

KARL JOACHIM THOME-KOZMIENSKY

VERFAHREN UND STOFFE INDER KREISLAUFWIRTSCHAFT

EF

EF-VERLAG FÜR ENERGIE- UND UMWELTTECHNIK GMBH

Inhaltsverzeichnis

1.	Logistik.....	1
1.1.	Einführung.....	5
1.1.1.	Abfallsammlung und Direkttransport.....	6
1.1.2.	Umschlagstationen und Ferntransport.....	6
1.2.	Sammlung.....	6
1.2.1.	Haustechnik.....	7
1.2.1.1.	Schwachstellen bei der Planung.....	7
1.2.1.2.	Schwachstellen bei der Ausführung.....	9
1.2.2.	Umlenungsverfahren.....	9
1.2.3.	Gefäßwechselverfahren.....	16
1.2.4.	Einwegpackverfahren.....	18
1.2.5.	Pneumatische Sammlung.....	18
1.2.6.	Fahrzeuge.....	19
1.2.7.	Getrennte Wertstoff-Erfassung.....	21
1.2.7.1.	Abfallwirtschaftliche Bedeutung.....	23
1.2.7.2.	Erfassungssysteme.....	24
1.2.7.3.	Auswirkungen auf die Umwelt.....	26
1.2.7.4.	Auswirkungen auf das Entsorgungssystem.....	26
1.2.8.	Getrennte Schadstoff-Erfassung.....	28
1.2.8.1.	Ständige Annahme an zentralen Stellen.....	29
1.2.8.2.	Sammlung auf Abruf.....	29
1.2.8.3.	Periodische Sammlungen an zentralen Stellen.....	29
1.2.8.4.	Aufstellung von Containern.....	29
1.2.8.5.	Rückgabe durch den Handel.....	29
1.2.8.6.	Einrichtung und Aufbau einer Sammelstelle.....	29
1.2.9.	Literatur.....	30
1.3.	Umschlag.....	34
1.3.1.	Technische Gestaltung von Umschlagstationen.....	34
1.3.1.1.	Anlieferung.....	35
1.3.1.2.	Aufbereitung.....	35
1.3.1.3.	Beladung der Ferntransporter.....	38
1.3.1.4.	Bauliche Anlagen.....	39
1.3.1.5.	Wirtschaftlichkeit.....	39
1.3.2.	Systematische Einteilung nach der Verdichtung.....	39
1.3.2.1.	Umschlag ohne Verdichtung.....	40
1.3.2.2.	Umschlag mit Verdichtung.....	42
1.3.3.	Systematische Einteilung nach den Verkehrswegen.....	43
1.3.4.	Müllartenumschlag mit dem BHS-System.....	43
1.3.4.1.	Einleitung.....	43
1.3.4.2.	Aufbau und Funktion des RHS-Systems.....	43
1.3.4.3.	Einsatz des BHS-Systems in Bayern.....	45
1.3.5.	Literatur.....	46

1.4.	Transport	46
1.4.1.	Direkttransport.....	47
1.4.2.	Ferntransport.....	47
1.4.2.1.	Ferntransport auf der Straße.....	47
1.4.2.2.	Ferntransport auf der Schiene.....	47
1.4.2.3.	Wirtschaftlichkeit.....	48
1.4.3.	Literatur.....	48
1.5.	Neue Logistikkonzepte für Wertstoffe und Abfälle	49
1.5.1.	Einleitung.....	49
1.5.2.	Materialflußsysteme.....	49
1.5.2.1.	Direktverkehr.....	52
1.5.2.2.	Gebrochener und Kombiniertes Verkehr.....	53
1.5.3.	Zusammenfassung.....	62
1.5.4.	Literatur.....	64
2.	Aufbereitung	65
2.1.	Einführung	67
2.2.	Aufbereitungsverfahren	67
2.3.	Grundoperationen	69
2.3.1.	Zerkleinerung.....	70
2.3.2.	Oberflächenverkleinerung.....	73
2.3.3.	Klassierung.....	73
2.3.4.	Sortierung.....	76
2.4.	Literatur	79
3.	Biologische Verfahren	81
3.1.	Stellung in der Abfallwirtschaft	87
3.1.1.	Biologische Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland.....	87
3.1.1.1.	Biologische Abfallbehandlungsanlagen 1993.....	87
3.1.1.2.	Biologische Abfallbehandlungsanlagen 1995.....	87
3.1.1.3.	Literatur.....	95
3.1.2.	Moderne Konzepte zur Bioabfallverwertung in Berlin.....	96
3.1.2.1.	Ausgangssituation.....	96
3.1.2.2.	Moderne Konzepte zur Bioabfallverwertung.....	96
3.1.2.2.1	Planungsstand am Blockdamweg.....	96
3.1.2.2.2	Moderne Organisationsformen.....	97
3.1.2.3.	Zusammenfassung und Ausblick.....	97
3.2.	Rechtsnormen und Richtlinien	98
3.2.1.	Europäische Regelungen.....	98
3.2.2.	Regelungen auf Bundesebene.....	98
3.2.3.	Regelungen auf Länderebene.....	99
3.2.4.	Richtlinien.....	102

3.3.	Grundlagen der biologischen Abfallbehandlung.....	103
3.3.1.	Mikrobieller Stoffwechsel.....	104
3.3.1.1.	Aerober Stoffwechsel.....	107
3.3.1.2.	Anaerober Stoffwechsel.....	108
3.3.2.	Organismen des Rotteprozesses.....	109
3.3.3.	Bedingungen für Wachstum von Organismen.....	111
3.3.4.	Literatur.....	111
3.4.	Emissionen.....	112
3.4.1.	Schadstoffdetektion am Bioabfallsammelfahrzeug.....	112
3.4.1.1.	Einleitung.....	112
3.4.1.2.	Technik.....	112
3.4.1.3.	Feldversuch zur Schadstoffdetektion am Bioabfallsammelfahrzeug [5].....	113
3.4.1.3.1.	Störstoffe in Bioabfalltonnen.....	114
3.4.1.3.2.	Probefahrten und Sortierung von Bioabfalltonnen.....	115
3.4.1.3.3.	Kompostierung von Bioabfällen mit und ohne detektierten Metallen.....	116
3.4.1.4.	Handlungsvarianten bei Beanstandung der Bio-Tonne.....	117
3.4.1.5.	Ergebnis.....	118
3.4.1.6.	Literatur.....	118
3.4.2.	Geruchsemissionen und Sickerwasserprobleme bei aeroben und anaeroben Behandlungstechniken.....	119
3.4.2.1.	Kompostierung.....	119
3.4.2.1.1.	Geruchsemissionen.....	119
3.4.2.1.2.	Sicker- und Kondenswässer.....	127
3.4.2.1.3.	Staubemissionen.....	128
3.4.2.2.	Gärverfahren.....	128
3.4.2.2.1.	Geruchsemissionen.....	129
3.4.2.2.2.	Abwasser.....	129
3.4.2.3.	Zusammenfassung.....	129
3.4.3.	Keimemissionen bei der Kompostierung.....	133
3.4.3.1.	Einleitung.....	133
3.4.3.2.	Keimquellen.....	133
3.4.3.3.	Art und Menge der emittierten Keime.....	134
3.4.3.4.	Ausbreitung von Bioaerosolen aus Kompostwerken.....	142
3.4.3.5.	Schlußbetrachtung.....	142
3.4.3.6.	Literatur.....	143
3.5.	Genehmigungsverfahren.....	144
3.5.1.	Standort.....	144
3.5.2.	Genehmigungsantrag.....	145
3.5.3.	Genehmigung.....	146
3.5V3.1.	Genehmigungsverfahren.....	146
3.5.3.2.	Anforderungen an die Verfahrenstechnik.....	147
3.5.3.3.	Anforderungen an die Kompostqualität und Hygiene.....	148
3.5.3.4.	Auflagen für den Anlagenbetrieb.....	149
3.5.3.5.	Auflagen für das Betriebspersonal.....	150
3.5.3.6.	Auflagen für die Qualitätskontrollen.....	150
3.5.3.7.	Auflagen für den Arbeitsschutz.....	151
3.5.3.8.	Auflagen für den Immissionschutz.....	152

