

Inhaltsübersicht

	Seite
1 Einführung	16
2 Grundlagen der Abfallwirtschaft	21
2.1 Allgemeine systemare Grundlagen der Abfallentstehung und Abfall- behandlung	21
2.2 Rechtliche Grundlagen der Abfallwirtschaft	39
2.3 Abfallbeseitigungsplanung und Zulassung der Beseitigungsanlagen ...	73
2.4 Ökonomische Aspekte der Abfallwirtschaft	110
2.5 Internationale Aspekte der Abfallwirtschaft	125
3 Stand und Entwicklung des Abfallaufkommens, der Abfallzusammenset- zung und der Entsorgung	148
4 Vermeidung und Verwertung von Abfällen	198
5 Techniken in der Abfallwirtschaft	287
5.1 Einsammeln und Sortieren von Siedlungsabfällen	287
5.2 Biologische Abfallumwandlung	316
5.3 Chemisch-physikalische Verfahren zur Behandlung von Abfällen	344
5.4 Thermische Abfallbehandlung	386
5.5 Deponierung	434
6 Risikobetrachtung zu den stofflichen Emissionen aus Abfallverbren- nungsanlagen und Deponien	500
7 Anforderungen an die zukünftige Abfallwirtschaft	571

		Seite
1	EINFÜHRUNG	16
2	GRUNDLAGEN DER ABFALL- WIRTSCHAFT	21
2.1	Allgemeine systemare Grundlagen der Abfallentstehung und Abfallbe- handlung	21
2.1.1	✕ ^T „Abfall“ und „Abfallwirtschaft“ aus stoffökologischer Sicht	21
2.1.1.1	Stoffe und Stoffkreisläufe in der Um- welt	21
2.1.1.2	Stoffhaushalt in Ökosystemen	22
2.1.1.3	Stoffhaushalt in menschlich beein- flußten Systemen	23
2.1.2	Grenzen der Vermeidung und Ver- wertung von Stoffen	28
2.1.3	Das Konzept der Lastpakete	31
2.1.4	✕ ^T Abfallwirtschaft im System Umwelt	33
2.1.5	✕ ^T Abfallwirtschaft im technisch-öko- nomischen System	35
2.1.6	Zusammenfassung	38
2.2	Rechtliche Grundlagen der Abfall- wirtschaft	39
2.2.1	✕ ^T Historische Entwicklung abfall- rechtlicher Zielsetzungen	39
2.2.2	✕ ^T Stellung des Abfallrechts innerhalb des Umweltrechts	42
2.2.3	Anwendungsbereich des Abfallge- setzes	43
2.2.3.1	✕ ^T Der Abfallbegriff als Kriterium zur Bestimmung des Anwendungsberei- ches des Abfallgesetzes	43
2.2.3.2	✕ ^T Subjektiver Abfallbegriff	43
2.2.3.3	✕ ^T Objektiver Abfallbegriff	44
2.2.3.3.1	Meinungsstand	44
2.2.3.3.2	Objektive Gefährlichkeit	44
2.2.3.3.3	Sachwert	45
2.2.3.3.4	Gebotensein	45
2.2.3.3.5	Notwendige Abstimmung mit Ver- wertungsgebot	46
2.2.3.4	✕ ^T Erweiterter Abfallbegriff	46
2.2.3.5	Den Abfällen gleichgestellte Stoffe	47

2.2.3.6	Materielles Abfallrecht außerhalb des Abfallgesetzes	48
2.2.3.6.1	Reststoffe im Sinne von § 5 Abs. 1 Nr. 3 Bundes-Immissionsschutzgesetz	48
2.2.3.6.2	Stoffe, die in ein Gewässer eingeleitet werden	49
2.2.3.6.3	§ 17 Abs. Nr. 1 und 2 Chemikaliengesetz	49
2.2.3.6.4	Sonstige Bereiche	50
2.2.4	Abfallarten und Regelungsintensität des Abfallrechts	52
2.2.5	Abfallentsorgung als Zentralbegriff des Abfallrechts	53
2.2.6	Das abfallrechtliche Instrumentarium	54
2.2.6.1	Dominanz ordnungsrechtlicher Instrumente	54
2.2.6.2	Ökonomische Instrumente	55
2.2.6.3	Indikative Regulierung, Zusagen und Absprachen, Organisationszwang	56
2.2.6.4	Die Planung der Abfallbeseitigung	57
2.2.6.5	Mängel des präventiven Instrumentariums	58
2.2.6.5.1	Produktregelungen als Präventivinstrumente	58
2.2.6.5.2	Einflußnahme auf die Verfahrens- und Produktinnovation	59
2.2.7	Prinzipien des Abfallrechts	60
2.2.7.1	Regelungen im Abfallgesetz	61
2.2.7.1.1	Rangbestimmung im Verhältnis zwischen Vermeidung, Verwertung und Beseitigung	61
2.2.7.1.2	Vergleichende Risikobewertung von Vermeidung, Verwertung und Beseitigung	63
2.2.7.1.3	Bedeutung des getrennten Einsammelns und Beförderns	64
2.2.7.2	Regelungen im Bundes-Immissionsschutzgesetz	65
2.2.7.2.1	Reichweite des Gebots der Vermeidung und Verwertung von Reststoffen	65

