kohlenstoffkreislauf 27
Nahrungskette 152
Photosynthese 28
Stoffwechsel 194
Anaerobfilter 213
Anfangswassergehalt 266
Animpfen 266
Anlagen
-auslastung 295
-größe 121
-kapazität 121
-zahlen 188, 232
Anlaufphase 265
Anlieferung 125
anmaischen 183, 220, 324
Annahmebereich 125, 126
Anreize
finanzielle 85, 92
Anschluss- und Benutzungszwang 82, 100
Anschlussgrad 80
Antibiotika 142, 143, 151, 350
Anwendung 335
Anwendungsempfehlungen 395, 397
AOX-Wert 325, 329
arbeitsmedizinische Relevanz
von Keimemissionen 330
Arbeitsschutz 105
Arbeitssicherheit 103

Arsenvergiftung 196
Arten von Bodenbakterien 155
Artenspektrum 222, 223
Aspergillus 143, 156, 350
Aspergillus fumigatus 346
Asseln 162
Assimilation 189
Asthma 332, 337, 340
Atemwegserkrankungen 332, 337
Atmung 30
Atmungskette 194, 240, 262
Atmungskettenphosphorylierung 262
ATP 189, 191
ATV-Arbeitsblatt A-115 324
ATV-Merkblatt 365 338
Aufbauphase 153, 266
Aufbereitung 175, 177, 311, 335
Aufenthaltszeit 288, 291
Auffaserungstechnik 184
Aufkonzentrierung von Schwermetallen 361
Aufsalzung 326
Ausgangsmaterial 188, 210, 292, 294, 299, 314, 317
Ausgangszustand
  des angelieferten Bioabfalls 125
Auslegung einer
  Bioabfallbehandlungsanlage 119
Austragssysteme 276
Autooxidation 266, 314
autotroph 140
α-Ketoglutarat 246

B

Bakterien 136, 49, 54, 155, 172, 251, 252, 254, 258, 332, 335
  acetogene 152, 200
  acidogene 197
  -aufbau 138
  -leuchthemmung 325
  mesophile 139, 168, 221
  methanogene 151, 173, 200, 211
  pathogene 331
  psychrophile 139, 168, 221
  thermophile 139, 153
Bakteriostatika 350
Bakterizide 350
Ballaststoffe 356
Bärtierchen 160
Basidiomyceten 156, 258
Basisbelastung von Kompost 361
basisch wirksame Stoffe 355
Baumschulen 379
Baurecht 294
Becherwerke 130
Befeuchtung 281
Behältergröße 84
Behandlungskapazität 188
Belüftung 268, 276, 279, 280, 291, 292
Belüftungstechnik 283, 287, 292
Benutzerkomfort 93, 102
Betonkorrosion 326
Betreiber von Kompostierungsanlagen 232
Betrieb
  diskontinuierlicher 210
  kontinuierlicher 210
Betriebssicherheit 215, 216
Bevölkerungsstruktur 70
Bewässerung 288
Bewurzelungstiefe 389
Bier 197
BImSchV 48
Bindung
  kovalente 202
Bindungsarten 242
  chemische 204
Bindungsstärke von Enzymen 205
Bioabfall 213, 219, 220, 222, 294
  -kompost 390
  -mengen 119
  -potential 70
  -verordnung 53, 55, 60, 343, 344, 348, 352, 357, 376, 418
Bioaerosole 337
Biofilter 284, 328, 338
Biofiltration 318, 320
Biogas 299, 367, 370
  -anlagen 188, 226
  -aufreinigung 302
  -ausbeute 211, 407
  -einspeisung 366
  -erträge 299
  -reinigung 300
biogene Abfälle
  aus Flugzeugen 72
  aus Privathaushalten 68
  des kommunalen Bereichs 71
biologische
  Aktivität 267, 280