3.5.3.9.	Auflagen für die Überwachung der Gesamtanlage.....	153
3.5.4.	Literatur.....	153
3.6.	Kompostierung.....	153
3.6.1.	Grundlagen der Kompostierung.....	153
3.6.1.1.	Charakterisierung.....	153
3.6.1.2.	Verlauf des aeroben Abbauprozesses.....	153
3.6.2.	Anforderungen aus dem Aufkommen und der Zusammensetzung der Bioabfälle.....	155
3.6.2.1.	Bioabfälle aus Haushalten.....	155
3.6.2.2.	Bioabfälle aus dem Gewerbebereich.....	155
3.6.2.3.	Die Eigenkompostierung.....	156
3.6.3.	Anforderungen an den Standort.....	157
3.6.3.1.	Allgemeines.....	157
3.6.3.2.	Geeignete Standortwahl - zentral oder dezentral.....	157
3.6.4.	Verfahren der Kompostierung.....	158
3.6.4.1.	Rottesysteme.....	160
3.6.5.	Kompostqualität und -Vermarktung.....	165
3.6.5.1.	Kompostqualität.....	165
3.7.5.1.1.	Qualitätseinfluß des Ausgangsmaterials.....	165
3.6.5.1.2.	Anforderungen an den Kompost.....	167
3.6.5.1.3.	Schwermetalle.....	174
3.6.5.2.	Dioxine bei der Kompostierung.....	178
3.6.5.2.1.	Dioxingehalte im Kompost.....	178
3.6.5.2.2.	Auswirkungen auf den Einsatz von Kompost in der Landwirtschaft.....	186
3.6.5.2.3.	Entstehung von Dioxinen bei der Kompostierung.....	187
3.6.5.2.4.	Analyse der Datenlage.....	189
3.6.5.2.5.	Vorgaben zur Kompostanwendung.....	189
3.6.5.2.6.	Quellen- und Literaturverzeichnis.....	192
3.6.5.3.	Die Bedeutung des Kompost-Marketing.....	193
3.6.5.3.1.	Fehlendes Marketing.....	193
3.6.5.3.2.	Kompostierung in Flandern.....	193
3.6.5.3.3.	VLACO.....	193
3.6.5.3.4.	Kompostqualität.....	195
3.6.5.3.5.	Qualitätssiegel.....	195
3.6.5.3.6.	Vermarktungsstrategien.....	196
3.6.5.3.7.	Märkte und Nutzungsmöglichkeiten.....	197
3.7.	Vergärung.....	198
3.7.1.	Grundlagen der Biogasgewinnung [1].....	198
3.7.1.1.	Prinzipieller Aufbau von Biogasanlagen.....	198
3.7.1.2.	Stoffwechselprozesse beim anaeroben Abbau.....	198
3.7.1.3.	Einflußfaktoren und Kenngrößen des anaeroben Abbauvorgangs.....	200
3.7.1.4.	Literatur.....	203
3.7.2.	Entwicklungsstand ausgewählter Verfahren.....	204
3.7.2.1.	Das zweistufige aerob/anaerobe IMK-Verfahren zur Gewinnung von Biogas und hochwertigem Kompost.....	204
3.7.2.2.	MethaKomp - Vergärung von Bioabfällen.....	206
3.7.2.2.1.	Einleitung.....	206
3.7.2.2.2.	Leitlinien für das MethaKomp-Verfahren.....	206

3.7.2.2.3.	Verfahrensbeschreibung.....	208
3.7.2.2.4.	Verfahrensspezifische Merkmale.....	209
3.7.2.2.5.	Literatur.....	210
3.7.2.3.	Betriebserfahrungen mit dem einstufigen BTA-Verfahren.....	211
3.7.2.4.	Schwarting-Uhde-Verfahren.....	213
3.7.2.4.1.	Verfahrensbeschreibung.....	213
3.7.2.4.2.	Produkte.....	215
3.7.2.4.3.	Verfahrensmerkmale.....	216
3.7.3.	Zusammensetzung und Eigenschaften von Biogas.....	217
3.7.4.	Biogasaufbereitung und -nutzung.....	218
3.7.4.1.	Aufbereitung.....	218
3.7.4.1.1.	Entschwefelung.....	218
3.7.4.1.2.	Kohlendioxidabtrennung.....	221
3.7.4.2.	Nutzung.....	221
3.7.4.2.1.	Thermische Verwertung.....??	221
3.7.4.2.2.	Verwertung mit Kraft-Wärme-Kopplung.....	222
3.7.4.2.3.	Auslegung eines BHKW.....	225
3.7.4.3.	Literatur.....	226
3.7.5.	Behandlung des Überschußwassers aus der Naßfermentation von Bioabfällen.....	226
3.7.5.1.	Problemstellung.....	226
3.7.5.2.	Abwasseranfallstellen, -mengen und -qualitäten beim BTA-Verfahren zur zweistufigen, mesophilen Naßfermentation von Bioabfall.....	227
3.7.5.3.	Rechtliche Rahmenbedingungen für die Abwasserbehandlung und -einleitung.....	232
3.7.5.4.	Diskussion der Analysenwerte und Entwicklung eines Abwasserbehandlungs- konzeptes.....	235
3.7.5.5.	Vorschlag eines Abwasserbehandlungskonzeptes.....	252
3.8.	Planungsparameter für Kombinationsanlagen zur Vergärung und Kompostierung der Bioabfall-Fraktion.....	254
3.8.1.	Entscheidungskriterien zur Systemauswahl.....	255
3.8.1.1.	Stoffliche Kriterien: Inputmaterial und Strukturgut.....	255
3.8.1.2.	Standortkriterien.....	257
3.8.1.3.	Umweltkriterien.....	257
3.8.1.4.	Sonstige Kriterien.....	259
3.8.1.5.	Bewertung.....	259
3.8.2.	Entscheidungskriterien zur Festlegung der Anlagentechnik.....	260
3.8.2.1.	Marktübersicht Vergärungssysteme.....	260
3.8.2.2.	Verfahrensauswahl.....	264
3.8.3.	Planungsparameter der Kombianlage München.....	267
3.8.3.1.	Massenbilanz.....	267
3.8.3.2.	Annahme „".....	267
3.8.3.3.	Aufbereitung.....	268
3.8.3.4.	Kompostierungslinie.....	269
3.8.3.5.	Vergärungslinie.....	270
3.8.3.6.	Feinaufbereitung.....	272
3.8.3.7.	Biogaserfassung und -nutzung.....	272
3.8.3.8.	Abwasserreinigung.....	272
3.8.3.9.	Abluftfassung und -reinigung.....	272
3.8.4.	Ausblick.....	273
3.8.5.	Literatur.....	274

3.9.	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung.....	282
3.9.1.	Was kann die mechanisch-biologische Restabfallbehandlung?.....	282
3.9.1.1.	Einführung.....	282
3.9.1.2.	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	282
3.9.1.3.	Abfallzusammensetzung.....	283
3.9.1.4.	Mechanische und biologische Restabfallvorbehandlung.....	284
3.9.1.4.1.	Vorbehandlungskonzepte.....	284
3.9.1.4.2.	Geruchsemissionen und seuchenhygienische Aspekte.....	286
3.9.1.4.3.	Ermittlung abfallspezifischer Daten zur Auslegung von Vorbehandlungsanlagen.....	287
3.9.1.5.	Eigenschaften behandelter Restabfälle.....	290
3.9.1.6.	Flächenbedarf und Kosten.....	290
3.9.1.7.	Zusammenfassung.....	291
3.9.1.8.	Literatur.....	292
3.9.2.	Innovative statische Verfahren zur kostengünstigen biologisch-mechanischen Restabfallbehandlung.....	293
3.9.2.1.	Einleitung.....	293
3.9.2.2.	Charakterisierung kalter Verfahren zur Restabfallbehandlung.....	293
3.9.2.2.1.	Anlagenkomponenten.....	293
3.9.2.2.2.	Verfahrenstechnische Merkmale.....	294
3.9.2.2.3.	Behandlungsergebnisse - Auswertung der Versuche biologisch-mechanische Abfallbehandlung Freiburg.....	297
3.9.2.3.	Literatur.....	300
4.	Thermische Verfahren.....	303
4.1.	Einordnung der thermischen Abfallbehandlung in die Kreislaufwirtschaft.....	311
4.1.1.	Umweltrelevanz von Abfallverbrennungsanlagen.....	312
4.1.2.	Stellungnahmen zur Umweltrelevanz der Verbrennung.....	318
4.2.	Stand und Perspektiven der thermischen Abfallentsorgung in Deutschland.....	321
4.2.1.	Integrierte Abfallwirtschaftskonzeption'.....	321
4.2.2.	Abfallaufkommen und -Verteilung in der Bundesrepublik Deutschland.....	321
4.2.3.	Verbrennungssysteme.....	322
4.2.3.1.	Verbrennung.....'*-.....	322
4.2.3.2.	Verbrennung und Entgasung.....	322
4.2.3.3.	Entgasung, Vergasung und Verbrennung.....	323
4.2.4.	Aufgaben und Ziele der thermischen Restabfallbehandlung.....	324
4.2.4.1.	Volumens- und Gewichtsreduzierung des Restabfalls.....	324
4.2.4.2.	Zerstörung der organischen Schadstoffe, Hygienisierung des Restabfalls, Inertisierung der Rückstände und Immobilisierung der Schadstoffe'.....	324
4.2.4.3.	Gezielte Schadstofftrennung, -erfassung und -anreicherung auf Rückständen.....	325
4.2.4.4.	Gewinnung verwertbarer Schlackeprodukte eventuell mit Inertisierung.....	326
4.2.4.5.	Restemissionen bei zeitgemäßen Rauchgasreinigungsverfahren.....	328
4.2.4.6.	Nutzung von Sekundärenergiestoffen.....	328
4.2.5.	Probleme bei der thermischen Abfallbehandlung - Organische Schadstoffe.....	328
4.2.6.	Möglicher Aufbau zukünftiger Restabfallbehandlungsanlagen mit peripheren Einrichtungen.....	331
4.2.7.	Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung.....	331
4.2.8.	Literatur.....	333