2.2.7.2.2	Rangbestimmung im Verhältnis zwischen Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Reststoffen	66
2.2.7.2.3	Vergleichende Risikobewertung von Vermeidung, Verwertung und Beseitigung	69
2.2.8	Zusammenfassung der Empfehlungen	71
2.3	Abfallbeseitigungsplanung und Zulassung der Beseitigungsanlagen . .	73
2.3.1	Planung der Abfallbeseitigung	73
2.3.1.1	Inhalt der Abfallbeseitigungspläne	73
2.3.1.2	Aufstellung der Abfallbeseitigungspläne	74
2.3.1.3	Rechtswirkungen	75
2.3.1.4	Verhältnis der Abfallplanung zur Raumordnung und Landesplanung	76
2.3.1.5	Verhältnis der Abfallplanung zur Bauleitplanung	77
2.3.2	Probleme der gegenwärtigen Abfallbeseitigungsplanung	77
2.3.2.1	Stand der Planung	77
2.3.2.1.1	Vorhandener und sich abzeichnender Bestand an Beseitigungsplänen	77
2.3.2.1.2	Inhalt der Beseitigungspläne	84
2.3.2.1.3	Verbindlichkeit	87
2.3.2.1.4	Informelle raumübergreifende Planungsinstrumente	87
2.3.2.2	Der Planungsprozeß	88
2.3.2.2.1	Methodik der Standortwahl	88
2.3.2.2.2	Beteiligung von Institutionen und Personen	88
2.3.2.2.3	Anwendung des vorhandenen Instrumentariums zur Sicherung der Standortplanung	90
2.3.2.3	Steuerungsleistung der Planung . . .	90
2.3.2.3.1	Übereinstimmung von Beseitigungsplänen und Beseitigungswirklichkeit	90
2.3.2.3.2	Lenkung von Stoffströmen	91
2.3.2.3.3	Kapazitätsplanung durch Abfallbeseitigungspläne	91
2.3.2.3.4	Standortplanung durch Abfallbeseitigungspläne	92
2.3.2.4	Perspektiven einer zukünftigen Abfallbeseitigungsplanung	92
2.3.3	Zulassung von Abfallbeseitigungsanlagen	94
2.3.3.1	Planfeststellungsverfahren	94
2.3.3.1.1	Zulassungsbedürftigkeit	94
2.3.3.1.2	Verfahrensablauf	95
2.3.3.1.3	Materielle Zulassungskriterien	96

2.3.3.1.3.1	Immissionsschutzrechtliche Anforderungen	96
2.3.3.1.3.2	Wasserrechtliche Anforderungen ..	97
2.3.3.1.3.3	Abfallrechtliche Anforderungen ...	98
2.3.3.2	Abfallrechtliches Genehmigungsverfahren	99
2.3.3.3	Verfahrensbeschleunigende Maßnahmen	99
2.3.4	Akzeptanz	101
2.3.4.1	Situationsbeschreibung	101
2.3.4.2	Mögliche Einflußgrößen	104
2.3.4.3	Verknüpfung von Abfallbeseitigungsplanung und Zulassung der einzelnen Anlage	106
2.3.5	Zusammenfassung der Empfehlungen	108
2.4	Ökonomische Aspekte der Abfallwirtschaft	110
2.4.1	Ökonomische Betrachtung des Abfalls	110
2.4.1.1	Wirtschaftsprozesse und externe Effekte	110
2.4.1.2	Betriebliche Kuppelproduktion und Abfallentstehung	111
2.4.1.3	Konsum und Abfallentstehung	113
2.4.2	Organisatorische Aspekte des Zusammenwirkens von öffentlichem und privatem Sektor	113
2.4.3	Abfallvermeidung, -verwertung und -beseitigung in ökonomischer Sicht	116
2.4.3.1	Abfallvermeidung	116
2.4.3.2	Abfallverwertung	117
2.4.3.3	Abfallbeseitigung	120
2.4.3.4	Zusammenfassende Bewertung ...	121
2.4.4	Besonderheiten des Abfallbereichs unter dem Aspekt instrumenteller Ansatzpunkte	121
2.4.4.1	Zur „Philosophie“ einer Instrumentierung im Abfallbereich	121
2.4.4.2	Abfall im Vergleich zu den Bereichen Luft und Wasser: die besondere Rolle der Deponiegebühr	122
2.5	Internationale Aspekte der Abfallwirtschaft	125
2.5.1	Bewertung grenzüberschreitender Abfallbeseitigung	125
2.5.1.1	Zunehmende Bedeutung grenzüberschreitender Abfallbewegungen	125
2.5.1.2	Ursachen der grenzüberschreitenden Abfallbeseitigung und hieraus resultierende Fragen	127

