

Heinz Brauer (Hrsg.)

# Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik

Band 2:  
Produktions- und  
produktintegrierter Umweltschutz

Mit 523 Abbildungen und 134 Tabellen



Springer

# Inhaltsverzeichnis zu Band 2: Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz

1	Stoffbilanzen als Grundlage für die technische, ökonomische und ökologische Beurteilung von Produktionsprozessen und Produkten: P. Eyerer, M. Schuckert, I. Pfeiderer et al. . . . .	1
1.1	Grundlagen und Randbedingungen zur Erstellung von Stoffbilanzen . . . . .	1
1.1.1	Methodische Grundlagen . . . . .	2
1.1.2	Bilanzierungsgrenzen und Randbedingungen . . . .	5
1.2	Verfahrens- und Stoffbilanzen verschiedener Werkstoffe . . . . .	7
1.2.1	Aluminium . . . . .	7
1.2.1.1	Primäraluminium . . . . .	7
1.2.1.2	Sekundäraluminium . . . . .	13
1.2.2	Stahl und Eisen . . . . .	15
1.2.2.1	Bedeutung des Werkstoffes Stahl . . . . .	15
1.2.2.2	Stoffströme und -bilanzen für Stahl (Hochofenroute) . . . . .	17
1.2.2.3	Stoffströme und -bilanzen für Stahl (Elektroofen-Route) . . . . .	22
1.2.3	Kunststoffe . . . . .	25
1.2.3.1	Verfahrensschritte der Kunststoffsynthese . . . . .	25
1.2.3.2	Herstellung der Kunststoffe Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid und Polystyrol . . . . .	31
1.2.3.3	Stoffbilanzen am Beispiel von Duroplasten . . . . .	41
1.2.4	Stoff- und Energiebilanzen der Floatglasherstellung	51
1.2.5	Nichteisen-Metalle am Beispiel Kupfer . . . . .	52
1.3	Ausgewählte Umweltbelastungen (Emissionen, Abwasser, Abfall) bei der Herstellung von Werkstoffen	56
1.3.1	Aluminium . . . . .	56
1.3.2	Stahl . . . . .	59
1.3.3	Kunststoffe . . . . .	59
1.4	Ganzheitliche Bilanzierungen am Beispiel verschiedener Bauteile aus der Automobilindustrie	61

1.4.1	Ganzheitliche Bilanzierung am Beispiel von Automobil-Ansaugrohren . . . . .	61
1.4.1.1	Vorgehensweise . . . . .	61
1.4.1.2	Aluminium-Ansaugrohr . . . . .	63
1.4.1.3	PA 6.6 GF 35-Ansaugrohr . . . . .	65
1.4.1.4	Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen . . . . .	65
1.4.1.5	Atmosphärische Emissionen . . . . .	67
1.4.1.6	Abfälle . . . . .	69
1.4.2	Ganzheitliche Bilanzierung am Beispiel eines Automobilölfilters mit Aluminium-, Stahl- oder Polyamid PA 6.6 GF 35 Gehäuse . . . . .	69
1.4.2.1	Randbedingungen, Systemgrenzen und Datengrundlage . . . . .	69
1.4.2.2	Energiebilanzen zur Herstellung und Nutzung von Ölfiltergehäusen . . . . .	71
1.4.2.3	CO <sub>2</sub> -Emissionen zur Herstellung und Nutzung von Ölfiltergehäusen . . . . .	75
1.4.2.4	Deponiebedarf zur Herstellung und Entsorgung von Ölfiltergehäusen . . . . .	76
1.5	Grenzen der dargestellten Bilanzen . . . . .	77
	Literatur . . . . .	78
2	Produktionsintegrierter Umweltschutz bei der Aufbereitung und Aufarbeitung von Rohstoffen: E. Gock, J. Kähler, V. Vogt . . . . .	79
2.1	Physikalische Grundoperationen . . . . .	80
2.1.1	Zerkleinerung . . . . .	81
2.1.1.1	Wirkprinzipien der Zerkleinerung . . . . .	81
2.1.1.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	82
2.1.1.3	Entwicklungstendenzen . . . . .	84
2.1.2	Klassierung . . . . .	93
2.1.2.1	Wirkprinzipien der Klassierung . . . . .	94
2.1.2.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	97
2.1.2.3	Entwicklungstendenzen . . . . .	101
2.1.3	Sortierung . . . . .	104
2.1.3.1	Klaubung . . . . .	106
2.1.3.2	Klassierende Sortierung . . . . .	107
2.1.3.3	Dichtesortierung . . . . .	108
2.1.3.4	Elektrosortierung . . . . .	119
2.1.3.5	Magnetscheidung . . . . .	126
2.1.3.6	Flotation . . . . .	132
2.1.3.7	Sonderverfahren zur Sortierung . . . . .	143
2.2	Naßchemische Grundoperationen . . . . .	144
2.2.1	Laugung . . . . .	145
2.2.1.1	Wirkprinzipien der Laugung . . . . .	145
2.2.1.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	148
2.2.2	Fällung . . . . .	152