4.3.	Neueste Entwicklungen der thermischen Abfallbehandlung und der Energiegewinnung aus Abfällen in Japan.....	335
4.3.1.	Energiegewinnung aus Abfällen und Trends bei der Beseitigung von Abfällen	335
4.3.2.	Technische Maßnahmen zur Verbesserung der Wirkungsgrades.....	335
4.3.3.	Verfahrensentwicklung zur Verflüssigung von Kunststoffabfällen.....	336
4.3.4.	Schlußfolgerungen.....	337
4.3.5.	Literatur.....	337
4.4.	Thermische Abfallbehandlung in den nordischen Ländern.....	338
4.4.1.	Die nordischen Länder.....	338
4.4.2.	Energiesituation.....	338
4.4.3.	Abfallerzeugung.....	338
4.4.4.	Abfallbehandlung.....	339
4.4.4.1.	Abfallverbrennung in Dänemark.....	339
4.4.4.2.	Abfallverbrennung in Schweden.....	342
4.4.5.	Schlußbemerkungen.....	343
4.4.6.	Literatur.....	343
4.5.	Kostentransparenz für Müllverbrennung und Recycling.....	343
4.5.1.	Information führt zu Akzeptanz.....	343
4.5.2.	Gebührengerechtigkeit durch Kostentransparenz.....	344
4.5.3.	Datengrundlage für Praxisrechenbeispiele.....	345
4.5.4.	Abfallmengen und Entsorgungskosten.....	345
4.5.5.	Aufteilung der Gebindegebühr (Sackgebühr).....	346
4.6.	Verfahrensvergleich.....	347
4.6.1.	Verfahrensvergleiche - Wie notwendig sind sie?.....	347
4.6.1.1.	Wie entstanden Verfahrensvergleiche?.....	347
4.6.1.2.	Was sagen Verfahrensvergleiche aus?.....	347
4.6.1.3.	Was haben Verfahrensvergleiche erreicht?.....	348
4.6.1.4.	Was bleibt für Verfahrensvergleiche?.....	348
4.6.2.	Anforderungen an einen Verfahrensvergleich.....	350
4.6.2.1.	Einleitung.....	350
4.6.2.2.	Möglichkeiten für einen Verfahrensvergleich.....	350
4.6.2.3.	Allgemeine Vorgehensweise bei der Bewertung.....	351
4.6.2.4.	Beispiel eines Zielkatalogs zum Vergleich thermischer Verfahren.....	355
4.6.2.4.1.	Verfahrenstechnik.....	355
4.6.2.4.2.	Umweltverträglichkeit.....	357
4.6.2.4.3.	Wirtschaftliche Aspekte.....	357
4.6.2.5.	Zusammenfassung.....	358
4.6.2.6.	Literatur.....	358
4.6.3.	Vergleichende Darstellung der Massen-, Stoff- und Energiebilanzen für das Syncom-Verfahren und konventionelles Rostfeuerungs-system.....	359
4.6.3.1.	Einleitung.....	359
4.6.3.2.	Grundlagen des Martin-Syncom-Verfahrens.....	359
4.6.3.3.	Rahmenbedingungen für den Verfahrensvergleich.....	360
4.6.3.4.	Kriterien für den Verfahrensvergleich.....	361
4.6.3.5.	Verfahrensvergleich.....	361
4.6.3.6.	Bewertung.....	365

4.7.	Verbrennung	366
4.7.1.	Vorgänge bei der Verbrennung.....	366
4.7.2.	Rostfeuerung.....	368
4.7.2.1.	Rostaufbau.....	369
4.7.2.2.	Rostarten.....	371
4.7.2.3.	Feuerraum.....	372
4.7.2.4.	Verbrennungsluft-Zuführung.....	376
4.7.2.5.	Ansatz zur Auslegung für Rost und Feuerraum.....	377
4.7.2.6.	Verfahrenskennzahlen für die thermische Restabfallbehandlung.....	379
4.7.2.6.1.	Allgemeines zur Verfahrensverknüpfung bei Feuerungs- und Verbrennungsvorgängen.....	379
4.7.2.6.2.	Erforderliches Grunddatenmaterial für die Bildung binärer Verfahrenskennzahlen (hx/y).....	381
4.7.2.6.3.	Definition und Berechnung der einzelnen Verfahrenskennzahlen (hx/y).....	382
4.7.2.6.4.	Zeitgleiche Erfassung der Prozeßdaten und Ermittlung der Verfahrenskennzahlen (hx/y).....	385
4.7.2.6.5.	Regressionsgleichung zur quasikontinuierlichen Bestimmung des Abfallheizwertes (Hu) mit Hilfe der Verfahrenskennzahl (hD/Br).....	387
4.7.2.6.6.	Definition und Berechnung heizwertabhängiger binärer Verfahrenskennzahlen (hx/y).....	395
4.7.2.6.7.	Regressionsgleichung zur rechnerischen Heizwertbestimmung.....	395
4.7.2.6.8.	Zusammenfassung.....	398
4.7.3.	Verbrennungs- und Emissionsverhalten von Abfällen in der Wirbelschichtfeuerung.....	399
4.7.3.1.	Verbrennung und Feuerung.....	399
4.7.3.2.	Schadstoffentstehung und -Vermeidung.....	400
4.7.3.3.	Wirbelschichttechnologien.....	401
4.7.3.4.	Emissionen bei der Wirbelschichtfeuerung.....	408
4.7.3.5.	Zusammenfassung.....	412
4.7.4.	Drehrohrofen.....	412
4.7.4.1.	Abfallaufgabe.....	413
4.7.4.2.	Drehrohr.....	415
4.7.4.3.	Verbrennungsluftführung.....	416
4.7.4.4.	Ausmauerung und Feuerfestzustellung.....	416
4.7.4.5.	Nachverbrennung.....	418
4.7.5.	Literatur.....	420
4.8.	Ent- und Vergasung von Abfällen	422
4.8.1.	Grundlagen der Abfallentgasung.....	422
4.8.2.	Grundlagen der Abfallvergasung.....	426
4.8.3.	Verfahren.....	428
4.8.3.1.	Schwel-Brenn-Verfahren.....	428
4.8.3.1.1.	Verfahrensbeschreibung.....	429
4.8.3.1.2.	Emissionen und Produkte.....	432
4.8.3.2.	Thermoselect-Verfahren.....	434
4.8.3.2.1.	Verfahrensbeschreibung.....	434
4.8.3.2.2.	Emissionen und Produkte.....	442
4.8.3.2.3.	Entwicklung des Verfahrens.....	444
4.8.3.3.	Noell-Konversionsverfahren.....	445
4.8.3.3.1.	Verfahrensbeschreibung.....	445
4.8.3.3.2.	Emissionen und Produkte.....	450
4.8.3.3.3.	Entwicklung des Verfahrens.....	452