2.5.1.3	Kriterien zur Beurteilung einer grenzüberschreitenden Abfallbeseitigung	129
2.5.1.4	Differenzierung nach Typen von Abfallimportländern	130
2.5.2	Inländische Abfallwirtschaft und Abfallbeseitigung in Staaten außerhalb der EG	131
2.5.2.1	Besonderheiten der grenzüberschreitenden Abfallverbringung außerhalb der EG	131
2.5.2.2	Europäisches Gemeinschaftsrecht ..	131
2.5.2.3	Abfallgesetz	132
2.5.2.4	Rechtsakte der OECD und des UNEP	132
2.5.3	Inländische Abfallwirtschaft und EG	133
2.5.3.1	Grenzüberschreitende Abfallbeseitigung innerhalb der EG	133
2.5.3.1.1	Einflüsse auf die Abfallwirtschaft des Importlandes	133
2.5.3.1.2	Einflüsse auf die Abfallwirtschaft des Exportlandes	134
2.5.3.2	Rechtliche Anforderungen	135
2.5.3.2.1	Geltung der Verkehrsfreiheiten des EWG-Vertrags für die grenzüberschreitende Abfallbeseitigung	135
2.5.3.2.2	Die Regelungen der Richtlinie 84/631/EWG hinsichtlich der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle innerhalb der Gemeinschaft	136
2.5.3.2.3	Die Regelungen der Abfallverbringungsverordnung	137
2.5.3.2.4	Rechtsprobleme bei der Einfuhr von Abfällen	137
2.5.3.2.5	Rechtsprobleme bei der Ausfuhr von Abfällen	139
2.5.3.2.6	Verwertung von Abfällen	141
2.5.3.2.7	Folgerungen aus der Rechtslage ..	141
2.5.3.3	Auswirkungen der EG auf die Abfallwirtschaftspolitik der Bundesrepublik Deutschland	142
2.5.3.3.1	Überblick über den Zusammenhang	142
2.5.3.3.2	Produkte versus Stoffe	143
2.5.3.3.3	Rechtliche Anforderungen	143
2.5.3.3.3.1	Anforderungen an Produktbeschaffenheit und Vermarktung	143
2.5.3.3.3.2	Zur Zulässigkeit von produkt- und stoffbezogenen Abgaben	146
2.5.3.3.4	Folgerungen aus der Rechtslage ..	146
2.5.4	Zusammenfassung der Empfehlungen	146

STAND UND ENTWICKLUNG DES ABFALLAUFKOMMENS, DER ABFALLZUSAMMENSETZUNG UND DER ENTSORGUNG	148
Gliederung, Datengrundlagen und Gesamtabfallbilanz	148
Betrachtete Abfall- und Reststoffbereiche	148
Datengrundlagen	148
Abfallwirtschaftliche Bilanz	150
Zu den einzelnen Abfall- und Reststoffbereichen	154
Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle	154
Abfälle aus dem Produzierenden Gewerbe	160
Bauschutt und Bodenaushub	161
Bergematerial	163
Sonderabfälle (einschließlich krankenhauspezifischer Sonderabfälle)	167
Baggergut	173
Klärschlamm	177
Altöl	182
Autowracks	184
Altreifen	188
Abgänge aus der Nutztierhaltung .	191
Schlachtabfälle und Tierkörper	192
Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	194
VERMEIDUNG UND VERWERTUNG VON ABFÄLLEN	198
Die Stellung der Vermeidung und Verwertung von Abfällen im Rahmen einer umweltverträglichen Abfallwirtschaft	198
Unterschiedliche Ansätze in Produktion und Konsum	198
Vermeiden und Verwerten im Haushalt	199
Vermeiden und Verwerten in der Produktion	199
Positive Entwicklungen der Abfallwirtschaft	202
Gründe für eine mangelnde Umsetzung technisch möglicher Abfallvermeidung und -verwertung	204
Hemmnisse im industriellen Bereich	204
Hemmnisse für Vermeidung und Verwertung in den Haushalten ...	207

