

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Politische Ziele, Entwicklungen und rechtliche Aspekte der Abfall- und Kreislaufwirtschaft</b>	<b>1</b>
Paul Laufs	
1.1 Die Aufgaben der Abfall- und Kreislaufwirtschaft	2
1.2 Die staatliche Regulierung und ihre Probleme	5
1.3 Die politische Zielsetzung des Gesundheitsschutzes	8
1.4 Die Stoffströme in der modernen Konsumgesellschaft	9
1.5 Das umweltpolitische Ziel hoher Ressourcenproduktivität und geringer Abfallintensität in hoch industrialisierten Volkswirtschaften	13
1.6 Die Entwicklung des deutschen Abfallrechts	16
1.6.1 Das Bundesseuchengesetz von 1961	17
1.6.2 Das Abfallbeseitigungsgesetz von 1972	17
1.6.3 Das Abfallgesetz von 1986	19
1.6.4 Das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz von 1993	21
1.6.5 Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz von 1994	22
1.6.6 Das Kreislaufwirtschaftsgesetz von 2012	28
1.7 Europäische Entwicklungen und internationale Einflüsse	32
1.7.1 Europäische Gemeinschaft/Union (EG/EU)	32
1.7.2 Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP)	39
1.8 Instrumente zur Steuerung der Abfallströme	41
1.8.1 Staatliche Instrumente im engeren Sinne	41
1.8.2 Ökonomische Instrumente	42
1.8.3 Instrumente der Wirtschaft	49
Literatur	50

<b>2 Ressourcen- und Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft</b>	<b>55</b>
Jan Henning Seelig, Mechthild Baron, Henning Friege, Florian Hansen und Martin Faulstich	
2.1 Einleitung	56
2.2 Globale Herausforderungen der Rohstoffwirtschaft	57
2.2.1 Rohstoffverfügbarkeit und -nachfrage	57
2.2.2 Wirtschaftlicher Aufstieg der Schwellenländer	62
2.2.3 Umweltauswirkungen der Rohstoffwirtschaft	62
2.3 Kreislaufwirtschaft	65
2.3.1 Recycling in Deutschland	66
2.3.2 Herausforderungen und Optionen für die Abfallwirtschaft	70
2.4 Hindernisse für Recycling und Wiederverwendung gebrauchter Produkte	71
2.4.1 Grundsätzliche physikalische Grenzen	71
2.4.2 Gefährliche Stoffe	74
2.4.3 Fehlende Informationen über Zustand und Inhaltsstoffe	76
2.4.4 Die Rolle der Zeit	77
2.4.5 Grundsätzliche ökonomische Faktoren	77
2.4.6 Erschwernisse für die Abfallverwertung	79
Literatur	81
<b>3 Abfallmenge und Abfallzusammensetzung</b>	<b>85</b>
Detlef Clauß und Dominik Leverenz	
3.1 Einleitung	86
3.2 Abfallarten	87
3.3 Faktoren, die Menge und Zusammensetzung der Abfälle beeinflussen	89
3.4 Abfallmenge und Abfallintensität	95
3.4.1 Siedlungsabfälle	96
3.4.2 Internationale Abfallmengen	102
3.5 Abfallzusammensetzung	105
3.5.1 Siedlungsabfälle	113
3.5.2 Internationale Abfallzusammensetzung	121
3.6 Abfallanalytik	125
Literatur	130
<b>4 Abfallvermeidung</b>	<b>133</b>
Martin Kranert, Dominik Leverenz, Anna Fritzsche und Werner Bidlingmaier	
4.1 Grundlagen	134
4.1.1 Einführung	134
4.1.2 Definition	136
4.1.3 Gründe zur Abfallvermeidung	139
4.1.4 Akteure zur Abfallvermeidung	141