4.9.	Entwicklungsstand ausgewählter Verfahren.....	453
4.9.1.	Thermoselect - Vergasung und Direkteinschmelzung unter Berücksichtigung von Standardisierung, Ökobilanz, Kostensenkung.....	453
4.9.1.1.	Einleitung.....	453
4.9.1.2.	Wesentliche Verfahrensmerkmale und Verknüpfungen der Verfahrensschritte.....	453
4.9.1.3.	Massen- und Energiebilanz.....	453
4.9.1.4.	Energienutzungsvarianten.....	455
4.9.1.5.	Qualität der erzeugten Produkte.....	456
4.9.1.6.	Ökobilanz des Thermoselect-Verfahrens.....	458
4.9.1.7.	Wirtschaftlichkeit und Kosten.....	460
4.9.1.7.1.	Allgemeine Vorbemerkungen und Kostenarten.....	460
4.9.1.7.2.	Anlagenpreise und spezifische Entsorgungskosten.....	462
4.9.1.8.	Literatur.....	462
4.9.2.	PyroMelt - die Alternative in der thermischen Abfallbehandlung.....	462
4.9.2.1.	Allgemeines..... f.....	462
4.9.2.2.	Verfahrensbeschreibung.....	462
4.9.2.2.1.	Pyrolyse.....	462
4.9.2.2.2.	Einschmelzung.....	464
4.9.2.3.	Stofffluß des PyroMelt-Verfahrens.....	465
4.9.2.4.	Vorteile des PyroMelt-Verfahrens.....	467
4.9.2.5.	Verwertung der Schmelzgranulate.....	467
4.9.3.	Aktueller Stand der Schwel-Brenn-Technik: Fürth, Yokohama und Kombiprozeß.....	469
4.9.3.1.	Verfahrensprinzipien.....	469
4.9.3.2.	Stoffe zur Wiederverwertung.....	470
4.9.3.3.	Aktuelle Projekte.....	472
4.9.3.3.1.	Erste kommerzielle Großanlage im Bau: Fürth....."	472
4.9.3.3.2.	Japans Einstieg in die Schwel-Brenn-Technik: Yokohama.....	473
4.9.3.3.3.	Neue Anlagenkonzeptionen: Kombiprozeß.....	474
4.9.3.3.4.	Literatur:.....	476
4.9.4.	RCP: Recycled Clean Products - Verwertbare Produkte durch thermische Abfallbehandlung.....	477
4.9.4.1.	Einführung.....	477
4.9.4.2.	Verfahrensbeschreibung.....	477
4.9.4.2.1.	Das Duotherm-Verfahren.....	477
4.9.4.2.2.	Das HSR-Verfahren.....	477
4.9.4.3.	Technologie des Von Roll-RCP-Verfahrens.....	479
4.9.4.4.	Schlußbemerkungen.....	480
4.9.5.	Optimierung der Rostaschequalität durch Einsatz von sauerstoffangereicherter Luft beim DBA-Walzenrost.....	481
4.9.5.1.	Einleitung.....	481
4.9.5.2.	Durchführung der Untersuchungen.....	481
4.9.5.3.	Rostascheprobeentnahme.....	482
4.9.5.4.	Ergebnisse.....	482
4.9.5.5.	Zusammenfassung.....	484
4.9.5.6.	Literatur..... •.....	485
4.10.	Rauchgasreinigung.....	486
4.10.1.	Variante 1: Trockensorptionsverfahren mit SCR-Entstickung.....	487
4.10.2.	Variante 2: NOELL-KRC-Sprühabsorptionsverfahren mit SCR-Entstickung.....	488

Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft

4.10.3.	Variante 3: NOELL-KRC-Kombinationsverfahren mit SCR-Entstickung (Option: Flugstromadsorber).....	490
4.10.4.	Variante 4: NOELL-KRC-Naßwaschverfahren mit interner Eindampfung und SCR-Entstickung (Option: Flugstromadsorber).....	493
4.10.5.	Variante 5: NOELL-KRC-Naßwaschverfahren mit externer Eindampfung und SCR-Entstickung (Option: Flugstromadsorber).....	495
4.10.6.	Variante 6: NOELL-KRC-Wertstoffverfahren mit externer Eindampfung und SCR-Entstickung.....	497
4.10.7.	Zusammenfassung.....	499
4.10.8.	Literatur.....	500
4.11.	Rückstände aus der thermischen Behandlung.....	500
4.11.1.	Grundlagen und Behandlungsverfahren.....	500
4.11.1.1.	Charakterisierung.....	500
4.11.1.2.	Vorschriften für die Behandlung und Verwertung.....	502
4.11.1.3.	Stoffliche Überlegungen.....	504
4.11.1.4.	Überblick Behandlungsverfahren.....	505
4.11.1.5.	Aufbereitungs- und Waschverfahren für Schlacken.....	505
4.11.1.6.	Verfestigungs- und Waschverfahren für Stäube und Reaktionsprodukte.....	509
4.11.1.7.	Versatzverfahren für Stäube und Reaktionsprodukte.....	510
4.11.1.8.	Niedertemperatur- und Verbrennungsverfahren für Stäube, Reaktionsprodukte und Altkokse.....	512
4.11.1.9.	Schmelzverfahren.....	514
4.11.1.10.	Zusammenfassung und Ausblick.....	518
4.11.1.11.	Literatur.....	519
4.11.2.	Aufbereitung und Verwertung von Rostschlacke und Schmelzgranulat.....	523
4.11.2.1.	Einleitung.....	523
4.11.2.2.	Rahmenbedingungen.....	523
4.11.2.3.	Aufbereitung.....	524
4.11.2.4.	Verwertung.....	526
4.11.2.5.	Fazit.....	527
4.11.2.6.	Literatur.....	527
4.11.3.	InRec-Verfahren für die Behandlung von Rostasche.....	527
4.11.3.1.	Einleitung.....	527
4.11.3.2.	Zusammensetzung und Eigenschaften von Rostasche.....	527
4.11.3.3.	Das InRec-Verfahren.....	529
4.11.3.4.	Untersuchungen und Ergebnisse.....	531
4.11.3.5.	Zusammenfassung.....	532
4.11.3.6.	Literatur.....	532
4.11.4.	Reststoffvermeidung und Recycling bei der Abgasreinigung.....	533
4.11.4.1.	Einleitung.....	533
4.11.4.2.	Adsorptive Quecksilberabscheidung aus Abgasen.....	533
4.11.4.3.	Zeolithe als Adsorptionsmittel.....	534
4.11.4.4.	Regenerierung statt Entsorgung.....	536
4.11.4.5.	Wirtschaftlichkeit.....	536
4.11.4.6.	Ausblick.....	537
4.11.5.	Behandlung und Verwertung von Rückständen in Japan.....	538
4.11.5.1.	Einleitung.....	538
4.11.5.2.	Ist-Situation der Siedlungsabfallbeseitigung.....	538
4.11.5.3.	Behandlungsverfahren für Rückstände aus der Müllverbrennung.....	538

4.11.5.4.	Einteilung der Schmelzverfahren.....	539
4.11.5.5.	Bestehende Anlagen.....	541
4.11.5.6.	Verwertung der Verbrennungsrückstände.....	542
4.11.5.7.	Bewertung der Schmelzverfahren.....	542
4.11.5.8.	Zukünftige Entwicklungen.....	544
4.11.5.9.	Literatur.....	544
4.12.	Meß- und Analysetechniken bei der thermischen Abfallbehandlung.....	545
4.12.1.	Grundlagen.....	545
4.12.2.	Gesetzliche und betriebliche Anforderungen.....	545
4.12.2.1.	Emissionsmeßgrößen und Meßbereiche.....	547
4.12.2.2.	Bezugsgrößen.....	548
4.12.2.3.	Meßgenauigkeiten, Kalibrierung und Funktionsprüfung.....	548
4.12.2.3.1.	Meßgenauigkeiten.....	548
4.12.2.3.2.	Kalibrierung.....	549
4.12.2.3.3.	Funktionsprüfung.....	550
4.12.2.4.	Betriebsanforderungen.....	550
4.12.2.5.	Anforderungen an Meßstellen und Meßplätze.....	551
4.12.2.6.	Zukünftige Anforderungen.....	552
4.12.3.	Messung von Emissionen auf dem Gaspfad.....	553
4.12.3.0.1.	Übersichtstabellen.....	553
4.12.3.0.2.	in-situ-Meßtechnik und extraktive Meßtechnik.....	554
4.12.3.0.3.	Einzelkomponenten-Geräte und Mehrkomponenten-Systeme.....	555
4.12.3.1.	Kontrolle des Ausbrandes in der Gasphase.....	556
4.12.3.1.1.	Mindestvolumenanteil Sauerstoff.....	556
4.12.3.1.2.	Mindesttemperaturen.....	557
4.12.3.1.3.	Mindestsauerstoffgehalt.....	558
4.12.3.1.4.	Mindestverweilzeit.....	559
4.12.3.1.5.	Durchmischung.....	559
4.12.3.2.	Messung gasförmiger Emissionen mit Einzelkomponenten-Geräten.....	559
4.12.3.2.1.	Gesamtkohlenstoff-Analysatoren.....	559
4.12.3.2.2.	Anorganische gasförmige Chlorverbindungen.....	562
4.12.3.2.3.	Anorganische gasförmige Fluorverbindungen.....	563
4.12.3.2.4.	Schwefeldioxid-Meßsysteme.....	565
4.12.3.2.5.	Stickoxid-Meßsysteme.....	566
4.12.3.2.6.	Kohlenmonoxid-Analysatoren.....	569
4.12.3.2.7.	Ammoniak-Analysatoren.....	569
4.12.3.2.8.	Kohlendioxid-Analysatoren.....	571
4.12.3.2.9.	Lachgas-Analysatoren.....	572
4.12.3.2.10.	Quecksilber-Analysatoren.....	572
4.12.3.2.11.	PAH-Analysator der Firma GIV.....	574
4.12.3.2.12.	Dioxin-Analytik.....	574
4.12.3.2.13.	Wasserdampf-Meßsysteme.....	574
4.12.3.2.14.	Sauerstoff-Analysatoren.....	575
4.12.3.3.	Messung gasförmiger Emissionen mit Mehr- und Multikomponenten Geräten.....	576
4.12.3.4.	Messung staubförmiger Emissionen.....	577
4.12.3.4.1.	Abgastrübung.....	577
4.12.3.4.2.	Messung der Extinktion.....	577
4.12.3.4.3.	Streulicht-Messung.....	580