4.4	Abfallvermeidung und -verwertung als Aufgabe bei der Entwicklung von Stoffen und Produkten sowie der Planung von Produktionsprozessen	210
4.4.1	Vorbemerkungen	210
4.4.2	Verwertungsgerechte Gestaltung technischer Produkte	210
4.4.3	Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie	212
4.5	Beispiele für Vermeidung und Verwertung von Abfällen in Produktion, Dienstleistung und Konsum ..	218
4.5.1	Prozeßbezogene Beispiele	218
4.5.1.1	Chlorchemie	218
4.5.1.2	Chlorierte Lösemittel (CKW-Lösemittel)	220
4.5.1.3	Oberflächenbeschichtung	222
4.5.1.3.1	Galvanisieren	222
4.5.1.3.2	Lackieren	223
4.5.2	Produkt- und stoffbezogene Beispiele	224
4.5.2.1	Polyvinylchlorid (PVC)	224
4.5.2.2	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	225
4.5.2.3	Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halone	227
4.5.2.3.1	Reduktion der Herstellung und Verwendung von FCKW	228
4.5.2.3.2	Kennzeichnungs-, Rücknahme- und Pfandpflicht für FCKW-haltige Produkte	229
4.5.2.4	Cadmium	230
4.5.2.5	Quecksilber	231
4.5.2.5.1	Herkunft und Aufkommen	231
4.5.2.5.2	Quecksilber aus Batterien	232
4.5.2.5.3	Quecksilber aus anderen Quellen ..	235
4.5.2.6	Kraftfahrzeuge	235
4.5.2.7	Altöl	237
4.5.2.7.1	Vermeidung von Altöl	238
4.5.2.7.1.1	Ölfreie Systeme	238
4.5.2.7.1.2	Umweltverträglichere Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten auf anderer als Mineralölbasis	238
4.5.2.7.1.3	Minimierung des Anfalls von Altöl in stationären Anlagen	238
4.5.2.7.1.4	Minimierung des Schmierstoffbedarfs von Kraftfahrzeugen	239
4.5.2.7.2	Möglichkeiten der Verwertung	240
4.5.2.7.2.1	Derzeitige Situation der Altölverwertung	240

4.5.2.7.2.2	Vergleich der Verwertungsverfahren	242
4.5.2.7.2.3	Schlußfolgerungen für die Altölverwertung	243
4.5.2.8	Verpackungen	244
4.5.2.8.1	Verpackungsmengen und Packstoffe	244
4.5.2.8.2	Umweltentlastung durch Substitution von Packstoffen	246
4.5.2.8.3	Maßnahmen zur Verminderung von Schadstoffen und Mengen	249
4.5.2.8.3.1	Maßnahmen der Hersteller und des Handels	249
4.5.2.8.3.2	Einflüsse auf der Seite der Verbraucher	251
4.5.3	Ausgewählte Fraktionen des Hausmülls	252
4.5.3.1	Vorbemerkungen	252
4.5.3.2	Menge und Zusammensetzung des Hausmülls	253
4.5.3.3	Altpapier	254
4.5.3.4	Altglas	258
4.5.3.5	Altmetalle	260
4.5.3.6	Altkunststoff	261
4.5.3.7	Textilien	262
4.5.3.8	Organische Fraktion	262
4.5.4	Bauschutt, Bodenaushub und Straßenaufbruch	263
4.5.4.1	Aufbereitung und Wiederverwendung	263
4.5.4.2	Belasteter Bauschutt	264
4.6	Instrumente zur stärkeren Durchsetzung der Vermeidung und Verwertung	266
4.6.1	Typologie der Instrumente	266
4.6.2	Ordnungsrechtliche Instrumente ..	268
4.6.3	Ökonomische Instrumente	269
4.6.3.1	Abgaben	269
4.6.3.1.1	Zur Systematik von Abgaben	269
4.6.3.1.2	Inputabgaben	270
4.6.3.1.3	Produktabgaben	271
4.6.3.1.3.1	Zur Diskussion um Verpackungssteuer, Verpackungsabgabe und Pfanderhebung	271
4.6.3.1.3.2	Beseitigungskosten als Bestandteil des Produktpreises	273
4.6.3.2	Erhöhung der Beseitigungskosten ..	274
4.6.3.2.1	Vorbemerkungen	274
4.6.3.2.2	Hausmüll	274
4.6.3.2.3	Sonderabfälle	275

4.6.3.3	Finanzhilfen und Steuervergünstigungen	275
4.6.4	Absprachen und Zusagen	275
4.6.5	Instrumente präventiver Strategien	277
4.6.5.1	Zwei Teile des Instrumentariums ..	277
4.6.5.2	Stoff- oder produktspezifische Entwicklungen	277
4.6.5.3	Entwicklung der Menge der Sonderabfälle	279
4.6.5.4	Abstufungen der Eingriffsintensität	281
4.6.6	Information und Beratung	281
4.6.6.1	Einfluß von Information und Beratung	281
4.6.6.2	Verbraucherverhalten und Abfallvermeidung	282
4.6.6.3	Maßnahmen zur Verbesserung von Information und Beratung	283
4.6.7	Kommunale Abfallsatzungen	285
5	TECHNIKEN IN DER ABFALLWIRTSCHAFT	287
5.1	Einsammeln und Sortieren von Siedlungsabfällen	287
5.1.1	Vorbemerkungen	287
5.1.2	Getrennte Sammlung zur Erfassung von Wertstoffen und Problemstoffen	288
5.1.2.1	Systematik der getrennten Sammlung	288
5.1.2.2	Bringsysteme	289
5.1.2.2.1	Depotcontainer	289
5.1.2.2.2	Depotcontainer-Gruppen und Mehrkammercontainer	290
5.1.2.2.3	Recyclinghöfe	291
5.1.2.3	Holsysteme	292
5.1.2.3.1	Bundsystem für Altpapier	292
5.1.2.3.2	Mehrstoffbehälter („Grüne Tonne“)	293
5.1.2.3.3	Einzelstoffbehälter ab Haus	294
5.1.2.3.4	Wertstoffsack (Sack+Sack, Behälter+Sack)	294
5.1.2.3.5	Erfassung von Vegetabilien (Bio- tonne)	294
5.1.2.3.6	Mehrkammermüllsystem MKMS und Mehrkammertonne MEKAM ..	296
5.1.2.3.7	Systemkombinationen	296
5.1.2.4	Überblick über Sammelmengen und -kosten	297
5.1.2.5	Restmüllmenge und -zusammensetzung	299
5.1.2.6	Standortprobleme bei Sammelbehältern und Containern	300