4.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen zur Abfallvermeidung .....	142
4.2.1	Verankerung im europäischen Recht .....	142
4.2.2	Verankerung im deutschen Recht. ....	144
4.2.3	Abfallvermeidungsprogramm .....	146
4.3	Maßnahmen zur Abfallvermeidung sowie Problembereiche bei der Umsetzung .....	150
4.3.1	Gesetz- und Verordnungsgeber (Bund und Länder). ....	150
4.3.2	Gebietskörperschaften .....	150
4.3.3	Forschung, Bildung und Information. ....	152
4.3.4	Öffentliche Hand, Beschaffungswesen .....	152
4.3.5	Produktion und produzierendes Gewerbe .....	153
4.3.6	Handel .....	158
4.3.7	Dienstleistungsgewerbe .....	159
4.3.8	Privathaushalte .....	162
4.3.9	Planer, Berater .....	167
4.3.10	Organisationen und Verbände .....	167
4.3.11	Schlussbemerkungen .....	167
	Literatur. ....	169
<b>5</b>	<b>Sammlung und Transport .....</b>	<b>173</b>
	Bernhard Gallenkemper, Heinz-Josef Dornbusch, Manfred Santjer, Kathrin Heuer und Nico Schulte	
5.1	Einleitung und Einstieg in die Thematik .....	174
5.2	Sammelsysteme .....	175
5.2.1	Grundsätzlicher Ablauf der Entsorgungslogistik .....	175
5.2.2	Abfall- und Wertstoffmengen in Abhängigkeit der Systeme .....	177
5.3	Verfahren der Müllabfuhr .....	182
5.3.1	Abfuhrsysteme .....	182
5.3.2	Sammelbehälter .....	183
5.3.3	Sammelfahrzeuge .....	188
5.4	Umladung und Transport .....	194
5.4.1	Grundsätzliche Überlegungen .....	194
5.4.2	Umladesysteme .....	195
5.4.3	Ferntransport .....	196
5.5	Organisation und Einsatzplanung in der Entsorgungslogistik .....	198
5.5.1	Örtliche Rahmenbedingungen .....	198
5.5.2	Technische Rahmenbedingungen. ....	199
5.5.3	Betriebliche Rahmenbedingungen. ....	200
5.5.4	Organisatorische Rahmenbedingungen .....	202
5.6	Leistungsdaten und Kosten der Entsorgungslogistik. ....	203
5.6.1	Sammlung .....	203
5.6.2	Transport .....	208

5.7	Abfallgebühren .....	213
5.7.1	Einleitung und rechtliche Grundlagen .....	213
5.7.2	Gebührenmodelle und -maßstäbe .....	214
5.7.3	Mindestbehältervolumen .....	217
5.8	Digitalisierung im Kontext von Sammlung und Transport .....	218
5.8.1	Digitalisierungsbemühungen innerhalb der Entsorgungsbetriebe .....	218
5.8.2	Software- und Technologieeinsatz zur Prozessunterstützung .....	220
	Literatur .....	224
<b>6</b>	<b>Aufbereitung fester Abfallstoffe .....</b>	<b>227</b>
	Thomas Pretz, Alexander Feil und Karoline Raulf	
6.1	Grundlagen .....	228
6.2	Stoffspezifische Aufbereitung .....	229
6.3	Zerkleinerung .....	231
6.3.1	Zerkleinerer mit schneidender Beanspruchung .....	232
6.3.2	Zerkleinerer mit reißender Beanspruchung .....	238
6.3.3	Zerkleinerer mit Schlag- und Prallbeanspruchung .....	241
6.3.4	Zusammenfassung Zerkleinerung .....	247
6.4	Siebklassierung .....	249
6.4.1	Trommelsiebe .....	251
6.4.2	Linear- und Kreisschwingsiebe .....	254
6.4.3	Spannwellensiebe .....	258
6.4.4	Bewegte Roste .....	259
6.4.5	Zusammenfassung Klassierung .....	262
6.5	Sortierung .....	263
6.5.1	Magnetscheider .....	267
6.5.2	Wirbelstromscheider .....	272
6.5.3	Sortierung im Luftstrom .....	274
6.5.4	Sortierung nach Form .....	279
6.5.5	Nasse Dichtesortierung .....	281
6.5.6	Sensorbasierte Sortierung .....	283
6.6	Verfahrensentswurf .....	291
	Literatur .....	295
<b>7</b>	<b>Verwertung von Abfällen .....</b>	<b>299</b>
	Sabine Flamme, Katrin Große Scharmann, Kerstin Kuchta, Julia Hobohm, Georgios Chryssos, Wojciech Walica und Matthias Rapf	
7.1	Abfallströme und Ersatzbrennstoffe .....	301
7.1.1	Verwertung von Abfällen .....	301
7.1.2	Altglas .....	302
7.1.3	Altpapier .....	304
7.1.4	Metalle .....	308