4.12.3.4.4.	Radiometrie.....	581
4.12.3.4.5.	Differenzdruck-Messung.....	582
4.12.3.4.6.	Problembereiche für Staub-Messungen.....	582
4.12.4.	Messung von Emissionen auf dem Feststoffpfad und auf dem Wasserpfad.....	583
4.12.4.1.	Messungen an Feststoffen.....	583
4.12.4.1.1.	Schlacken.....	583
4.12.4.1.2.	Stäube.....	583
4.12.4.2.	Analysen in Prozeß- und Abwässern.....	584
4.12.5.	Zusammenfassung.....	584
4.12.6.	Quellen- und Literaturverzeichnis.....	585
5.	Deponie.....	587
5.1.	Die Stellung der Deponie in der Abfallwirtschaft.....	593
5.2.	Situation in verschiedenen Ländern.....	598
5.2.1.	Deponien in Deutschland - Zwei Jahre nach Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall.....	598
5.2.1.1.	Einleitung.....	598
5.2.1.2.	Ziele und Grundsätze der Ablagerung von Abfällen auf oberirdischen Deponien.....	598
5.2.1.3.	Konsequenzen für die Abfallwirtschaftskonzepte aus den Anforderungen an die oberirdische Ablagerung.....	598
5.2.1.4.	Anforderungen an den Weiterbetrieb von Altdeponien.....	599
5.2.1.5.	Umsetzung der Anforderungen an Deponien in den Ländern.....	600
5.2.1.5.1.	Altdeponien - nachträgliche Anpassung an den Stand der Technik und Erweiterungen.....	600
5.2.1.5.2.	Besondere Probleme bei der Erfüllung der Anforderungen an die Ablagerung.....	601
5.2.1.5.3.	Standortwahl unter Berücksichtigung der geologischen Barriere.....	601
5.2.1.5.4.	Die Kombinationsabdichtung und gleichwertige Abdichtungssysteme.....	602
5.2.1.5.5.	Einhaltung der Zuordnungskriterien des Anhanges B der TA Siedlungsabfall.....	602
5.2.1.6.	Übergangslösungen oder zukunftssträchtige Alternativen für den Weiterbetrieb von Altdeponien?.....	603
5.2.1.6.1.	Deponierückbau.....	603
5.2.1.6.2.	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung.....	604
5.2.1.7.	Zusammenfassung und Schlußbemerkungen.....	604
5.2.2.	Die österreichische Deponieverordnung - ein Schritt in ein neues Deponiezeitalter.....	606
5.2.2.1.	Einleitung.....	606
5.2.2.2.	Deponietypen.....	606
5.2.2.3.	Abfalleigenschaften - Kriterien für die Restmüllbehandlung.....	606
5.2.2.4.	Abfallbeurteilung und Eingangskontrolle.....	608
5.2.2.5.	Standortanforderungen und Deponietechnik.....	608
5.2.2.6.	Allgemeine Deponieeinrichtungen und Deponiebetriebe.....	610
5.2.2.7.	Altanlagenanpassung.....	610
5.2.2.8.	Schlußbetrachtung.....	610
5.2.3.	Entwicklung des Deponiewesens in den Niederlanden.....	611
5.2.3.1.	Einleitung.....	611
5.2.3.2.	Entwicklung im Zeitraum 1985 bis 1995.....	611
5.2.3.3.	Erwartungen für den Zeitraum 1995 bis 2000.....	612
5.2.3.4.	Konzepte für die Zukunft.....	613
5.2.3.5.	Beispielhafte Projekte.....	614
5.2.3.6.	Literatur.....	614

5.2.4.	Die Zukunft der Deponie im Rahmen der französischen Abfallwirtschaftspolitik	615
5.2.4.1.	Die französische Abfallwirtschaftspolitik	615
5.2.4.2.	Verbrennung mit Energierückgewinnung als Verwertung	615
5.2.4.3.	Globale und integrierte Umweltschutzmaßnahmen	616
5.2.4.4.	Die Sonderabfalldeponie der Zukunft: eine „Ablagerungs-Anlage“	616
5.2.4.5.	Restabfall aus dem Behandeln von Hausmüll	617
5.2.4.6.	Zusammenfassung	617
5.3.	Vorgänge in der Deponie	618
5.4.	Eigenschaften und Funktionen künftiger Lagerstätten	621
5.4.1.	Einleitung	621
5.4.2.	Aufkommen und Eigenschaften zukünftig abzulagernder Abfälle	621
5.4.3.	Funktionen künftiger Lagerstätten	622
5.4.4.	Eigenschaften und Standortanforderungen ...%	622
5.4.5.	Genehmigungsrechtliche Einordnung	623
5.4.6.	Literatur	623
5.5.	Nachträglicher Müllereinbau auf bestehenden Deponien und Altablagerungen durch intensive Müllverdichtung	624
5.5.1.	Einleitung	624
5.5.2.	Machbarkeitsstudie und Planung	624
5.5.3.	Überwachung der Tiefenverdichtung	624
5.5.4.	Tiefenverdichtung durch Einsatz der Fallplatte	625
5.5.5.	Tiefenverdichtung durch das Brückner-Verfahren	626
5.5.6.	Tiefenverdichtung durch ein Seitenverdrängungs-Verfahren	627
5.6.	Deponiegas und Sickerwasser	627
5.6.1.	Deponiegasentsorgung, Deponiegasverwertung, Sickerwasserreinigung - Ein integriertes Gesamtkonzept	627
5.6.1.1.	Einleitung	627
5.6.1.2.	Sickerwasserreinigung durch Deponiegasnutzung	628
5.6.1.3.	Praktischer Einsatz des Verfahrens	630
5.6.2.	Nanofiltration - eine neue Verfahrenskomponente bei der Aufarbeitung von Deponiesickerwasser	631
5.6.2.1.	Einleitung	631
5.6.2.2.	Nanofiltration	631
5.6.2.3.	Kombination Biologie / Nanofiltration	632
5.6.2.3.1.	Biologie	632
5.6.2.3.2.	Nanofiltration	633
5.6.2.4.	Nanofiltration in Kombination mit Umkehrosmose	635
5.6.2.5.	Zusammenfassung	638
5.6.2.6.	Literatur	639
5.6.3.	Sickerwasserbehandlung in der Verfahrenskombination Biologie, Umkehrosmose, Eindampfung, Trocknung	639
5.6.3.1.	Sickerwasserbehandlung auf der Deponie Seehausen - Veranlassung und Planung	639
5.6.3.2.	Die Reinigungsanlage auf der Deponie Seehausen - Verfahrenskombination	641
5.6.3.3.	Bemessungsgrundlagen	641
5.6.3.4.	Besondere Sickerwasserzusammensetzung zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme	642
5.6.3.5.	Betriebserfahrungen	642

5.6.3.6.	Fazit und Ausblick.....	645
5.6.4.	Sickerwasseraufbereitung mit der Kombination Ozon und Biologie.....	647
5.6.4.1.	Einführung.....	647
5.6.4.2.	Deponie Coesfeld.....	647
5.6.4.3.	BioQuint.....	648
5.6.4.3.1.	Vorversuche.....	648
5.6.4.3.2.	Entwicklung der Verfahrenstechnik.....	649
5.6.4.3.3.	Versuchsergebnisse der BioQuint-Pilotanlage.....	651
5.6.4.3.4.	Ergebnisse der Großanlage BioQuint Zeulenroda.....	651
5.6.4.4.	Literatur.....	651
5.7.	Sanierung oder Sicherung von Altablagerungen.....	653
5.7.1.	Einführung und Abgrenzung der Begriffe.....	653
5.7.1.1.	Altlasten.....	653
5.7.1.2.	Altablagerungen.....	653
5.7.1.3.	Verbindung der Begriffe Altlast und Altablagerung.....	654
5.7.2.	Möglichkeit zur Sicherung und Sanierung von Altablagerungen.....	654
5.7.2.1.	Varianten zur Sicherung.....	654
5.7.2.2.	In-situ Dekontamination.....	656
5.7.2.3.	Sanierung durch Umlagerung.....	656
5.7.2.4.	Sanierung durch Deponierückbau.....	656
5.7.3.	Einflußfaktoren auf die Wahl des Sanierungsverfahrens.....	659
5.7.4.	Literatur.....	659
6.	Stoffstrommanagement.....	661
6.1.	Abfallmanagement in unterschiedlichen Industrie- und Gewerbebranchen.....	669
6.1.1.	Einleitung.....	669
6.1.2.	Branchen - Lackieranlagen, Eisen- Stahl- und Tempergießereien.....	669
6.1.2.1.	Lackieranlagen.....	669
6.1.2.1.1.	Ist-Stand.....	669
6.1.2.1.2.	Umweltrelevanz von Lackschlämmen.....	670
6.1.2.1.3.	Stand der Technik.....	671
6.1.2.2.	Eisen-, Stahle und Tempergießereien.....	674
6.1.2.2.1.	Ist-Stand.....	674
6.1.2.2.2.	Stand der Technik.....	675
6.1.2.2.3.	Reststoff nach der Aufbereitung und Regenerierung.....	675
6.1.2.2.4.	2 Praxisbeispiele aus nordrhein-westfälischen Eisen-, Stahl- und Tempergießereien.....	677
6.1.3.	Schlußfolgerung.....	677
6.1.4.	Literaturverzeichnis.....	680
6.2.	Anforderungen an ein umweltverträgliches Stoffstrommanagement - Qualitätssicherung in der Abfallwirtschaft.....	681
6.2.1.	Einleitung.....	681
6.2.2.	Grundsatzurteil des Bundesgerichtshofs.....	681
6.2.3.	Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrWVAbG).....	681
6.2.4.	Qualitätssicherungskonzept des bvse.....	682
6.2.4.1.	Allgemeines.....	682