5.1.2.7	Erfassung von Problemstoffen aus dem Hausmüll	301
5.1.3	Auswirkungen der getrennten Wertstoff- und Biomüllfassung auf die Restmüllbehandlung	303
5.1.3.1	Auswirkungen auf die Emissionen der Deponie	303
5.1.3.2	Auswirkungen der getrennten Sammlung auf die Verbrennung von Hausmüll und Gewerbeabfällen . .	304
5.1.4	Sortier- und Aufbereitungsanlagen für Hausmüll, Wertstoffgemische und Gewerbeabfall	305
5.1.4.1	Allgemeines	305
5.1.4.2	Sortierung und Aufbereitung von Hausmüll	306
5.1.4.3	Sortierung und Aufbereitung von Wertstoffgemischen und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall	310
5.1.5	Öffentlichkeitsarbeit	312
5.1.5.1	Öffentlichkeitsarbeit vor und während der Einführung von Systemen der getrennten Sammlung	312
5.1.5.1.1	Allgemeines	312
5.1.5.1.2	Information der privaten Haushalte	313
5.1.5.1.3	Information des Gewerbes und der Industrie	313
5.1.6	Zusammenfassung der Maßnahme zur Verbesserung der getrennten Erfassung von Wertstoffen aus Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall	313
5.1.6.1	Allgemeines	313
5.1.6.2	Empfehlungen zur Einführung von Systemen der getrennten Erfassung und deren Optimierung	314
5.1.6.3	Verbesserung der Qualität der erfaßten Wertstoffe	314
5.1.6.4	Produktion und Vermarktung von Produkten aus Sekundärrohstoffen	315
5.2	Biologische Abfallumwandlung . .	316
5.2.1	Vorbemerkungen	316
5.2.2	Funktion und Steuerung biologischer Abbaumechanismen	316
5.2.2.1	Fähigkeiten und Grenzen biologischer Abbau- und Umwandlungsmechanismen	316
5.2.2.2	Abbaubestimmende Faktoren	316
5.2.2.3	Destruenten	317
5.2.3	Biologische Abfallbehandlungsverfahren	317
5.2.4	Qualitätskriterien für biologisch verwertbaren Abfall	320

		Seite
5.2.5	Biologisch verwertbare Abfälle	321
5.2.5.1	Grundsätze	321
5.2.5.2	Hausmüll und getrennt gesammelte nativ-organische Abfälle	321
5.2.5.3	Bewertung	328
5.2.6	✓ Kompostierung	328
5.2.7	✓ Anaerobe Verfahren (Vergärung) . .	329
5.2.8	Qualitätskriterien für Komposte . . .	331
5.2.8.1	Merkblatt 10 „Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost aus Müll und Müllklär- schlamm“ der Länderarbeitsge- meinschaft Abfall (LAGA)	331
5.2.8.2	„EG-Anforderungen“	331
5.2.8.3	Umweltzeichen	333
5.2.8.4	Qualitätskriterien und Gütericht- linien für Komposte aus organi- schen Abfällen: Vorschlag des For- schungsprojektes „Grüne Biotonne Witzenhausen“	334
5.2.8.5	Geruchsemissionen	335
5.2.8.6	Schadstoffe	336
5.2.8.6.1	Schwermetalle	336
5.2.8.6.2	Organische Schadstoffe	340
5.2.8.7	Getrennte Sammlung und Biomüll .	340
5.2.8.8	✗ Vermarktung und Absatz	342
5.3	✗ Chemisch-physikalische Verfahren zur Behandlung von Abfällen	344
5.3.1	Zielsetzung, Eignung und Organisa- tion der chemisch-physikalischen Behandlung	344
5.3.1.1	Zielsetzung und Eignung der che- misch-physikalischen Behandlung .	344
5.3.1.2	Derzeitige Ablauforganisation in der Praxis der Annahme von Sonderab- fällen zur chemisch-physikalischen Behandlung	344
5.3.1.3	Zukünftige Ablauforganisation nach dem Inkrafttreten der TA Abfall, Teil 1	346
5.3.2	Struktur von chemisch-physikali- schen Abfallentsorgungsanlagen . .	347
5.3.2.1	Behandlungsziel und Anlagenstruk- tur	347
5.3.2.2	Anorganischer Anlagenstrang	348
5.3.2.3	Organischer Anlagenstrang	348
5.3.2.4	Beispielhafte Beschreibung vorhan- dener chemisch-physikalischer Be- handlungsanlagen	349
5.3.2.4.1	Anorganischer Anlagenstrang	349
5.3.2.4.2	Organische Anlagenstränge	349