7.1.5	Altkunststoffe . . . . .	315
7.1.6	Ersatzbrennstoffe . . . . .	319
7.2	Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten . . . . .	325
7.2.1	Einleitung . . . . .	325
7.2.2	Rechtlicher Rahmen . . . . .	326
7.2.3	Sammlung und Erfassung von Elektro- und Elektronikaltgeräten . . . . .	328
7.2.4	Mengenaufkommen und Ressourcenpotenzial . . . . .	330
7.2.5	Aufbereitungsverfahren zur Ressourcenrückgewinnung . . . . .	333
7.3	Erfassung und Verwertung von Altbatterien . . . . .	338
7.3.1	Altbatterien und Herstellerverantwortung – der Rechtsrahmen Der Europäische Rechtsrahmen . . . . .	338
7.3.2	Marktsituation – Inverkehrbringungsmengen, Altbatterieaufkommen . . . . .	341
7.3.3	Sammlung und Sortierung . . . . .	343
7.3.4	Aufbereitungsverfahren für Batterien . . . . .	344
7.3.5	Verwertungsverfahren für Batterien . . . . .	346
7.3.6	Herausforderungen für die Zukunft . . . . .	349
7.4	Verwertung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen . . . . .	351
7.4.1	Einleitung . . . . .	351
7.4.2	Klassifizierung von Bau- und Abbruchabfällen . . . . .	352
7.4.3	Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen für die Kreislaufführung von Bau- und Abbruchabfällen . . . . .	352
7.4.4	Aufbereitung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen . . . . .	357
7.4.5	Verwertung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen . . . . .	361
7.5	Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm . . . . .	364
7.5.1	Grundlegendes zum Siedlungsabfall Klärschlamm und seiner Entsorgung . . . . .	365
7.5.2	Phosphor im Klärschlamm . . . . .	366
7.5.3	Primäre Phosphorvorkommen, Nutzung und Umweltauswirkungen . . . . .	367
7.5.4	Ressourcenproblematik . . . . .	368
7.5.5	Pflicht zur Phosphorrückgewinnung in Deutschland und Entwicklungen in Europa . . . . .	369
7.5.6	Entwicklung der Phosphorrückgewinnung, Stand 2023 . . . . .	370
7.5.7	Kriterien zur Verfahrensauswahl . . . . .	375
7.5.8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen . . . . .	376
	Literatur . . . . .	379
8	<b>Biologische Verfahren . . . . .</b>	<b>391</b>
	Martin Kranert, Anna Fritzsche, Carla Cimatoribus, Martin Reiser, Claudia Maurer und Klaus Fischer	