Behandlung 335
biologisch abbaubare Werkstoffe 417
biologische Abbaubarkeit 420, 424
Bio
-kompost 372
-masse 43, 151, 212
-produktion 194, 209
-stoffverordnung 57
-tonne 100, 107, 272, 333, 335, 337, 340, 341, 420, 422
-toxizität 210, 211, 411
-turbation 164
-tüten-Krimi 96
-wäscherverfahren 320
Blausäurevergiftung 206
Blei 356, 358, 361
Blockheizkraftwerk 369
Blumenerde 333
Boden
-fauna 147
-flora 147, 149
-gefüge 389
-hilfsstoffe 376, 377
-typen 360
-versauerung 377
-zusammensetzung 148
Bor 355, 356
Borstenwürmer 160, 161
Botulismus 333
Boxenkompostierung 290
Brennqualität 80
Brennstoffzelle 370, 372
Brikollareverfahren 289, 292
Bringsystem 79, 102
BSB_5-Wert 21, 325
Bundes
-Bodenschutzgesetz 49
-bodenschutz- und Altlastenverordnung 60, 360
-Bodenschutzverordnung 297
-gütegemeinschaft Kompost 395, 396
-Immissionsschutzgesetz 47, 312, 313
Butandiol-Gärung 199
Buttersäure-Butanol-Aceton-Gärung 200
β-Oxydation 238

C

Cadmium 356, 358, 362
Calcium 355
Carboanhydrase 204
Carbonatpuffer 211
Cellobiose 248, 251
Cellulose 141, 197, 249, 418
-abbau 251
chemische Zusammensetzung biogener Abfälle 77
Chemosynthese 189
chemotroph 140
Chemotrophie 136
chirurgisches Nahtmaterial 419
Chitin 141, 249
-abbau 253
Citratcyclus 196, 234, 240, 261
Clostridien 155, 333
C/N-Verhältnis 172, 354
CO 312
Coenzym 203
Coenzym A 203
Containerkompostierung 290, 292
Covergärung 226, 373
CSB-Wert 21, 325, 329
Cyanobakterien 149
Cysten 35, 84, 86, 100, 109, 114, 123

D

Dampfturbine 367
Decarboxylierung 244
oxydative 196
Definition
Abfall 40, 46
Bioabfall 53, 63
biologisch abbaubarer Abfall 42
biologische Arbeitsstoffe 57
Enzyme 201
Geruchsstunde 322
Keime 331
Kompostierung 231
Mikroorganismen 57
Öffentlichkeitsarbeit 88
organische Verwertung 418
Vergärung 187
Ware 41
Zelle 131
Deklaration 354, 355
Deklarationspflicht 395, 397
Dekontamination 352
Deponie als Biotop 23
Deponiegas
-bildung 18

-menge 18
-sickerwasser 323
-zusammensetzung 18
Deponierung 16
Desaminierung 245
Desinfektionsmittel 139, 360
Destruenten 25, 26, 27, 28, 30
Diffusion 170, 268
Dihydroxyacetonphosphat 236
DIN V 54900 418, 423
Direkteinleitung 326, 328
Disaccharide 248
Dissimilation 30, 189
Dosierung von Bioabfall 127
Drehtrommel 185
-fahrzeuge 115
Dreiecksmieten 279, 292
Drucksystem 269, 292
Duales System 423
Düngemittel 358, 362
-gesetz 48, 376
-typ 376
-verordnung 54, 59, 376
Düngeverordnung 58
Durchmischung 280
Dusseldorp-Urteil 41