5.3.2.4.3	Zusatzanlage im Grenzbereich der organischen und anorganischen Stränge	351
5.3.2.4.4	Weitere Anlagenbeispiele	353
5.3.2.5	Bewertung der Praxis der chemisch-physikalischen Behandlung von Sonderabfällen	356
5.3.3	Verfahrenserläuterungen	356
5.3.3.1	Physikalische Trennverfahren	358
5.3.3.2	Überwiegend chemische Behandlungsschritte	361
5.3.3.2.1	Chemisches Lösen	361
5.3.3.2.2	Neutralisations- und Fällungsprozesse	361
5.3.3.2.3	Reduktionsverfahren	364
5.3.3.2.4	Oxidationsverfahren	365
5.3.4	Stoffspezifische Verfahren zur Entgiftung und Behandlung besonderer Abfälle	366
5.3.4.1	Entgiftungsverfahren	366
5.3.4.1.1	Cyanidentgiftung	366
5.3.4.1.2	Weitere Entgiftungsverfahren	367
5.3.4.1.3	Chemische Dekontamination schwermetallbelasteter Schlämme sowie fester Abfallstoffe	369
5.3.4.1.4	Chemolyse von Industrieklärschlämmen (Biomasse)	370
5.3.4.1.5	Naßoxidation organischer Substanz	370
5.3.4.2	Spaltverfahren zur Verwertung bestimmter organischer Abfälle zwecks Gewinnung von Sekundärrohstoffen	371
5.3.4.2.1	Allgemeines zu den Pyrolyseverfahren	371
5.3.4.2.2	Das Tübinger Verfahren zur Klärschlammpyrolyse	373
5.3.4.2.3	Pyrolyseverfahren für energiereiches Material	374
5.3.4.2.4	Hydrierung	379
5.3.4.2.5	Hydrolyse	380
5.3.4.2.6	Alkoholyse und Glykolyse	381
5.3.4.3	Verfahren zur Immobilisierung (Konditionierung, Verfestigung, Stabilisierung) von Abfällen	382
5.3.5	Schlußfolgerungen	383
5.3.5.1	Allgemeine Kosten- und Stoffflußbetrachtung der chemisch-physikalischen Behandlungsverfahren	383
5.3.5.2	Allgemeine Ziele der chemisch-physikalischen Behandlung von Abfällen	384
5.3.5.3	Auswirkungen der TA Abfall, Teil 1	384

5.3.5.4	Verfahren	384
5.3.5.5	Verwertungspotential der chemisch-physikalischen Abfallbehandlung ..	385
5.4	Thermische Abfallbehandlung	386
5.4.1	Thermische Abfallbehandlung in der Bundesrepublik Deutschland ..	386
5.4.2	Grundlagen der thermischen Abfallbehandlung	389
5.4.3	Aufbau von Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung	391
5.4.3.1	Aufbau von Abfallverbrennungsanlagen	391
5.4.3.1.1	Feuerungssysteme	393
5.4.3.1.2	Entwicklungstendenzen in der Abfallverbrennung	394
5.4.3.2	Aufbau von Pyrolyseanlagen	400
5.4.4	Anwendungsbereiche der Abfallverbrennung	402
5.4.4.1	Hausmüll	402
5.4.4.2	Brennstoff aus Müll (BRAM)	403
5.4.4.3	Klärschlamm	403
5.4.4.4	Sonderabfälle	404
5.4.4.5	Krankenhausspezifische Abfälle ...	405
5.4.5	Schadstoffanfall bei der Abfallverbrennung	405
5.4.6	Emissionsminderungsmaßnahmen .	408
5.4.7	Emissionen von Schadstoffen	414
5.4.8	Rückstände und deren Behandlung	420
5.4.9	Bilanzierung wichtiger Schadstoffe	426
5.4.10	Kosten der Abfallverbrennung	429
5.4.11	Bewertung der thermischen Abfallbehandlung	431
5.5	Deponierung	434
5.5.1	Einführung	434
5.5.2	Mineralstoffdeponie	435
5.5.2.1	In Mineralstoffdeponien ablagerbare Abfälle	435
5.5.2.2	Deponiestandort	438
5.5.2.3	Deponieabdichtungssysteme	440
5.5.2.4	Deponieemissionen	440
5.5.2.5	Deponiebetrieb und -kontrolle	441
5.5.2.6	Schlußfolgerungen	442
5.5.3	Siedlungsabfalldeponie	442
5.5.3.1	In Siedlungsabfalldeponien ablagerbare Abfälle	443
5.5.3.2	Deponiestandort	445
5.5.3.3	Deponieabdichtungssysteme	445
5.5.3.3.1	Basisabdichtungssysteme	446