8.1	Stand der biologischen Verwertung in Deutschland und Rahmenbedingungen .....	392
8.2	Kompostierung .....	398
8.2.1	Grundlagen .....	398
8.2.2	Der Rotteprozess – Faktoren, Kenngrößen und Prozessparameter .....	403
8.2.3	Aufbau von Kompostierungsanlagen .....	417
8.2.4	Technik der Kompostierung .....	420
8.2.5	Dimensionierung von Rottesystemen und Massenbilanzen .....	446
8.2.6	Bauliche Gestaltung und Flächenbedarf .....	450
8.2.7	Kosten .....	452
8.2.8	Einsatz von Komposten .....	454
8.3	Anaerobe Behandlung (Vergärung) .....	455
8.3.1	Vergärung in Deutschland: rechtlicher Rahmen, Sektorentwicklung .....	455
8.3.2	Biochemie der Vergärung .....	456
8.3.3	Verfahrenstechnik der Vergärung .....	465
8.3.4	Anlagentechnik .....	480
8.4	Qualität von Komposten und Gärprodukten .....	487
8.4.1	Rahmenbedingungen .....	487
8.4.2	Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. ....	488
8.4.3	Gütesicherung Produkte aus dem Bereich biologischer Verfahren der Abfallwirtschaft und Biogasanlagen .....	490
8.5	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung .....	492
8.5.1	Grundkonzeption der MBA .....	493
8.5.2	Mechanische Aufbereitung .....	494
8.5.3	Biologische Behandlung .....	497
8.5.4	Emissionen .....	500
8.5.5	Anforderungen an die Ablagerung von MBA-Material .....	502
8.5.6	Energiebilanz der MBA .....	503
8.5.7	Massen- und Volumenbilanz .....	503
8.5.8	Low-Tech-MBA-Verfahren in Entwicklungs- und Schwellenländern .....	505
8.5.9	Zukunft der MBA .....	506
8.6	Geruchsemissionen aus biologischen Abfallbehandlungsanlagen .....	507
8.6.1	Betrachtung der Emissionen aus Aerobverfahren .....	507
8.6.2	Geruchsstoffe und Gerüche .....	508
8.6.3	Emissionen und Abluftbehandlung .....	508
8.6.4	Geruchsmessung .....	509
8.6.5	Biologische Abluftreinigung .....	515
	Literatur .....	526

<b>9</b>	<b>Thermische Verfahren</b> .....	533
	Helmut Seifert, Hans-Joachim Gehrmann und Jürgen Vehlow	
9.1	Zielsetzung der thermischen Abfallbehandlung .....	534
9.2	Grundprozesse der thermischen Abfallbehandlung .....	535
9.3	Standardverfahren zur Abfallverbrennung .....	537
9.3.1	Hausmüllverbrennung .....	537
9.3.2	Sonderabfallverbrennung im Drehrohrofen .....	570
9.3.3	Klärschlammverbrennung im Wirbelschichtofen .....	572
9.4	Mitverbrennung von Abfällen – Ersatzbrennstoffe .....	572
9.5	Alternative Verfahren der thermischen Abfallbehandlung .....	576
9.5.1	Verfahrensprinzipien .....	576
9.5.2	Pyrolyseverfahren .....	577
9.5.3	Vergasungsverfahren .....	579
9.5.4	Marktsituation der Alternativ-Verfahren .....	580
	Literatur .....	583
<b>10</b>	<b>Deponie</b> .....	589
	Gerhard Rettenberger	
10.1	Einleitung .....	590
10.1.1	Von der wilden Müllablagerung (Kippe) zur geordneten Deponie – Deponien können ziemlich unterschiedlich sein ...	590
10.1.2	Wie viele Deponien werden gebraucht .....	597
10.2	Warum Deponietechnik? – Verschiedene Deponiekonzepte, ihre Merkmale und ihr Verhalten, die verschiedenen Deponieklassen für unterschiedliche Abfälle .....	598
10.2.1	Anlass für Deponiekonzepte .....	598
10.2.2	Deponiekonzepte .....	599
10.3	Das Verhalten von Verdichtungsdeponien mit Abfällen mit organischen Anteilen, Konsequenzen für die Technik einer Deponie ...	608
10.3.1	Die Randbedingungen .....	608
10.3.2	Deponiegas .....	609
10.3.3	Sickerwasser .....	614
10.3.4	Setzungen .....	619
10.3.5	Langzeitverhalten .....	620
10.3.6	Konsequenzen für die Technik einer Deponie .....	621
10.3.7	Deponieklassen .....	623
10.4	Das Deponierecht, seine Historie und die verschiedenen Deponieklassen .....	624
10.5	Anforderungen an die Errichtung der technischen Barrieren .....	630
10.6	Technische Ausstattung .....	638
10.6.1	Übersicht über die technische Ausstattung einer Deponie .....	638
10.6.2	Oberflächenwasserableitung .....	639