2.2.2.1	Wirkprinzipien der Fällung . . . . .	152
2.2.2.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	153
2.2.3	Kristallisation . . . . .	157
2.2.3.1	Wirkprinzipien der Kristallisation . . . . .	158
2.2.3.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	158
2.2.4	Elektrolyse . . . . .	160
2.2.4.1	Wirkprinzipien der Elektrolyse . . . . .	160
2.2.4.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	160
2.2.5	Ionenaustausch . . . . .	162
2.2.5.1	Wirkprinzipien des Ionenaustausches . . . . .	163
2.2.5.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	168
2.2.6	Adsorption . . . . .	176
2.2.6.1	Wirkprinzipien der Adsorption . . . . .	176
2.2.6.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	176
2.2.7	Membranverfahren . . . . .	179
2.2.7.1	Wirkprinzipien der Membranverfahren . . . . .	179
2.2.7.2	Verfahrenstechnische Umsetzung . . . . .	180
2.3	Verfahrensbeispiele . . . . .	191
2.3.1	Erze . . . . .	191
2.3.1.1	Laugung von Zinkerzen . . . . .	192
2.3.1.2	Laugung rheniumhaltiger Molybdänerze . . . . .	196
2.3.1.3	Aufschluß von Titanerzen . . . . .	202
2.3.2	Kohle . . . . .	216
2.3.2.1	Aufbereitung von Steinkohlen . . . . .	216
2.3.2.2	Weitergehende Maßnahmen . . . . .	219
2.3.3	Salze . . . . .	220
2.3.3.1	Kalisalzaufbereitung . . . . .	220
2.3.3.2	Aufbereitung von Phosphatierschlämmen . . . . .	226
	Literatur . . . . .	232
<b>3</b>	<b>Produktionsintegrierter Umweltschutz in Kohlekraftwerken: K.-E. Wirth . . . . .</b>	<b>238</b>
3.1	Anforderungen . . . . .	238
3.1.1	Abgrenzung zwischen additivem und produktionsintegriertem Umweltschutz . . . . .	238
3.1.2	Gesetzliche Bestimmungen . . . . .	240
3.1.3	Kohlendioxidproblematik . . . . .	242
3.1.4	Stand der Schadstoffemissionen . . . . .	244
3.1.5	Aufgaben für einen produktionsintegrierten Umweltschutz in Kohlekraftwerken . . . . .	245
3.2	Verbesserung des Verbrennungsvorganges in konventionellen Feuerungssystemen . . . . .	246
3.2.1	Stickoxidbildung . . . . .	246
3.2.2	NO <sub>x</sub> -arme Brenner . . . . .	249
3.2.3	Feuerraumgeometrie . . . . .	251
3.2.4	Stickoxidemissionen aus Staubfeuerungen . . . . .	254
3.3	Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades . . . . .	254