E

E. coli 346
Eigen
-feuchte 324
-kompostierung 270, 272
-kontrolle 352
-überwachung 395
Eignung biogener Abfälle
für die biol. Behandlung 77
Eingangskontrolle 125
Einhausung 318, 338
Eintragspfade von Schwermetallen 361
Eintragsvorrichtung 284
Einwegverfahren 105
Einzeller 135, 156
Eisenmetallabscheidung 305
Elektronenakzeptor 194, 197
Elektronendonator 140, 194, 197
Emissionen 122, 272, 311
Emissionspotential 407
endergon 189
Endotoxine 331
Energie 191, 224
-bilanz 407
-Einspeise-Gesetz 226
elektrische 366, 367, 369
freiwerdende 194
-gewinn 200
-quelle 140
mechanische 367, 369
verwertbare 234
Energiebedarf
von Kompostierungsanlagen 274
Energiegewinnung 259
aus organischem Material 233
Energiequellen
erneuerbare 43
Enterobakteriaceen 345
Entleerungsturnus 101
Entsalzung 329
Entschwefelung 302
durch mikrobielle Oxidation 301
durch oxydative Gaswäsche 301
mit Raseneisenerz 300
mittels Aktivkohle 301
von Biogas 300
Entsorgungs
-alternativen 411
-konzepte 188
-sicherheit 63, 121, 297, 398
Entwässerung 221, 280
Entwässerungsmethoden 304
Enzymaktivität 204, 207
Enzyme 192, 243, 262
extrazelluläre 197
Enzymkinetik 204
Enzymregulation 206
Enzym-Substrat-Komplex 204
Erdenwerke 382, 387
Erdgeruch 141, 142
Erdkompost 374
Erfassung 422, 424, 425
getrennte 79, 80, 82, 93
Erfassungs
-hindernisse 81
-qualität 92
-quote 79, 91, 93, 102, 120
Erneuerbare-Energien-Gesetz 50
Ernterückstände 73
Erosion 165
Essigsäure 152
Eukaryonten 133

europäische
Deponierichtlinie 42
Deponieverordnung 24
Klärschlammrichtlinie 41
Verpackungsverordnung 418
europäisches
Abfallrecht 40
Umweltstrafrecht 44
Eutrophierungspotential
aquatisches 410, 413
terrestrisches 410, 412
Exoenzyme 243
Exotoxine 331

F

Fadenwürmer 158, 159
Fahrzeug
-antrieb 368
-waage 125
fakultativ aerob 139
fakultativ anaerob 139, 151, 169
fakultative Anaerobier 210
Faulraumauslastung 220
Fein
-aufbereitung 289, 299, 305
-staub 411, 413
-zerkleinerung 182, 404
Fernwärmenetz 366
Fertigkompost 373, 374, 392
Fest-Flüssig-Trennung 216
Fettabscheiderinhalte 75
Fette 234, 235, 236
Fettsäuren 197, 236, 238
gesättigte 235
ungesättigte 235
Feuerungsanlagen 365, 366, 367
Filterung 326
Filtrationsverfahren 328
Fischgiftigkeit 325
Flachsiebe 181
Flächenbedarf 404
Flechten 149
Fließgleichgewicht 189, 192
Flüssig
-dünger 304, 327
-futter 227
Folienabscheidung 306
Formiat 152
Förder
-bänder 128
-geräte 130
-schnecken 129
Forstwirtschaft 381
Fremdüberwachung 395
Fremdüberwachungszeugnis 396
Friedhofsabfälle 71, 72
Frischkompost 373, 391
Frontlader 112, 127
Fructose 248, 255
Fungistatika 350
Fungizide 350

G

Galactose 255
Gärprodukte
primäre 152
sekundäre 152
Gärrest 304
Gartenabfälle 270
Garten- und Landschaftsbau 378, 387
Gärung 28
alkoholische 199
Gas
-ausbeute 220, 224
-bildungsrate 211
-ertrag 19
-speicherung 303
-turbine 367, 369
-qualität 366
Gasreinigung
adsorptives Verfahren 302
im Druckwechsel-Adsorptionsverfahren 302
im Membranverfahren 303
mit Druckwasserwäsche 302
Gebühren 83, 87, 100
-ermittlung 84
Gefährdungshaftung 51
Gehalt an organischer Substanz 354
Geißeltierchen 157
gemahlener Pfeffer 336
genehmigungsrechtliche Voraussetzungen 274
Generierung
von Alkoholen 199
von Buttersäure 199