10.6.3	Erfassung, Speicherung und Behandlung von Sickerwasser. ....	641
10.6.4	Erfassung, Behandlung und Verwertung von Deponiegas. . .	645
10.7	Betrieb von Deponien. ....	673
10.8	Stilllegung, Nachsorge und Nachnutzung. ....	680
10.9	Neue Deponien, Standortfindung und Umweltverträglichkeit, Deponie auf Deponie. ....	682
10.9.1	Errichtung von Deponien – die Bauherren, Planer und Hersteller, die Behörden, Beispiele und Kosten. ....	684
10.10	Deponiesanierung, Deponierückbau und Nachnutzung. ....	688
10.10.1	Deponiesanierung. ....	688
10.10.2	Deponierückbau. ....	689
	Literatur. ....	694
<b>11</b>	<b>Gefährliche Abfälle. ....</b>	<b>699</b>
	Matthias Rapf und Erwin Thomanetz	
11.1	Allgemeines. ....	700
11.1.1	Definition und gesetzliche Grundlagen. ....	700
11.1.2	Mengen, Arten und Entsorgungswege gefährlicher Abfälle. ....	701
11.1.3	Gefährlicher Abfall – Überwachungsinstrumente. ....	707
11.1.4	Analytik gefährlicher Abfälle – Möglichkeiten und Grenzen. ....	709
11.2	Technische Verfahren zur Behandlung und Beseitigung gefährlicher Abfälle. ....	711
11.3	Chemisch-Physikalische Behandlung von gefährlichen Abfällen (CPB). ....	711
11.3.1	CPB – Allgemeines. ....	711
11.3.2	Altöl, Charakterisierung und Behandlung. ....	716
11.3.3	Abfall-Emulsionen. ....	717
11.3.4	Cyanide. ....	721
11.3.5	Nitrit. ....	730
11.3.6	Chromatentgiftung. ....	732
11.3.7	Schwermetalle. ....	736
11.3.8	Entwässerung von Abfall-Dünnschlämmen im Hinblick auf Deponierung. ....	740
11.3.9	Membranverfahren zur Behandlung von flüssigen gefährlichen Abfällen. ....	744
11.3.10	Aktivkohle zur Aufbereitung der CPB-Wasserphase. ....	749
11.4	Vermeidung/Verminderung/Verwertung von gefährlichem Abfall. ....	751
11.4.1	Abfall Vermeidung Verminderung Verwertung (VVV) – Allgemeines. ....	751