3.3.1	Wirkungsgradsteigernde Maßnahmen für konventionelle Kohlekraftwerke . . . . .	254
3.3.2	Dampfturbinenprozeß . . . . .	256
3.3.3	Wirkungsgrad konventioneller Kohlekraftwerke . . . . .	259
3.3.4	Neue Kraftwerkskonzepte . . . . .	261
3.3.4.1	Einbindung des Gasturbinenprozesses . . . . .	261
3.3.4.2	Kombiprozeß mit Druckverbrennung . . . . .	261
3.3.4.3	Kombiprozeß mit Kohledruckvergasung . . . . .	264
3.3.4.4	Kombiprozeß mit integrierter Kohlevergasung und Kohleverbrennung . . . . .	268
3.3.4.5	Wirkungsgrade von Kohle-Kombiprozessen . . . . .	271
3.4	Neue Feuerungssysteme – Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung . . . . .	272
3.4.1	Anforderungsprofil . . . . .	272
3.4.2	Feuerungsanlagen nach dem Prinzip der zirkulierenden Wirbelschicht . . . . .	273
3.4.2.1	Aufbau und Wirkungsweise einer zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung . . . . .	273
3.4.2.2	Einordnung der zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung in die Feuerungssysteme für Festbrennstoffe . . . . .	277
3.4.3	Schadstoffemissionen . . . . .	280
3.4.3.1	Schwefeldioxidemission . . . . .	280
3.4.3.2	Stickoxidemission . . . . .	282
3.4.3.3	Distickstoffmonoxidemission . . . . .	284
3.4.3.4	Kohlenmonoxidemission . . . . .	286
3.4.3.5	Halogene . . . . .	287
3.4.3.6	Staub . . . . .	288
3.4.3.7	Grenzen der Emissionsminderung . . . . .	288
3.4.4	Anlagenkonzepte . . . . .	289
3.4.4.1	Zirkulierende Wirbelschichtfeuerungssysteme . . . . .	289
3.4.4.2	Bauart LURGI . . . . .	289
3.4.4.3	Bauart AHLSTRÖM . . . . .	290
3.4.4.4	Bauart BABCOCK . . . . .	291
3.4.4.5	Bauart STUDSVIK . . . . .	291
3.4.4.6	Zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen mit in der Brennkammer befindlichen Feststoffabscheidovorrichtungen . . . . .	292
3.4.5	Strömungszustand in zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen . . . . .	293
3.4.5.1	Problematik bei der Auslegung zirkulierender Wirbelschichtfeuerungen . . . . .	293
3.4.5.2	Globaler Strömungszustand . . . . .	294
3.4.5.3	Lokaler Strömungszustand . . . . .	297
3.4.6	Berechnung des Strömungszustandes zirkulierender Wirbelschichten . . . . .	303
3.4.6.1	Modellierung zirkulierender Wirbelschichtfeuerungen . . . . .	303

3.4.6.2	Zustands- und Druckverlustdiagramm . . . . .	303
3.4.6.3	Betriebsverhalten von zirkulierenden Wirbelschichten mit einem Siphon in der Rückföhrleitung . . . . .	305
3.4.6.4	Zirkulierender Feststoffmassenstrom . . . . .	308
3.4.7	Wandseitiger Wärrneübergang . . . . .	312
3.4.7.1	Gaskonduktiver und gaskonvektiver Wärrneübergang	313
3.4.7.2	Einfluß der Strahlung auf den Wärrneübergang . . . . .	314
	Formelzeichen . . . . .	316
	Symbolverzeichnis . . . . .	316
	Griechische Buchstaben . . . . .	317
	Dimensionslose Kennzahlen . . . . .	318
	Literatur . . . . .	319
4	Produktionsintegrierter Umweltschutz bei Industrieofenprozessen unter besonderer Berücksichtigung der Stahlindustrie: R. Jeschar, G. Dombrowski, G. Hoffmann . . . . .	323
4.1	Definition und Einsatzgebiete von Industrieöfen . . . . .	323
4.2	Typische Industrieofenprozesse . . . . .	331
4.2.1	Typische Industrieofenprozesse in der Stahlindustrie . . . . .	331
4.2.1.1	Kokerei – Horizontalkammerofen . . . . .	335
4.2.1.2	Sinteranlage – Sinterbandofen . . . . .	337
4.2.1.3	Hochofen . . . . .	338
4.2.1.4	Stahlwerk-Frischprozeß . . . . .	341
4.2.1.5	Schrotteinschmelzverfahren . . . . .	346
4.2.1.6	Wärmöfen in Warmwalzwerken . . . . .	348
4.2.1.7	Glühverfahren . . . . .	351
4.2.2	Typische Industrieöfen in der Gießerei und Buntmetallindustrie . . . . .	353
4.2.2.1	Kupolofen in der Gießereiindustrie . . . . .	353
4.2.2.2	Kupfergewinnung . . . . .	354
4.2.2.3	Aluminiumgewinnung . . . . .	356
4.2.2.4	Etagenofen . . . . .	358
4.2.3	Typische Industrieöfen in der Steine-Erden-Industrie	360
4.2.3.1	Tunnelofen . . . . .	360
4.2.3.2	Kalkschachtofen . . . . .	362
4.2.3.3	Zementprozeß . . . . .	363
4.3	Energetische Betrachtung von Industrieöfen . . . . .	364
4.3.1	Aufstellen von Energiebilanzen für kontinuierlich betriebene Öfen . . . . .	364
4.3.2	Einföhrung von Wirkungsgraden . . . . .	366
4.3.2.1	Anwendung der Wirkungsgrade auf die gesamte Anlage . . . . .	371
4.3.2.2	Anwendung der Wirkungsgrade auf den Ofen allein	372
4.3.2.3	Verknüpfungen zwischen den Wirkungsgraden der verschiedenen Prozeßstufen . . . . .	372