von Essigsäure 198
von Milchsäure 198
von Propionsäure 199
Geosmin 142, 267
Gerbsäuren 271
Geruch 284, 313, 318, 406
Geruchs
-emissionen 22
-entstehung 314
-häufigkeiten 323
-immissions-Richtlinie 314, 323
-intensität 321, 322
-konzentration 321, 322
-mindernde Maßnahmen 316
-schwelle 322
-stoffe 313, 314, 320
Gesamt
-bakterienzahl 345
-keimzahlen 335
-müll 331
-pilzzahl 345
Geschichte der
Anaerobtechnik 187
Kompostierung 231
geschwindigkeitsbestimmender Schritt 197, 201, 213
Gewässerunterhaltung 71
Gewerbeabfälle 294
pflanzlicher Herkunft 72
tierischer Herkunft 72
Gewürze 336
Gleichwertigkeit von Düngemitteln 377
Gliederfüßer 159, 162
Glucose 248, 254
Glühverlust 75, 353, 354
Glycerin 236
Glycerinaldehyd-3-phosphat 236
Glycolyse 194, 236
Glyoxylatcyclus 261
Goretex-Verfahren 283
Grob
-filter 300
-stäube 312
-zerkleinerung 178
Grünabfall 294
-menge 119
Grundgesetz 33
Grundstoffwechsel 189, 233
Grundwasser 20
Grünflächenämter 381
Grüngut 68
Gummi 142
Gurtbandförderer 127
Güterichtlinien 395
Gütezeichen 395, 396
Gärprodukte 399
Kompost 398

H

H_2 152
H_2S 300, 314
Hammermühle 289
Hämoglobin 207
Handlese 178
Hauptnährstoffe 355
Hecklader 112
Hedonik 321, 322
Hefen 150, 156
Heizwert 18
für selbstgängiges Brennen 15
von Bioabfall 15
von Biogas 365
von Deponiegas 18
von Hausmüll 15
Hemmung
allosterische 207
irreversible 206
kompetitive 206
reversible 206
Herkunft
biogener Abfälle 67
biogener Gewerbeabfälle 72
von Schwermetallen 361
heterotroph 140, 146
Hexose 247
Hintergrundbelastung 333
Hitzeschädigung 266
Hochleistungsreaktoren 216
Holsystem 79, 102
Holzabfälle 72
Homogenisierung 184, 186, 275, 278
Honig 333
Hornmilben 160
Humantoxizität 410, 411
Humifizierung 149, 165
Humus 258
Hydrolyse 16, 197, 210, 211, 216
-reaktor 216

Hygiene 103, 297
-Baumusterprüfsystem 344
in der Biotonne 107
hygienische Relevanz
von Keimemissionen 333
Hygienisierung 15, 216, 222, 224, 226, 266, 271, 272, 278, 279, 295
bei der Kompostierung 350
bei mesophiler Vergärung 347
bei thermophiler Vergärung 347
Hygienisierungs
-reaktor 229
-stufe 226
-temperatur 351
Hyphen 143

I

Imagekampagne für Kompost 388
Inbetriebnahme 209
Indikatororganismen 344, 346
Indirekteinleitung 326, 328
Induced-fit-Modell 204
Industrie
chemische 75
Informationspolitik 94
Insekten 162, 335
-larven 160
Insektizide 313
Intensivrotte 265, 289
Intermediär
-produkte 234
-stoffwechsel 189, 261
Inverkehrbringen 375
ISO 14040 409

K

Kalium 355
Kapazität 292, 293
Karies 141
Katalase 151
Keime 330, 331, 332
Keim
-emissionen 407
-emissionsminderung 338
-pflanzenversuch 353
-quelle 332
primäre 335
-vermehrung 335
Keramikfilter 300
Kläranlagen 71, 323, 327
Klärschlamm 71, 72, 276, 294, 295
-aufkommen 71
-entsorgungskonzept 295
-kompost 372, 389
-kompostierung 296
-produkte 360
-vergärung 296
-verordnung 54, 60, 295, 360, 376
-verwertung 295, 296, 297
Kleinlebewesen 267
Kleinstpartikel 326, 328
Kohlendioxid 152
Kohlendioxid-Methan-Kreislauf 28
Kohlenhydrate 197, 234, 246
Kohlenmonoxyd-Vergiftung 263
Kohlenstoffquelle 140
Kompensation des Rotteverlustes 284, 286
Kompost 76, 345, 358, 363, 404, 407, 408
-absatz 386
als Produkt 375
aus Gärresten 373, 392
-lager 308
-lehrpfad 82
-nutzung 377, 378, 379, 381, 382
-qualität 182, 425
-rohstoff 184, 372, 373
-wurm 164
Kompostierung 27, 30, 116, 117, 171, 418, 421, 423, 425
Kompostierungstechnik 292
Kondensation 300
Kondensationsabscheider 300
Kondenswasser 324
Konfektionierung 308, 311
Konfliktpotential 89
Konformitätsprüfung 344
Konsumenten 25, 26, 28, 30
Kontaktreaktoren 213
Kontamination 332
Konzept des Kumulierten
Energieaufwandes 401
Kooperationsprinzip 35
Koordinatenumsetzer 292
Korrosion 270, 326
Körnung 353
Kosten-Nutzen-Analyse 401
Kraft-Wärme-Kopplung 224, 367, 369

