

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 | ✕ ^r „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 | ✕ ^r Abfallwirtschaft im System Umwelt | 33 |
| 2.1.5 | ✕ ^r Abfallwirtschaft im technisch-öko- nomischen System | 35 |
| 2.1.6 | Zusammenfassung | 38 |
| 2.2 | Rechtliche Grundlagen der Abfall- wirtschaft | 39 |
| 2.2.1 | ✕ ^r Historische Entwicklung abfall- rechtlicher Zielsetzungen | 39 |
| 2.2.2 | ✕ ^r Stellung des Abfallrechts innerhalb des Umweltrechts | 42 |
| 2.2.3 | Anwendungsbereich des Abfallge- setzes | 43 |
| 2.2.3.1 | ✕ ^r Der Abfallbegriff als Kriterium zur Bestimmung des Anwendungsberei- ches des Abfallgesetzes | 43 |
| 2.2.3.2 | ✕ ^r Subjektiver Abfallbegriff | 43 |
| 2.2.3.3 | ✕ ^r 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 | ✕ ^r 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 | X |
| 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 | X |
| 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 | Mehrkammernüllsystem 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 Bioreaktordeponie | 467 |
| 5.5.3.5.3 | Überwachung und Kontrolle von SiedlungsabfalldPONien | 471 |
| 5.5.3.6 | Schlußfolgerungen | 472 |
| 5.5.4 | Oberirdische SonderabfalldPONie . | 472 |
| 5.5.4.1 | In SonderabfalldPONien 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 |

| | Seite | |
|------------|--|------------|
| 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 Deponien | 557 |
| 6.3.4 | Belastung durch Sickerwasser | 558 |
| 6.3.4.1 | Belastung des Grund- und Oberflächenwassers | 558 |
| 6.3.4.2 | Trinkwasser | 561 |
| 6.3.5 | Gefährdungspotential von Sickerwasser unter Langzeitaspekten | 561 |
| 6.3.6 | Zusammenfassung | 562 |
| 6.4 | Vergleichende Betrachtung der Emissionen aus der Hausmüllverbrennung und aus der Ablagerung von unbehandelten Siedlungsabfällen | 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 ZUKÜNFTIGE ABFALLWIRTSCHAFT | 571 |
| 7.1 | Ziele und Strategien der Abfallwirtschaft | 571 |
| 7.2 | Die Strategie der Vermeidung und Verwertung | 572 |
| 7.2.1 | Zum Vorrang der Strategie von Vermeidung und Verwertung | 572 |
| 7.2.2 | Zur Umsetzung von Vermeidung und Verwertung | 575 |
| 7.3 | Abfallbeseitigung | 578 |
| 7.3.1 | Zur Notwendigkeit der Abfallbeseitigung | 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 |