4.3.3	Brennstoffersparnis durch Wärmerückgewinnung	374
4.3.3.1	Zusammenhang zwischen den Wirkungsgraden der Wärmerückgewinnungsanlage . . . . .	375
4.3.4	Austauschbarkeit von Brennstoffen . . . . .	379
4.3.4.1	Berechnung von $\dot{m}_{BII}$ . . . . .	381
4.3.4.2	Berechnung von $\vartheta_{L2II}$ . . . . .	382
4.3.4.3	Erzeugung von $\vartheta_{L2II}$ . . . . .	382
4.3.5	Brennstoff- und Kosteneinsparung durch Sauerstoff- anreicherung der Verbrennungsluft in Industrieöfen	383
4.3.5.1	Massenströme und relative Brennstoffeinsparung	384
4.3.5.2	Kosteneinsparung durch O <sub>2</sub> -Anreicherung . . . . .	386
4.3.6	Einfluß von Falschluf, Ausflammverlusten und Unverbranntem im Abgas . . . . .	387
4.3.7	Optimierung von Industrieöfen mittels Teilbilanzen . . . . .	391
4.3.7.1	Energiebilanz der gesamten Ofenanlage . . . . .	392
4.3.7.2	Bilanzen und Wirkungsgrade der Teilprozesse . . . . .	393
4.3.7.3	Verknüpfungen zwischen den Wirkungsgraden der verschiedenen Prozeßstufen . . . . .	396
4.3.8	Brennstoffeinsparung bei Industrieöfen mit anschließender Gutkühlung . . . . .	399
4.3.8.1	Energiebilanzen der Ofenanlage . . . . .	401
4.3.8.2	Mögliche Betriebsweisen bei Öfen mit anschließender Gutkühlung . . . . .	403
4.3.8.3	Spezifischer Energieverbrauch . . . . .	404
4.3.8.4	Graphische Darstellung des spezifischen Energieverbrauchs . . . . .	406
4.3.8.5	Verhalten der Kühlzone . . . . .	407
4.3.8.6	Ermittlung der Abgasmenge . . . . .	408
4.4	Beispiele für die Minderung der spezifischen Energieverbräuche und Schadstoffemissionen . . . . .	410
4.4.1	Sintern und Pelletieren von Feinerz . . . . .	410
4.4.2	Kokserzeugung . . . . .	412
4.4.3	Roheisenerzeugung im Hochofen . . . . .	414
4.4.4	Roheisenerzeugung durch Schmelzreduktion . . . . .	418
4.4.5	Konvertergasgewinnung bei der Stahlerzeugung . . . . .	420
4.4.6	Schrotteinschmelzen im Elektroofen . . . . .	422
4.4.7	Wärmöfen in Walzwerken . . . . .	425
4.4.8	Glühöfen in Kaltwalzwerken . . . . .	428
4.4.9	Endabmessungsnahes Gießen . . . . .	429
4.4.10	Energieverbrauch der Stahlindustrie, CO <sub>2</sub> -Emissionen . . . . .	430
4.4.11	Emissionen luftfremder Stoffe . . . . .	432
4.4.12	Regenerative Energieträger – Energie für die Industrie? . . . . .	437
4.4.13	Recycling in der Stahlindustrie als Beispiel für einen prozeßintegrierten Umweltschutz . . . . .	437