Krananlagen 127
Krankheitsbilder 332
Krebsrisikopotential 410, 411, 412
Kreislauf
-führung 326, 327
-systeme 25
-wirtschaft 25, 92, 418
Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 40, 46, 52, 94, 99, 341
Kreisschwinger 306
Krümelstruktur 165
Küchenabfälle 68, 171, 270, 272
Kultobjekt Biotüte 95
Kupfer 355, 356, 358, 362
Kurzzeitmischer 186

L

Lachgas 272
Lagerung 335
Landwirtschaft 377, 385, 386, 387, 391, 392
Langzeitmischer 186
Länder
asiatische 231
Lärm 62, 311
-emissionen 406
Laub
-aufkommen 70
von Straßenbäumen 72, 361
Leichengifte 245
Life Cycle Assessment 402
Lignin 141, 197, 255, 418
-abbau 258
-aufbau 256
Ligninase 258
Lipasen 236
Lipide 235
lithotroph 140
Logistik 100, 111
Lokalisation von Enzymen 204
Luft 62, 332
-pfad 362, 363
-porenvolumen 76, 119, 170
-proben 337
-setzmaschinen 306
-verunreinigungen 313

M

Magnesium 355
Magnetscheider 182
Maillardreaktionen 266
Makroelemente 168
Maltose 248
Mangan 355, 356
Markt
-analyse 386
-entwicklung 387
Massenbilanz
der Kompostierung 309
der Vergärung 308
Massentierhaltung 29
Mattenverfahren 282
Maßnahmen
schallmindernde 311
staubmindernde 312
mechanisch-biologische Anlagen 323
Megafauna 162
Mehrzeller 136
Membrantechnologien 328
Mengenprognose für Bioabfall 120
Menschen
abwehrgeschwächte 340
Mesofauna 159
Metabolismus 189
Metaboliten 192
Metazoa 154, 156, 158
Methan 18, 152, 299
-ausbeuten 216
-bildung 17, 196
Methanococcus 152
Methanogenese 200, 210, 211
Methanol 152
Methanosarcina 152
Methylamin 152
Michaelis-Menten-Gleichung 205
Mieten 170
-form 279
-kompostierung 289
-volumen 279
Mikro
-fauna 154
-flora 154, 155
-organismen 232, 318, 320, 330, 331
mesophile 153
pathogene 347
Milben 160, 267
Mineraldünger 360, 377, 378, 383, 389
Mineralisation 136, 164

Mineralisierung 149, 151
Mischung 185, 210
Molybdän 355, 356
Monosaccharide 248
Motivation 81
Mühlen 185
Mulch
-folien 419
-kompost 374
Müll
-bunker 126
-großbehälter 106
-großcontainer 107
-werker 337
Multienzymkomplex 204, 237, 240
Mycel 141, 144
Myxotoxine 331

N

Nachrotte 266, 275, 282, 283, 289, 291, 304, 305, 405
Nachverbrennung
katalytische 320
thermische 320
Nährstoff
-bilanz 355
-bindungsvermögen 162
-träger 388
Nährstoffe 377, 381
mineralische 171
Nahrungs- und Genussmittelindustrie 73
Nassvergärung 220
NH_4-N 326
Nicht-kompetitive Hemmung 207
Nickel 356, 357, 358, 363
Niederschlag 324
Nomenklatur von
Enzymen 202
Kohlenhydraten 247
NO_x 312
Nucleinsäuren 201, 234