5.5.3.3.2	Oberflächenabdichtungssysteme ..	448
5.5.3.4	Deponieemissionen	450
5.5.3.4.1	Deponiesickerwasser	451
5.5.3.4.2	Deponiegas	459
5.5.3.4.3	Geruchsemissionen	464
5.5.3.4.4	Belästigungen während des Deponiebetriebes	465
5.5.3.5	Deponiebetrieb und -kontrolle	465
5.5.3.5.1	Abfalleinbau	465
5.5.3.5.2	Konzept der gesteuerten Bioreaktor-deponie	467
5.5.3.5.3	Überwachung und Kontrolle von Siedlungsabfalldeponien	471
5.5.3.6	Schlußfolgerungen	472
5.5.4	Oberirdische Sonderabfalldeponie .	472
5.5.4.1	In Sonderabfalldeponien ablagerbare Abfälle	473
5.5.4.2	Deponiestandort	473
5.5.4.3	Deponieabdichtungssysteme	476
5.5.4.3.1	Basisabdichtungssysteme	476
5.5.4.3.2	Oberflächenabdichtungssysteme ..	478
5.5.4.3.3	Behälterdeponien	478
5.5.4.4	Deponieemissionen	478
5.5.4.4.1	Deponiesickerwasser	478
5.5.4.4.2	Gasförmige Emissionen	481
5.5.4.4.3	Geruchsemissionen	482
5.5.4.5	Deponiebetrieb und -kontrolle	483
5.5.4.5.1	Abfalleinbau	483
5.5.4.5.2	Überwachung und Kontrolle	483
5.5.4.6	Schlußfolgerungen	483
5.5.5	Untertagedeponie	483
5.5.5.1	Notwendigkeit der untertägigen Deponierung	483
5.5.5.2	Möglichkeiten zur Einrichtung von Untertagedeponien	484
5.5.5.2.1	Technische Konzepte zur Herstellung untertägiger Hohlräume	484
5.5.5.2.2	Wirtsgesteine für Untertagedeponien	485
5.5.5.2.3	Untertagedeponien für nichtradioaktive Abfälle	486
5.5.5.3	Unter Tage abzulagernde Abfallarten und -mengen	487
5.5.5.4	Langzeitsicherheit von Untertagedeponien	490
5.5.5.4.1	Geowissenschaftliche Einflußfaktoren	490
5.5.5.4.2	Beschaffenheit untertägig abzulagernder Abfälle	492

5.5.5.4.3	Spezifische Aspekte von Untertage- deponien in Salzgesteinen	492
5.5.5.4.4	Spezifische Aspekte von Untertage- deponien in Steinkohlenformatio- nen	494
5.5.5.5	Zusammenfassende Beurteilung und Schlußfolgerungen	496
5.5.6	Zusammenfassung	498
6	RISIKOBETRACHTUNG ZU DEN STOFFLICHEN EMISSIONEN AUS ABFALLVERBRENNUNGSANLA- GEN UND DEPONIE	500
6.1	Grundlagen der toxikologischen Bewertung	500
6.1.1	Abschätzung der Exposition von Personen	500
6.1.1.1	Inhalation von Schadstoffen mit der Atemluft	501
6.1.1.2	Orale Aufnahme von Schadstoffen .	501
6.1.1.2.1	Kontaminierter Boden	501
6.1.1.2.2	Kontaminierte Nahrungsmittel	502
6.1.1.2.3	Kontaminiertes Trinkwasser	503
6.1.2	Vorgehensweise für die toxikologi- sche Bewertung	503
6.1.2.1	Inhalative Belastung	506
6.1.2.2	Orale Belastung	508
6.1.2.2.1	Kontaminierter Boden	508
6.1.2.2.2	Kontaminierte Nahrungsmittel	510
6.1.2.2.3	Kontaminiertes Trinkwasser	512
6.1.2.3	Bewertung der individuellen Bela- stung	512
6.1.2.4	Beurteilung von Kombinationswir- kungen	514
6.2	Toxikologische Bewertung der Emissionen aus der Abfallverbren- nung	516
6.2.1	Einleitung	516
6.2.2	Verbrennung von Hausmüll	516
6.2.2.1	Schadstoffströme	516
6.2.2.2	Emissions-Immissions-Verhältnisse bei Hausmüllverbrennungsanlagen	517
6.2.2.3	Belastung durch anorganische Gase	518
6.2.2.4	Belastung durch luftgetragene Me- tallemissionen	525
6.2.2.5	Belastung durch organische Stoffe .	528
6.2.2.6	Belastung durch halogenierte Di- benzodioxine und Dibenzofurane ..	531
6.2.2.6.1	Anreicherung und Toxizitätsäquiva- lente	531