11.4.2	Beispiel: Abfallvermeidung/Abfallverminderung von Schneidöl-Emulsionen .....	753
11.4.3	Beispiel: Abfallvermeidung/Abfallverminderung von Lackschlämmen (ehemaliges ABAG-Projekt, Baden- Württemberg) .....	754
11.4.4	Beispiel: Abfallvermeidung/Abfallverwertung von Dünnsäure .....	754
	Literatur .....	757
<b>12</b>	<b>Abfallwirtschaftskonzepte und Abfallwirtschaftliche Planung auf Ebene der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger .....</b>	<b>759</b>
	Martin Kranert und Hans-Dieter Huber	
12.1	Abfallwirtschaftskonzepte .....	760
12.1.1	Allgemeines .....	760
12.1.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen und Zielvorgaben bei der Erstellung von Abfallwirtschaftskonzepten .....	761
12.1.3	Vorgehensweise bei der Erstellung von integrierten Abfallwirtschaftskonzepten .....	763
12.1.4	Berechnung, Bilanzierung und Bewertung von Modellvarianten .....	772
12.1.5	Abfallwirtschaftskonzept .....	778
12.1.6	Umsetzung von Abfallwirtschaftskonzepten .....	782
12.2	Planung und Realisierung abfallwirtschaftlicher Anlagen .....	784
12.2.1	Grundlagen und Vorgehensweisen .....	784
12.2.2	Konzeptionelle Planung .....	788
12.2.3	Genehmigungsplanung und Genehmigungsverfahren .....	789
12.2.4	Ausschreibung und Vergabe .....	792
12.2.5	Ausführungsplanung .....	795
12.2.6	Überwachung der Realisierung .....	796
	Literatur .....	800
<b>13</b>	<b>Betriebliches Abfall- und Nachhaltigkeitsmanagement .....</b>	<b>803</b>
	Jörg Woidasky, Claus Lang-Koetz und Stephan Fimpeler	
13.1	Einleitung .....	804
13.2	Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement .....	804
13.3	Produkt- und Prozessentwicklung aus abfallwirtschaftlicher Perspektive .....	807
13.3.1	Kreislaufwirtschaft, Circular Economy und Klimaschutz .....	807
13.3.2	Prozess- und Produktoptimierung .....	809
13.3.3	Kreislaufführung von Produkten .....	811
13.3.4	Eco-Design: Umwelt- und nachhaltigkeitsorientierte Produktgestaltung .....	815

13.4	Innerbetriebliche Abfallwirtschaft .....	816
13.5	Ausblick .....	820
	Literatur .....	821
<b>14</b>	<b>Stoffstrommanagement und Ökobilanzen .....</b>	<b>825</b>
	Gerold Hafner, Dominik Leverenz und Nicolas Escalante	
14.1	Einleitung .....	826
14.2	Stoffstrommanagement für Siedlungsabfälle .....	828
14.2.1	Hintergrund und Zielsetzung .....	828
14.2.2	Einordnung in die Siedlungsabfallwirtschaft .....	830
14.2.3	Methodik des Stoffstrommanagements .....	833
14.2.4	Zusammenfassung .....	845
14.3	Stoffstrommanagement für Lebensmittel, Stuttgarter Methode zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen .....	846
14.3.1	Einleitung und Hintergrund .....	846
14.3.2	Stuttgarter Methode für das Stoffstrommanagement von Lebensmitteln .....	848
14.3.3	Stuttgarter Methode – Teil I: Begriffe und Definitionen .....	850
14.3.4	Stuttgarter Methode – Teil II: Systemmodellierung .....	852
14.3.5	Stuttgarter Methode – Teil III: Datenerfassung und Bilanzierung .....	852
14.3.6	Stuttgarter Methode – Teil IV: Einordnung und Bewertung der Ergebnisse anhand von Bewertungskennziffern und Benchmarks .....	854
14.3.7	Stuttgarter Methode – Teil V: Bewertungskennziffern und Benchmarks .....	855
14.3.8	Stuttgarter Methode – Teil VI: Optimierungsmaßnahmen .....	855
14.3.9	Stuttgarter Methode – Teil VII: Monitoring und Erfolgskontrolle .....	862
14.4	Ökobilanz – Life Cycle Assessment .....	865
14.4.1	Einleitung .....	866
14.4.2	Allgemeines .....	866
14.4.3	Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz .....	867
14.4.4	Sachbilanz .....	869
14.4.5	Wirkungsabschätzung .....	869
14.4.6	Auswertung .....	873
14.4.7	Zusammenfassung .....	873
	Literatur .....	876

---

<b>Anhang</b> . . . . .	881
<b>A1. Anhang zu Kap. 3</b> . . . . .	881
<b>A2. Tabellen zu Kap. 5</b> . . . . .	885
<b>A3. Tabellen zu Kap. 7</b> . . . . .	891
<b>A4. Tabellen zu Kap. 8</b> . . . . .	904
<b>Glossar</b> . . . . .	913
<b>Literatur</b> . . . . .	949
<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	951