6.2.4.2.	bvse-Fachbetrieb für Entsorgung und Recycling	682
6.2.4.2.1.	Vorgehensweise	682
6.2.4.2.2.	Nicht-technische Anforderungen	683
6.2.4.2.3.	Technische Anforderungen	684
6.2.4.3.	bvse-Qualitätsmanagementsystem nach DIN ISO 9002	685
6.2.4.4.	bvse-Umweltmanagementsystem	685
6.3.	Steuerung von Abfallströmen in der Großstadt am Beispiel Berlins.....	686
6.3.1.	Einleitung	686
6.3.2.	Gesetzliche Grundlagen	686
6.3.3.	Abfalleitsystem	687
6.3.3.1.	Genehmigungsverfahren	688
6.3.3.2.	Eingangskontrolle und Leistungserfassung an den Entsorgungsanlagen der BSR	690
6.3.3.3.	Abfallmengendätenerfassung an den Entsorgungseinrichtungen; Leistungsdatenerfassung	690
6.3.3.4.	Betriebsdatenauswertung; Datenmodell Abfalleitsystem Mengenbilanzen	690
6.3.3.5.	Projektübersicht	690
6.3.3.6.	Berliner Informationssystem Stoffstrom; BISS	691
6.3.4.	Zusammenfassung	693
6.3.5.	Literaturverzeichnis	693
6.4.	DSD- Mengenstromnachweis als Informationsfundus.....	694
6.4.1.	Einleitung	694
6.4.2.	Problem- und Aufgabenstellung	694
6.4.3.	Charakteristik eines Mengenstromnachweises	694
6.4.4.	Auswertungsmethodik	694
6.4.5.	Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Auswertung	694
6.4.5.1.	Mengenstromnachweis	694
6.4.5.2.	Mengenstromnachweis mit weiteren Informationen ergänzt	695
6.4.5.3.	Mengenstromnachweis und Gesprächsergebnisse mit Entsorgern und Verwertern	696
6.4.6.	Schlußfolgerungen	697
6.5.	Kosteneinsparung durch effektives Stoffstrommanagement in der MVA Düsseldorf..	698
6.5.1.	Einführung	698
6.5.2.	Aufgabenstellung	698
6.5.3.	Realisierung	698
6.5.4.	Lösungsansatz	698
6.6.	Werkstoffliches Recycling in Japan - Forschungs- und Entwicklungsprojekte des Industrie- und Außenhandelsministeriums.....	700
6.6.1.	Einleitung	700
6.6.2.	F & E Projekte in der Praxis	700
6.6.3.	Schlußfolgerungen	702
6.7.	Baureststoffe.....	706
6.7.1.	Zusammensetzung	706
6.7.2.	Aufkommen	706
6.7.3.	Stoffstrommanagement - am Beispiel der Baureststoffe	708
6.7.3.1.	Stoffstrommanagement - Kreislaufwirtschaft	708

Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft

6.7.3.2.	Ausgangslage.....	708
6.7.3.3.	Das Kreislaufwirtschaftsgesetz.....	709
6.7.3.4.	Kreislaufwirtschaftsträger Bau.....	710
6.7.3.5.	Input und Aufbereitungstechnik im Wandel.....	712
6.7.3.5.1.	Technik folgt dem Input.....	712
6.7.3.5.2.	Kombi-Anlagen - Kompromiß oder Alleskönner?.....	713
6.7.3.5.3.	Entwicklung der Sortiertiefe.....	715
6.7.3.5.4.	Subkreisläufe.....	716
6.7.3.6.	Erweiterung der Produktpalette.....	716
6.7.3.7.	Zusammenfassung.....	719
6.7.3.8.	Literatur.....	720
6.7.4.	Grundlagen der Verwertung.....	721
6.7.5.	Verfahren zur Aufbereitung von Baureststoffen.....	723
6.7.5.1.	Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch.....	723
6.7.5.2.	Sortierung von Baustellenabfällen.....	726
6.7.5.3.	Aufbereitung kontaminierter Baureststoffe.....	727
6.7.6.	Qualitätsanforderungen an Recycling-Baustoffe.....	731
6.7.6.1.	Umwelttechnische Beurteilung.....	731
6.7.6.2.	Technische Beurteilung.....	731
6.7.7.	Einsatzmöglichkeiten für Recycling-Baustoffe.....	732
6.7.8.	Wirtschaftlichkeit und Absatzmarkt.....	735
6.8.	Sektorübergreifendes Glasrecycling in Baden-Württemberg.....	739
6.8.1.	Einleitung.....	739
6.8.2.	Struktur des Glasrecycling.....	739
6.8.3.	Verwertungssektoren für Glasabfälle.....	740
6.8.4.	Glasrecycling in Baden-Württemberg.....	742
6.8.4.1.	Ist-Analyse.....	742
6.8.4.2.	Beschreibung des Modells.....	742
6.8.4.3.	Szenarioanalyse.....	744
6.8.5.	Zusammenfassung und Ausblick.....	745
6.8.6.	Literatur.....	745
6.9.	Aufbereitung und Verwertung von Rest- und Altholz.....	746
6.9.1.	Aufkommen und Preise.....	746
6.9.2.	Abfallgesetz.....	746
6.9.3.	Rechtliche Tendenzen.....	746
6.9.4.	Aufbereitung von Rest- und Altholz.....	747
6.9.5.	Verwertung.....	747
6.9.6.	Genehmigungsrechtliche Grundlagen.....	748
6.9.7.	Qualitätssicherung bei der Verwertung und Aufbereitung von Rest- und Altholz.....	748
6.10.	Kunststoffe.....	749
6.10.1.	Gezielter Einbau des Kunststoffrecyclings in die Kreislaufwirtschaft.....	749
6.10.1.1.	Einleitung.....	749
6.10.1.2.	Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft.....	749
6.10.1.3.	Erzeugung der Kunststoffe....."	751
6.10.1.4.	Produktplanung.....	752

6.10.1.5.	Recyclinggerechte Konstruktion.....	752
6.10.1.6.	Durchführung des Recyclings.....	754
6.10.1.7.	Auswirkungen der Kunststoffkreislaufwirtschaft.....	757
6.10.1.8.	Ausblick.....	758
6.10.1.9.	Literatur.....	758
6.10.2.	Nutzen des werkstofflichen, rohstofflichen und energetischen Recycling von Kunststoffabfällen.....	759
6.10.2.1.	Einleitung.....	759
6.10.2.2.	Untersuchungsbereiche.....	759
6.10.2.3.	Untersuchungsmethodik.....	760
6.10.2.4.	Vergleichbarkeit der Verwertungsverfahren.....	761
6.10.2.5.	Untersuchungsergebnisse.....	762
6.10.2.5.1.	Relevanz der ermittelten ökologischen Kriterien.....	762
6.10.2.5.2.	Umweltbe- und -entlastungspotential der untersuchten Verfahren.....	763
6.10.3.	Anwendungsgerechte Rezyklatqualität als Funktion der Ausgangsbasis und der Verfahrensführung.....	768
6.10.3.1.	Einleitung.....	768
6.10.3.2.	Qualitätssteuerung über die Kunststoffeffassung.....	769
6.10.3.3.	Qualitätssteuerung über die Verfahrensführung.....	770
6.10.3.4.	Rezyklatgerechte Anwendungstechnologie.....	772
6.10.3.5.	Aufbau von Gesamtlösungen.....	772
6.10.3.6.	Wirtschaftlichkeit.....	773
6.10.3.7.	Zusammenfassung.....	774
6.10.3.8.	Literatur.....	774
6.10.4.	Materialqualitäten von Recyclaten aus Kunststoff-Werkstoff-Verbunden und DS-Kunststoffen.....	775
6.10.4.1.	Einleitung.....	775
6.10.4.2.	Recycling von Kunststoff-Werkstoff-Verbunden am Beispiel von Kabelbäumen und Compact Discs.....	776
6.10.4.2.1.	Zusammensetzung von Kabelbäumen, Recyclingverfahren und Materialqualität der PVC-Recyclate.....	776
6.10.4.2.2.	Aufbau der Compact Discs, Recyclingverfahren und Materialqualität des Polycarbonats.....	778
6.10.4.3.	Recycling von Kunststoffverpackungen aus den Sammlungen der Dualen System Deutschland GmbH.....	779
6.10.4.3.1.	Zusammensetzung der Kunststofffraktionen.....	780
6.10.4.3.2.	Recycling-Verfahren zur Granulat-Herstellung.....	780
6.10.4.3.3.	Materialqualitäten von LDPE-, HDPE-, Polypropylen-, Polystyrol- und Misch-Regranulat.....	781
6.10.4.4.	Folgerungen für Recyclingverfahren und Materialqualitäten.....	784
6.10.4.5.	Literatur.....	785
6.10.5.	Neue trockene Aufbereitungsverfahren für gebrauchte Kunststoffverpackungen für das Rohstoff-Recycling.....	786
6.10.5.1.	Ausgangssituation.....	786
6.10.5.2.	Aufbereitungstechnik und die Verarbeitung von Altmaterialien.....	786
6.10.5.3.	Ergebnis.....	787
6.10.5.4.	Ausblick auf Entwicklungen.....	788
6.10.5.5.	Literatur.....	788
6.10.6.	Degradative Extrusion als Aufbereitung für das rohstoffliche Recycling.....	788
6.10.6.1.	Ausgangssituation.....	788
6.10.6.2.	Zielsetzung.....	788

Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft

6.10.6.3.	Versuchsmaterialien.....	789
6.10.6.4.	Versuchsdurchführung.....	789
6.10.6.5.	Versuchsergebnisse.....	789
6.10.6.5.1.	Dehydrochlorierung im Extruder.....	789
6.10.6.5.2.	Langzeiteinfluß auf die Dehydrochlorierung.....	791
6.10.6.5.3.	Einfluß von HCl-Absorbem.....	791
6.10.6.5.4.	Rückgewinnung von HCl-Gas.....	S....792
6.10.6.6.	Bewertung und Ausblick.....	792
6.10.6.7	Literatur.....	792
6.10.7.	PVC-Recycling.....	793
6.10.7.1.	Einleitung.....	793
6.10.7.2.	PVC-Recycling in der Praxis.....	793
6.10.7.2.1.	Beispiele für das PVC-Recycling.....	793
6.10.7.2.2.	Rohstoffliches Recycling.....	795
6.10.7.3.	Zusammenfassung.....	796
6.10.8.	Vergleich der thermischen Behandlung kunststoffhaltiger Abfälle in konventionellen Müllverbrennungsanlagen mit modernen Konzepten.....	797
6.10.8.1.	Einleitung.....	797
6.10.8.2.	Kennzeichnenden Unterschiede zwischen den neuen und klassischen Müllverbrennungsanlagen.....	797
6.10.8.2.1".	Beschreibung der wichtigsten Typen und kennzeichnenden Eigenschaften.....	797
6.10.8.2.2.	Vergleiche dieser drei Anlagen mit konventionellen Rostfeuerungsanlagen.....	798
6.10.8.2.3.	Anlagekosten.....	799
6.10.8.3.	Sauerstoff und seine Bedeutung in thermischen Verwertungsprozessen.....	799
6.10.8.3.1.	Verbrennen mit Sauerstoff.....	800
6.10.8.4.	Nutzung des Kohlendioxids aus den Rauchgasen.....	803
6.10.8.5.	Zusammenfassung.....	803
6.10.8.6.	Literatur.....	804
6.10.9.	Verbrennung von Kunststoffen unter Sauerstoffanreicherung.....	805
6.10.9.1.	Einleitung und Problemstellung.....	805
6.10.9.2.	Allgemeines zur Kunststoffverbrennung unter Sauerstoffanreicherung.....	806
6.10.9.3.	Verbrennung von Kunststoffen in Rostsystemen unter Sauerstoffanreicherung.....	809
6.10.9.3.1.	Verbrennung von Hausmüll und Kunststoffresten in Rostfeuerungsanlagen.....	809
6.10.9.3.2.	Sauerstoffanreicherung bei Hausmüllverbrennungsanlagen.....	814
6.10.9.4.	Sauerstoffanreicherung bei Drehrohrsystemen.....	816
6.10.9.4.1.	Brennstoffeinsparung.....	818
6.10.9.4.2.	Kosteneinsparung.....	818
6.10.9.5.	Thermische Behandlung von Kunststoffen unter Sauerstoffanreicherung in Brennkammersystemen.....	820
6.10.9.5.1.	Vorbehandlung.....	820
6.10.9.5.2.	Einschmelzverhalten des Vergasers.....	821
6.10.9.6.	Zusammenfassung.....	822
6.10.9.7.	Literatur.....	823
6.10.10.	Vergleichende energetische Bewertung von roh- und werkstofflichen Recyclingverfahren.....	825
6.10.10.1.	Einleitung.....	825
6.10.10.2.	Vorgehensweise.....	825
6.10.10.3.	Recyclingverfahren.....	826
6.10.10.4.	Ergebnisse.....	829

6.11.	Altpapier.....	830
6.11.1.	Begriffsbestimmungen.....	830
6.11.1.1.	Papier, Karton und Pappe.....	830
6.11.1.2.	Abfallpapier und Altpapier.....	830
6.11.2.	Rechtsnormen und Selbstverpflichtung.....	830
6.11.2.1.	Rechtsnormen.....	830
6.11.2.2.	Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere.....	830
6.11.3.	Der Altpapiermarkt.....	834
6.11.4.	Rohstoffe.....	840
6.11.5.	Verarbeitung von Altpapier.....	840
6.11.5.1.	Auflösen.....	841
6.11.5.2.	Reinigung.....	843
6.11.5.3.	Dispergierung.....	844
6.11.5.4.	Mahlung.....	844
6.11.5.5.	Herstellung von Papier, Karton und Pappe ...!*.....	844
6.12.	Zerlege- und Aufbereitungstechnik für Elektroaltgeräte und Elektronikschrott.....	848
6.12.1.	Präambel.....	848
6.12.2.	Charakteristika der Altgeräte und Schrotte.....	848
6.12.3.	Ausstattung der Zerlegelinien.....	849
6.12.4.	Aufbereitungstechnik.....	850
6.12.4.1.	Aufschluß der Verbindungen.....	850
6.12.4.2.	Verfahren der mechanischen Aufbereitung.....	852
6.12.4.3.	Produktqualitäten.....	853
6.12.5.	Aufbereitungsanlage Electrocyling GmbH, Goslar.....	854
6.12.6.	Literatur.....	855
6.13.	Altautos.....	856
6.13.1.	Problem und Lösungsansätze.....	856
6.13.2.	Rechtsnormen.....	857
6.13.3.	Aufkommen und Zusammensetzung.....	858
6.13.3.1.	Neuwagen.....	858
6.13.3.2.	Altautoaufkommen.....	859
6.13.3.3.	Altautozusammensetzung.....	859
6.13.4.	Organisation der Altautoentsorgung.....	865
6.13.5.	Demontage.....	865
6.13.5.1.	Verfahrenskonzepte.....	866
6.13.5.2.	Ersatzteile und Wertstoffe.....	869
6.13.6.	Autowrackaufbereitung.....	874
6.13.6.1.	Aggregate in Aufbereitungsanlagen.....	877
6.13.6.2.	Produkte der Aufbereitung.....	882
6.13.6.3.	Kostenbetrachtung.....	886
6.13.6.4.	Metallurgisches Recycling.....	886
6.13.6.5.	Blechrecycling ohne Einschmelzen.....	888
6.13.7.	Entwicklungstendenzen.....	888
6.13.8.	Zusammenfassung und Schlußbemerkungen.....	890
6.13.9.	Quellen.....	891
6.14.	ANA - Aufbereitungsprozeß für die Shredderleichtfraktion.....	893
6.14.1.	Beschreibung der Shredderleichtfraktion.....	893

Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft

6.14.2.	Aufbereitung der Shredderleichtfraktion.....	893
6.14.3.	Aufbereitungsverfahren.....	893
6.15.	Aufbereitung von Phosphatierschlämmen aus der Automobilindustrie.....	895
6.15.1.	Phosphatierung.....	895
6.15.2.	NE-Metallrecycling.....	895
6.15.3.	Düngemittelgewinnung.....	897
6.15.3.1.	Herstellung und Eigenschaften des Produktes.....	897
6.15.3.2.	Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.....T.....	899
6.15.4.	Literatur.....	900
6.16.	Aufbereitung und stoffliche Verwertung metallhaltiger Abfälle.....	901
6.16.1.	Einleitung.....	901
6.16.2.	Standortbeschreibung und Perspektiven.....	901
6.16.2.1	Historische Entwicklung.....	901
6.16.2.2	Sanierung der Altlast und Perspektiven.....	901
6.16.3.	Dörschelofenanlage.....	902
6.16.3.1.	Einsatzstoffe.....	902
6.16.3.2.	Anlagen- und Prozeßtechnik.....	904
6.16.3.3.	Umweltauswirkungen.....	906
6.16.3.3.1.	Abgasemissionen und Abwasser.....	906
6.16.3.3.2.	Reststoffe.....	907
6.16.4.	Möglichkeiten für die Verwertung der festen Reststoffe.....	908
6.16.4.1.	Schlacke.....	908
6.16.4.2.	Mischoxid.....	909
6.16.5.	Zusammenfassung.....	909
6.16.6.	Literatur.....	910
6.17.	Verfahren zur Rückgewinnung von Metallen und Chemiestoffen.....	911
6.17.1.	Einleitung.....	911
6.17.2.	Verfahren zur Entmetallisierung und Rückgewinnung von Ätzmitteln.....	911
6.17.3.	Anwendungen des Anlagenkonzeptes.....	912
6.18.	Klärschlamm.....	914
6.18.1.	Gesetzliche Anforderungen und Entwicklungstendenzen der Klärschlamm- verwertung und -entsorgung.....	914
6.18.1.1.	Überblick über die gesetzliche Situation.....	914
6.18.1.2.	Lösungsansatz.....	917
6.18.1.2.1.	Kritik am ökologischen Gleichgewicht.....	917
6.18.1.2.2.	Fortentwicklung des Kreislaufansatzes.....	918
6.18.1.2.3.	Forderungen aus der Modellbetrachtung.....	922
6.18.1.3.	Einflußfaktoren der zukünftigen Entwicklung.....	922
6.18.1.3.1.	Entwicklung in der Vergangenheit.....	922
6.18.1.3.2.	Einflußfaktoren der zukünftigen Entwicklung.....	924
6.18.1.4.	Perspektiven.....	926
6.18.1.5.	Literatur.....	927
6.18.2.	Lösungen des Klärschlammproblems für die Metropole Berlin.....	928
6.18.2.1.	Ausgangssituation.....	928
6.18.2.2.	Lösungsansätze.....	929
6.18.2.2.1.	Monoverbrennung in der Wirbelschicht.....	929
6.18.2.2.2.	Kompostierung frisch erzeugter Schlämme, Rückbau der Schlammzwischenlager.....	930

6.18.2.2.3.	Gründe für die Funktionalausschreibung.....	930
6.18.2.2.4.	Vorgehen für die Funktionalausschreibung.....	930
6.18.2.3.	Forderungen an die Verwertung unter dem Aspekt der wirtschaftlichen Betrachtungsweise.....	931
6.18.2.4.	Alternative Verfahren.....	932
6.18.2.4.	Kosten.....	933
6.18.2.5.	Zusammenfassung.....	933
6.18.2.6.	Literatur.....	935
6.18.3.	Optimierung der Klärschlamm Entsorgung in Südostasien - Fallstudie Bangkok/Thailand.....	936
6.18.3.1.	Einleitung.....	936
6.18.3.2.	Ist-Situation und geplante Abwasserreinigungsprojekte in Bangkok.....	936
6.18.3.3.	Optimierung der Entsorgungsplanung.....	937
6.18.4.	Stand der Technik der Klärschlammstabilisierung einschließlich Kompostierung.....	939
6.18.4.1.	Stellenwert und Ziele der Klärschlammstabilisierung.....	939
6.18.4.2.	Generelle Randbedingungen, Verfahrensübersicht.....	940
6.18.4.3.	Verfahren der Stabilisierung.....	940
6.18.4.3.1.	Aerobe Stabilisierung.....	941
6.18.4.3.2.	Kompostierung.....	942
6.18.4.3.3.	Anaerobe Schlammstabilisierung (Faulung).....	943
6.18.4.5.	Kosten der Schlammstabilisierung und -entsorgung.....	946
6.18.4.6.	Literatur.....	946
6.18.5.	Stand der Technik der Konditionierung und Entwässerung von Klärschlamm.....	947
6.18.5.1.	Bedeutung der Konditionierung und Entwässerung bei den Verfahrensketten der Klärschlammbehandlung.....	947
6.18.5.2.	Arten und Einsatzbereiche von Konditionierungsverfahren.....	948
6.18.5.2.1.	Chemische Konditionierungsverfahren.....	948
6.18.5.2.2.	Physikalische Verfahren.....	949
6.18.5.2.3.	Entwicklungstendenzen.....	949
6.18.5.3.	Grundlegende Zusammenhänge der Fest-/Flüssig-Trennung bei Klärschlämmen.....	949
6.18.5.3.1.	Grenzen der Eindickfähigkeit und Entwässerbarkeit von Klärschlämmen.....	950
6.18.5.3.2.	Erreichbare Ergebnisse bei der maschinellen Klärschlamm entwässerung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Konditionierungsverfahren.....	950
6.18.5.3.3.	Neuentwicklungen in der Entwässerungstechnik und deren Entwicklungsstand.....	952
6.18.5.3.4.	Kombinationssysteme aus mechanischer Entwässerung und Trocknung.....	955
6.18.5.4.	Literaturverzeichnis.....	955
6.18.6.	Stand der Technik der Klärschlamm-trocknung.....	956
6.18.6.1.	Einleitung.....	956
6.18.6.2.	Trocknungsverfahren.....	956
6.18.6.3.	TrocknersystemeAausführungen.....	957
6.18.6.4.	Anforderungen an Trocknungsanlagen für Klärschlamm.....	961
6.18.6.5.	Erläuterungen zu den Anforderungen an Trocknungsanlagen.....	961
6.18.7.	Betriebsergebnisse der Klärschlamm-Vergasung.....	964
6.18.7.1.	Verfahrensablauf.....	964
6.18.7.2.	Ausblick.....	968
6.18.8.	Klärschlamm-verbrennung mit Abhitze-Verwertung.....	969
6.18.8.1.	Vorbemerkungen.....	969
6.18.8.2.	Anlagen und Betriebsbeschreibung.....	969
6.18.8.2.1.	Planungsgrundlagen.....	969
6.18.8.2.2.	Anlagenkonzept.....	970

6.18.8.2.3.	Anlagenbeschreibung.....	971
6.18.8.3.	Energiebilanz.....	975
6.18.8.4.	Zusammenfassung.....	976
6.19.	Sonderabfälle.....	977
6.19.1.	Übersicht über mögliche Entsorgungswege und -techniken.....	977
6.19.2.	Stellenwert der chemisch-physikalischen Behandlung in der Sonderabfallwirtschaft ...	A980
6.19.3.	Grundoperationen im anorganischen Strang der chemisch-physikalischen Behandlung ...	988
6.19.3.1	Entgiftung (Oxidation/Reduktion).....	988
6.19.3.1.1	Oxidation von Cyanid.....	988
6.19.3.1.2.	Entgiftung von Chromaten.....	989
6.19.3.1.3	Nitrit-Elimination.....	990
6.19.3.1.4	Apparative Aspekte der Entgiftung.....	990
6.19.3.2	Neutralisation, Schwermetallfällung.....	992
6.19.3.2.1	Hydroxidfällung.....	993
6.19.3.2.2	Sulfidfällung.....	994
6.19.3.2.3	Organosulfidfällung.....	995
6.19.3.2.4	Elimination von Metallkomplexverbindungen.....	995
6.19.3.3	Flockung.....	995
6.19.3.4	Sedimentation.....	997
6.19.3.5	Filtration.....	999
6.19.3.6	Abwassernachbehandlung, Ionenaustausch.....	1002
6.19.3.7	Rückgewinnung von Wertstoffen, Extraktion, Elektrolyse.....	1003
6.19.4.	Grundoperationen des organischen Strangs einer chemisch-physikalischen Behandlung.....	1009
6.19.4.1	Behandlung von Öl-Wasser-Gemischen, Emulsionsspaltung.....	1010
6.19.4.1.1	Chemisch-physikalische Verfahren: Elektrolytzugabe.....	1010
6.19.4.1.2	Thermische Verfahren: Verdampfung.....	1012
6.19.4.1.3	Mechanische Verfahren: Membranverfahren, Flotation.....	1012
6.19.4.2	Weitere Verfahren des organischen Strangs.....	1015
6.19.4.2.1	Na ₂ Oxidation, Hochdruckoxidation.....	1015
6.19.4.2.2.	Dehalogenierung.....	1016
6.19.5.	Chemisch-physikalische Verfahren der Altlastensanierung (Bodenwaschverfahren).....	1016
6.19.5.1.	Allgemeines.....*	1016
6.19.5.2.	Anwendung bei der Sanierung von Rüstungsaltslasten.....	1017
6.19.5.3.	Ausblick.....	1017
6.19.6.	Quellen.....	1018
7.	Glossar.....	1021
8.	Schlagwortverzeichnis.....	1067