O

Oberfläche
spezifische 184
obligat aerob 139
obligat anaerob 139, 151
Öffentlichkeit
interne/externe 88
Öffentlichkeitsarbeit 71, 91, 95, 97
Ökobilanz 295, 402, 409
Ökosystem Boden 147
Öle 235
Öle und Fette
mineralische 325
Olfaktometer 321
Olfaktometrie 321
Optimierungspotential
für die Vergärung 209
für PR 97
Ordnungskriterien 56, 63
organische
Säuren 197, 314
Organismen
heterotrophe 189
phototrophe 189
organotroph 140
Ost-West-Gefälle 295
Oxidation
katalytische 329
Ozonabbau
stratosphärischer 410

P

Papier 69, 73, 294
Paprikapulver 336
Paraffin 142
parasitisch 146
Penicillin 75
Penicillium 143, 156, 345, 347, 350
Pentose 247
Pflanzen
-abfälle 270, 282
-nährstoffe 162, 170
-produktion 73
-schutzmittel 363
-verträglichkeit 353
Pflicht zur Beseitigung 225
pH-Wert 139, 146
Phosphat 355
Phosphorylierung
oxydative 234, 262
Photosynthese 29, 189
phototroph 140
Phototrophie 136
Phytohygiene 344
Pilzaufbau 143

Pilze 143, 149, 154, 155, 156, 162, 173, 251, 252, 254, 258, 275, 332, 335
pathogene 331
Plasmodium brassicae 345
Platzbedarf 276, 280
Plastikfolien 306
Plattenbänder 128
Polymilchsäure 419
Populationsstrategie 148
Press
-linge 289
-plattenfahrzeuge 116
-wasser 324
Primär
-energie 274
-struktur 240
Prinzip der ortsnahen Beseitigung 295
Probenahme 352
Produktionsgartenbau 379
Produzenten 25, 26, 28, 29
Prokaryonten 132, 138
Propaganda 88
Proteine 197, 234, 240, 243
Protozoa 154, 156
Prozess
-abwässer 323, 325
-hemmung 211, 213
-stabilität 210, 222
-steuerung 275
-prüfung
direkte 343, 344
indirekte 344
Prüforganismus 343
Public Relations 88
Puffer
-systeme 211
-wirkung 173
Pyrolyse 314
Pyruvat 193, 237
Pyruvat-Dehydrogenase 237

Q

Qualitäts
-anforderungen 396
-management 390, 395
-mängel 398
-sicherung 295
Quartärstruktur 242
Quecksilber 356

R

Rädertierchen 158
Radikale 256, 258
Radlader 292
RAL 395
-Gütesicherung 343
-GZ 251 398
-GZ 256/1 399
-GZ 256/2 399
-GZ 256/3 400
-GZ 995 400
Raschelsäcke 419
Ratten 313, 335
-gift 261, 313
Raumbedarf 404
Reaktionen 189
Reaktortürme 276
Realisierbarkeit 401
Rechtsverordnungen 373
Recycling 425
Regelungstechnik 216
Regenwürmer 162
regionalspezifische Kriterien 408
Reife
-phase 266
-kompost 373
Rekultivierung 378
Ressourcen
-beanspruchung
fossil 410, 413
mineralisch 410, 413
fossile 419
Restmüll 331, 335
-tonne 336
Rhizomucor 347
Rhizopus 347
Rinden
-humus 372, 383, 384, 389
-mulch 384
Ringelwürmer 160
Rohstoffe
nachwachsende 296, 418
Rote Karte 87
Rotte 197
-box 290
-container 290
-dauer 267, 270, 281, 282, 285
-führung 274
-grad 282, 289, 290, 291, 353
-hallen 284
-indikator 267

-prozess 168, 169, 173, 264, 267
-systeme
dynamische 275
statische 269, 279
-trommeln 277
-türme 275
-zeilen 285