	Symbolverzeichnis . . . . .	439
	Literatur . . . . .	441
5	Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie: M. Zlokarnik . . . . .	444
5.1	Einleitung . . . . .	444
5.2	Anmerkungen zur Problematik chemischer Reaktionsführung . . . . .	448
5.3	Reaktionstechnische Verfahrensüberarbeitung . . . . .	451
5.3.1	Alternative Synthesewege . . . . .	452
5.3.1.1	Schwefelsäure . . . . .	452
5.3.1.2	Soda . . . . .	453
5.3.1.3	Acetylen . . . . .	454
5.3.1.4	Ethylenoxid . . . . .	455
5.3.1.5	Propylenoxid . . . . .	456
5.3.1.6	Gewinnung chemischer Produkte auf biotechnischem Wege . . . . .	457
5.3.2	Alternative Rohstoffe . . . . .	459
5.3.2.1	Acetylen oder Ethylen? . . . . .	460
5.3.2.2	Die Chlorchemie und ihre Problematik . . . . .	461
5.3.2.3	Synthese chlorierter Kohlenwasserstoffe . . . . .	464
5.3.2.4	Synthese chlorfreier Produkte über chlorierte Zwischenprodukte . . . . .	467
5.3.2.5	Wiederverwendung von HCl . . . . .	468
5.3.2.6	Chlorfreie Synthesen chlorfreier Produkte . . . . .	469
5.3.2.7	Nachwachsende Rohstoffe . . . . .	470
5.3.3	Alternative Reaktionsmedien . . . . .	471
5.3.3.1	Organisches Reaktionsmedium statt Wasser . . . . .	472
5.3.3.2	Anorganische Salzsäure als alternatives Reaktionsmedium . . . . .	474
5.3.3.3	Überkritische Fluide (scf) als alternatives Reaktionsmedium . . . . .	477
5.3.3.4	Reaktionsführung im heterogenen System Gas/ Flüssigkeit oder in homogener (kondensierter oder gasförmiger) Phase? . . . . .	481
5.3.3.5	Reaktionsführung im heterogenen System flüssig/ flüssig oder in (quasi)homogener flüssiger Phase: Mikroemulsionen . . . . .	481
5.3.4	Bereitstellung besserer Katalysatoren . . . . .	483
5.3.5	Ermittlung der Thermodynamik und Kinetik der Umsetzung . . . . .	485
5.3.6	Ermittlung des optimalen Reaktortyps und seiner Betriebsbedingungen (optimale Konzentrations- und Temperaturführung) . . . . .	487
5.3.6.1	Eastman-Kodak-Reaktivdestillationsverfahren zur Gewinnung von Methylacetat . . . . .	490
5.3.6.2	BAYER-Schwefelsäure-Doppelkontaktverfahren . . . . .	492



5.4	Verfahrenstechnische Prozeßüberarbeitung . . . . .	495
5.4.1	Gewinnung von Milchsäure aus Molke mittels Elektrodialyse . . . . .	496
5.4.2	Abtrennung der Citronensäure aus der Fermentationsbrühe mittels Reaktiv-Extraktion . . . . .	497
5.4.3	Verdrängungs-Extraktion bei der Diamino- Diphenylmethan-Synthese . . . . .	498
5.4.4	Trennung von K- und Mg-Mineralien im elektrischen Hochspannungsfeld . . . . .	499
5.5	Prozeßintegrierte Entsorgung („Prozeßintegrierter Umweltschutz“) . . . . .	500
5.5.1	Wiedergewinnung von Wertstoffen . . . . .	500
5.5.1.1	Wiedergewinnung von Salzsäure bei Chlorierung von Kohlenwasserstoffen . . . . .	501
5.5.1.2	Wiedergewinnung von Schwefelsäure . . . . .	501
5.5.1.3	Wiedergewinnung von Ammoniak aus Prozeßwasser . . . . .	502
5.5.1.4	Wiedergewinnung von Essigsäure durch die Kombination Extraktion/Rektifikation . . . . .	503
5.5.1.5	Wiedergewinnung von Edukten bei der Nitrierung von Kohlenwasserstoffen . . . . .	505
5.5.1.6	Wiedergewinnung von Borsäure durch Na <sub>2</sub> Oxidation . . . . .	505
5.5.1.7	Rückgewinnung von Acrylnitril und Ammoniumsulfat bei der Acrylnitril-Herstellung . . . . .	506
5.5.1.8	Rückgewinnung von Acrylnitril bei der Polyacrylnitril-Polymerisation . . . . .	507
5.5.1.9	Rückgewinnung von Wertstoffen aus chemischer Produktion durch Flotation . . . . .	507
5.5.1.10	Rückgewinnung von Aminosäuren durch Schaumfraktionierung . . . . .	507
5.5.1.11	Pervaporation zur Wiedergewinnung und Entwässerung von Lösungsmitteln . . . . .	508
5.5.2	Selektive Entsorgung von umweltbelastenden Reststoffen . . . . .	508
5.5.2.1	Rückgewinnung von <i>N,N</i> -Dimethylisopropylamin aus dem Abgas einer Aluminiumgießerei . . . . .	510
5.5.2.2	Neutralwaschung des festen Reaktionsproduktes in geschlossenem Kreislauf . . . . .	510
5.5.2.3	Niederdruck-Na <sub>2</sub> Oxidation . . . . .	511
	Literatur . . . . .	513
6	Produktionsintegrierter Umweltschutz in der Textilveredlungsindustrie: H. Schönberger . . . . .	516
6.1	Historischer Abriß . . . . .	516
6.2	Denken in quantitativen Massenströmen . . . . .	519
6.3	Prozeß- bzw. verfahrensbezogener Ansatz . . . . .	523
6.4	Betriebliche Eigeninitiative zur Erfassung der Emissions-Massenströme . . . . .	525