6.2.2.6.2	Emissionen aus Hausmüllverbrennungsanlagen; Vergleich mit anderen Quellen	532
6.2.2.6.3	Abschätzung der Zusatzbelastung des Menschen mit polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen	534
6.2.2.6.3.1	Eintrag in die Umwelt	535
6.2.2.6.3.2	Anreicherung im Boden	536
6.2.2.6.3.3	Übergang in die Nahrung	537
6.2.2.6.3.4	Anreicherung in der Nahrungskette	538
6.2.2.6.3.5	Belastung des Menschen	540
6.2.2.6.3.6	Zusammenfassende Betrachtung der Zusatzbelastung des Menschen ...	541
6.2.2.6.4	Bewertung der Belastung durch polychlorierte Dibenzodioxine und -furane	542
6.2.2.6.5	Bromierte Dibenzodioxine und -furane	544
6.2.2.7	Schadstoffe in Verbrennungsrückständen und in Abgasreinigungsprodukten	544
6.2.2.7.1	Anorganische Stoffe (ohne Metalle)	545
6.2.2.7.2	Metalle	546
6.2.2.8	Zusammenfassende Bewertung der Verbrennung von Hausmüll	547
6.2.3	Sonderabfallverbrennung	548
6.2.3.1	Gefährdung durch Lagerung von Sonderabfällen	548
6.2.3.2	Emissionen über die Abgase aus der Verbrennung	549
6.2.3.3	Rückstände aus Sonderabfallverbrennungsanlagen	549
6.2.4	Pyrolyse von Hausmüll	549
6.2.4.1	Emissionen in die Luft	550
6.2.4.2	Emissionen aus den Rückständen .	550
6.2.4.3	Zusammenfassung	551
6.3	Toxikologische Bewertung der Emissionen aus Deponien	552
6.3.1	Einleitung	552
6.3.2	Belastung durch die Inhalation von Gasen und Stäuben	552
6.3.2.1	Emittierte Stoffe	552
6.3.2.1.1	Gasförmige Emissionen	552
6.3.2.1.2	Staubförmige Emissionen	555
6.3.2.2	Abschätzung der Exposition von Personen	555
6.3.2.2.1	Gasförmige Stoffe	555
6.3.2.2.2	Staub	556
6.3.2.3	Vorgehensweise für die toxikologische Bewertung	557

6.3.3	Belastung durch orale Aufnahme luftgetragener Schadstoffe aus De- ponien	557
6.3.4	Belastung durch Sickerwasser	558
6.3.4.1	Belastung des Grund- und Oberflä- chenwassers	558
6.3.4.2	Trinkwasser	561
6.3.5	Gefährdungspotential von Sicker- wasser unter Langzeitaspekten	561
6.3.6	Zusammenfassung	562
6.4	Vergleichende Betrachtung der Emissionen aus der Hausmüllver- brennung und aus der Ablagerung von unbehandelten Siedlungsabfä- len	564
6.4.1	Emissionen in die Luft	564
6.4.2	Emissionen aus den Rückständen und Belastung des Sickerwassers ..	569
6.4.3	Zusammenfassender Vergleich	569
7	ANFORDERUNGEN AN DIE ZU- KÜNFTIGE ABFALLWIRTSCHAFT	571
7.1	Ziele und Strategien der Abfallwirt- schaft	571
7.2	Die Strategie der Vermeidung und Verwertung	572
7.2.1	Zum Vorrang der Strategie von Ver- meidung und Verwertung	572
7.2.2	Zur Umsetzung von Vermeidung und Verwertung	575
7.3	Abfallbeseitigung	578
7.3.1	Zur Notwendigkeit der Abfallbesei- tigung	578
7.3.2	Anforderungen an die Planung ...	579
7.3.3	Anforderungen an die thermischen Behandlungsanlagen	579

7.3.4	Anforderungen an die Deponierung	580
7.3.5	Zur Akzeptanz der Behandlung und Ablagerung von Abfällen	581
7.4	Internationale Aspekte	583
7.5	Schlußbetrachtung	584
	Anhang I	585
	Ergänzende Materialien zu Kapitel 4.4	585
I. 1	Auszüge aus dem Entwurf der VDI-Richtlinie „Recyclingorientierte Gestaltung technischer Produkte“ (VDI 2243, Entwurf vom Dezember 1984)	586
I. 2	Auszüge aus der Broschüre „Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie“ — Verpflichtung und Praxisbeispiele — Erläuterungen zu ausgewählten Verfahren —	594
	Anhang II	627
	Erlaß über die Einrichtung eines Rates von Sachverständigen für Umweltfragen beim Bundesminister des Innern	628
	Literaturverzeichnis	631
	Register	675
	Verzeichnis der Abkürzungen	711
	Gutachten und veröffentlichte Stellungnahmen des Rates von Sachverständigen Umweltfragen	715
	Materialien zur Umweltforschung	717