S

Salmonella Senftenberg 346
Salmonellen 346, 347, 348
Salze 350
Salzgehalt 139, 356
Sammel
-fahrzeug 111, 116, 335, 336
-rhythmus 83
-system 71, 103
-techniken 330
Sammlung 99, 334, 336, 422
getrennte 101
systemlose 105
saprophytisch 146
Sauerstoff 268, 282
-bedarf 170
-kreislauf 29
-Toleranz 210
-versorgung 279, 283
Saug-Druck-System
kombiniertes 292
Saugsystem 269, 292
Säurebildung 16
Schadstoff
-abtrennung 177
-eintrag
in den Boden 412
in Gewässer 411, 413
-gehalt 295
-potential 182
Schadstoffe 297, 320, 360, 363
Schimmelpilzsporen 336
Schlamm
-abscheidesysteme 328
-bettreaktoren 212
Schlüssel-Schloss-Prinzip 204
Schnecken 162
-mühlen 178
-wellen 178
Schraubenmühlen 178
Schüttgewicht 119
Schüttungen 114
Schwebebettreaktoren 213
Schwebstaub 312
Schwefel
-bakterien 140, 301
-verbindungen 314
-wasserstoff 201, 210
Schwermetall
-eintrag in den Boden 411
-frachten 358
-gehalte 357
toxisches 411
Schwermetalle 211, 297, 325, 356, 360
Schwerstoffabscheidung 306
Seitenlader 112
Sekundär
-rohstoffdünger 59, 376, 377, 327, 388
-struktur 240
Selbsterhitzung 142, 268
Selbsterhitzungs
-temperatur 265
-versuch 353
Selbststerilisierung 266
Setzungen 22
Seuchenhygiene 313, 344
seuchenhygienische
Unbedenklichkeitsprüfung 346
Sickerwasser 19, 20, 269, 315, 319, 323, 324
-aufkommen 20
-belastung 20
-zusammensetzung 20
Sieb
-analyse 353
-durchgang 181
-fraktion 179
-typen 179
-überlauf 179, 181
Siebung 306
Siedlungs
-abfall 56, 63
-struktur 81, 120
Sink-Schwimm-Trennung 183
Sommersmogpotential 410, 413
Sortier
-band 178
-reste 184
Sortierung 423
SO_x 312
Spannwellensiebe 181
Spätphase 153
Spaßfaktor 91
Speicherung von Bioabfall 126
Speisereste 69, 73, 225, 356

Spezialkompost 374
Spinnen 162
Sporen 139, 331, 332, 351
-bildung 266
-tierchen 158
Springschwänze 160, 267
Spuren
-elemente 168, 355, 356
-nährstoffe 355
Standzeit 336
Stangensizer 181
Stärke 250, 418
-abbau 252
Staub 311, 319, 333, 406
Stickstoff 172, 326, 355
-kreislauf 30
-versorgung 163
Stoffe
kanzerogene 325
Stoffkreisläufe 149
stoffliche Verwertung von Klärschlamm 295
stoffliche Zusammensetzung
biogener Abfälle 75
Stoffwechsel
-gift 210, 211
-produkte 330, 331
-regulation 189, 192
-reservoir 192
Störstoff 188
-abtrennung 177
-analyse 179
-anteil 68, 91
-detektion 86, 125
-gehalt 80, 119, 305
Straßenkehricht 361
Streptococcus aureus 346
Streptomyces 142, 156, 345, 350
Strom 356, 358, 362
Struktur eines Enzyms 202
Strukturstabilität 175, 268
Substrat
-kompost 374, 382
-produktion 356
-spezifität 202
Succinat-Gärung 200
Südfrüchte 68
Superoxid-Dismutase 151

T

TA Luft 312, 313
Tabakmosaikvirus 345
Tafelmieten 279, 284, 292
TASi 19, 23, 63
Taupunkt 269
Teilnahmequote 95, 120
Temperatur 139, 146, 168, 268
Temperaturprofil 276
Tertiärstruktur 242
Testorganismen 343, 344
Tequila 197
Thermik 170
thermische Behandlung von BAW 425
thermotolerante Pilze 345
Thiobacillus 156
Tierkörperbeseitigungs
-anlagen 227
-gesetz 225
-recht 74
Tierproduktion 74
Tomatensamen 345
Ton-Humus-Komplexe 165
Torf 383, 384, 385, 389
Transaminierung 245
Transport 99, 111, 335
-wege 120, 121
Trapezmieten 279, 292
Treibhauseffekt 410, 411, 412
Treibstoff 367
Trocken
-gehalt 219, 220
-substanz 353, 356
anorganische 76
Trogkettenförderer 129, 275
Trommel
-kompostierung 292
-siebe 179, 306
Tunnelkompostierung 286, 292