6.4.1	Beispiel – Betrieb zur Veredlung von Baumwoll- Maschenware . . . . .	527
6.4.1.1	Grobanalyse . . . . .	527
6.4.1.2	Feinanalyse . . . . .	531
6.5	„Rentables“ Personal für Umweltschutzaufgaben . . .	543
6.6	Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Reduzierung der Abwasserbelastung . . . . .	544
6.6.1	Textile Vorbehandlung . . . . .	544
6.6.1.1	Einsatz bioeliminierbarer Schlichtemittel . . . . .	544
6.6.1.2	Rückgewinnung von Schlichtemitteln . . . . .	548
6.6.1.3	Substitution der Natriumhypochloritbleiche . . . . .	549
6.6.1.4	Verminderung der AOX/Trichlormethan-Bildung bei Natriumhypochloritbleichen . . . . .	550
6.6.1.5	Recycling von Spülflotten aus diskontinuierlichen Bleichprozessen ohne Behandlung . . . . .	552
6.6.2	Färberei . . . . .	554
6.6.2.1	Farbstoffauswahl . . . . .	554
6.6.2.2	Reduzierung der Systemverluste bei der Reaktiv-KKV-Färbung . . . . .	562
6.6.2.3	Färben auf stehendem Bad . . . . .	566
6.6.3	Druckerei . . . . .	570
6.6.3.1	Reduzierung der Systeminhalte . . . . .	571
6.6.3.2	Rückgewinnung der Druckpaste aus dem Zuführungssystem . . . . .	574
6.6.4	Ausrüstung . . . . .	575
6.6.4.1	Reduzierung der Systeminhalte . . . . .	575
6.6.4.2	Wiederverwendung von Ausrüstungsflotten . . . . .	577
6.7	Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Reduzierung der Abgasbelastung . . . . .	578
	Literatur . . . . .	579
7	Produkt- und produktionsintegrierter Umwelt- schutz bei Lacken und Farben: F.A. Müller . . . . .	582
7.1	Einleitung . . . . .	582
7.2	Produktion und Applikation von Lacken und Farben . . . . .	583
7.2.1	Produktion . . . . .	583
7.2.2	Applikation . . . . .	585
7.2.2.1	Gewerbliche Anwender und Hobbyhandwerker . . .	586
7.2.2.2	Druckindustrie . . . . .	586
7.2.2.3	Autoerstlackierung . . . . .	586
7.2.2.4	Autoreparaturlacke . . . . .	586
7.2.2.5	„Container Coater“ . . . . .	586
7.2.2.6	Industrielle Lack- und Farbenverarbeiter . . . . .	587
7.2.2.7	Elektroisolierlacke, Tränk- und Gießharze . . . . .	587
7.2.2.8	Pulverlackverarbeiter . . . . .	587
7.3	Statistik . . . . .	587