U

UASB-Reaktoren 212
U-Boote 370
Übergang Pflanze/Tier 157
Übungspatronen 419
Umbauphase 266
Umleerverfahren 104

Umsetzen 266, 269, 280, 288
Umsetz
-gerät 281, 292
-systeme 280, 292
Umsetzung 284, 286, 292, 311
Umwelt
-bewusstsein 81
-einwirkungen
schädliche 313
-haftungsgesetz 51
-politik 33, 34
-relevanz von Deponiegas 19
-relevanz von Sickerwasser 21
-schutz 34, 35
-strafrecht 65
-verträglichkeitsuntersuchung 401
umweltpolitische
Instrumente 36
Ziele 34
Ungeziefer 107, 312, 406
-vermeidung 313
Unterflurbelüftung 278
Urnen 419

V

van-der-Waals-Kräfte 204
VDI-Richtlinie 3475 64
Verbrennung 15
von Biogas 366
Verbrennungsmotor 367
Veredelung 308
Verfahrensvergleich 401, 402, 409
Verfütterung 225, 226
Vergärung 28, 116, 150, 168, 169, 171, 172, 173, 175, 193, 219, 356, 418, 423, 425
nass 220
trocken 219
Vergärungs
-prozess
einstufiger 213
mesophiler 221
thermophiler 223
zweistufiger 216
-temperatur 221
Vermarktung 122, 298
Vermehrung
von Bakterien 138
von Pilzen 144
Verpackungen 335
Verpackungsverordnung 418, 422
Verrottung 279
Versauerung 164
Versäuerung 215
Versauerungspotential 410, 412
Verschleiß 276, 279
Verursacherprinzip 35
Verweilzeit 211, 215, 219, 275, 278
Verwendung von Biogas 365
Verwertung von BAW
energetische 425
Viehverkehrsordnung 225
Vielborster 160
Viren 131, 331, 332, 347, 348
Viroide 131
Vögel 335
Volumengewicht 76
Vorrotte 275, 278, 291
Vorsorgeprinzip 34, 48

W

Wachstums
-förderer 363
-geschwindigkeit 224
-raten 222
Wärme
-energie 366
-kraftmaschinen 365, 367, 369
-tauscher 274
Wasser 281, 406
-aufnahmevermögen 184, 268
-brücken 204
-dampf 269
-gehalt 76, 119, 167, 169, 171, 267, 268, 289, 353
-haltekapazität 381, 389
-haushalt 165
-pfad 362, 363
-stoff 197
-brücken 242
-donator 140
Weberknechte 162
Wechselverfahren 104, 107
Wechselzahl von Enzymen 204, 207
Wein
-bau 380
-qualität 381
Weltraumfahrzeuge 370
Wenigborster 161
Werbung 88, 96
Wertstoff
-erfassung 79
-potential 79, 232, 295
Wettbewerb 40, 41, 54

Wiederbelebungsvorgang 266
Wiederkäuer 29
Wimpertierchen 158
Windsichter 289, 306, 307
Wirbelbettreaktoren 213
Wirbeltiere 162
Wirkungsmechanismen von Antibiotika 350
Wirkungsspezifität 202
Wirtschaftsdünger 358, 377, 388
Wissensstand 81
Wohnstruktur 70
Würmer 267
Wurzelfüßler 157

X

Xylan 249
Xylanabbau 252
Xylose 248

Z

Zeilenkompostierung 285, 292
Zellaufbau 132
Zellen
  künstlich belüftete 284
  pflanzliche 134
  tierische 134
Zerkleinerung 174, 184
Zerlegung großer Moleküle 234
Zielgruppen 88
Zimmerpflanzen 336
Zimtsäure-Derivate 256
Zink 355, 356, 358, 363
Zucker 197
Zusammensetzung
  biogener, industrieller Abfälle 73
  des Ausgangsmaterials 188
  kommunaler, biogener Abfälle 71
  von Bioabfall 68, 69, 70
Zuschlagsstoffe 172
Zwangsbelüftung 292, 294
Zwischenlager 308