7.4	Gesetzgebung . . . . .	591
7.4.1	Bundes-Immissionsschutzgesetz . . . . .	592
7.4.2	Wasserhaushaltsgesetz . . . . .	593
7.4.3	Verordnung über die Vermeidung von Verpackungsabfällen . . . . .	594
7.4.4	Chemikaliengesetze . . . . .	594
7.5	Einführung der Emissionskennzahl E . . . . .	595
7.6	Produkt- und produktionsintegrierter Umweltschutz	599
7.6.1	Diskussion der Emissionskennzahl . . . . .	600
7.6.2	Maßnahmen am Produkt . . . . .	601
7.6.2.1	Verträglichkeit der Rohstoffe . . . . .	601
7.6.2.2	Emission durch Rohstoffe . . . . .	601
7.6.3	Maßnahmen bei Produktion und Applikation . . . . .	605
7.6.3.1	Primärmaßnahmen der Produktion und Applikation	605
7.6.3.2	Sekundärmaßnahmen der Produktion und Applikation . . . . .	609
7.7	Ausblick . . . . .	613
	Literatur . . . . .	614
<b>8</b>	<b>Produktionsintegrierter Umweltschutz in der Zuckerindustrie: H.-J. Jördening . . . . .</b>	<b>616</b>
8.1	Allgemeines . . . . .	616
8.1.1	Prozeß der Zuckerfabrikation . . . . .	616
8.2	Der Rohstoff . . . . .	618
8.3	Verfahrenstechnische Schritte zur Einsparung von Energie . . . . .	620
8.3.1	Energiewirtschaft . . . . .	620
8.3.2	Möglichkeiten der Energieeinsparung . . . . .	621
8.3.2.1	Behandlung extrahierter Schnitzel . . . . .	621
8.3.2.2	Thermische Entwässerung von abgepreßten Rübenschnitzeln . . . . .	622
8.3.2.3	Niedertemperaturtrocknung . . . . .	622
8.3.2.4	Verdampfungstrocknung . . . . .	623
8.3.2.5	Verdampferanlage und Kristallisation . . . . .	624
8.4	Abwasserreinigung – Kreislaufwirtschaft des Abwassers . . . . .	624
8.4.1	Gesetzliche Regelungen zur Abwasserreinigung . . . . .	626
8.4.2	Biologische Abwasserreinigung . . . . .	627
8.4.2.1	Hydrolyse . . . . .	627
8.4.2.2	Anaerobie . . . . .	628
8.4.2.3	Stickstoffeliminierung . . . . .	630
8.4.2.4	Seltener verwendete Verfahren . . . . .	631
8.5	Abgasreinigung . . . . .	632
8.5.1	Gesetzliche Regelungen – TA-Luft . . . . .	632
8.5.2	Technische Maßnahmen zur Reduzierung gasseitiger Emissionen . . . . .	633
	Literatur . . . . .	634

9	Produktionsintegrierter Umweltschutz in einem biotechnologischen Betrieb: J. Degett und O. Terney . . . . .	636
9.1	Biotechnologische Produkte und die Umwelt . . . . .	636
9.2	Enzymtechnologie . . . . .	637
9.3	Zunehmend internationales Interesse an sauberen Technologien . . . . .	638
9.4	Saubere Technologien für Waschmittel . . . . .	639
9.4.1	Überblick . . . . .	639
9.4.2	Lipasen . . . . .	640
9.4.3	Amylasen . . . . .	641
9.4.4	Proteasen . . . . .	641
9.4.5	Sicherheit . . . . .	641
9.5	Saubere Technologien in der Industrie . . . . .	642
9.5.1	Papier- und Zellstoffindustrie . . . . .	642
9.5.2	Harzprobleme . . . . .	644
9.5.3	Lederindustrie . . . . .	644
9.5.4	Textilindustrie . . . . .	645
9.6	Biotechnologie in der Landwirtschaft . . . . .	647
9.7	Industrielle Symbiose . . . . .	648
9.8	Biotechnologie in der Dritten Welt . . . . .	649
9.9	Biotechnologie wird preiswerter und zugänglicher. . . . .	652
	Literatur . . . . .	653
10	Integrierter Umweltschutz bei der Agrarproduktion: W. Batel . . . . .	654
10.1	Allgemeines zum Umweltschutz . . . . .	654
10.1.1	Definitionen . . . . .	654
10.1.2	Umwelt des Menschen . . . . .	655
10.1.3	Die Agrarproduktion . . . . .	656
10.1.4	Umweltkompartimente . . . . .	657
10.1.4.1	Die Erdatmosphäre . . . . .	658
10.1.4.2	Kompartiment Wasser . . . . .	660
10.1.4.3	Kompartiment Boden . . . . .	664
10.1.4.4	Kompartiment Biota . . . . .	666
10.1.5	Umsetzen von Umweltschutz . . . . .	666
10.2	Einträge der Agrarproduktion in die Kompartimente, eine Bewertung und Möglichkeiten der Minderung . . . . .	667
10.2.1	Pflanzenschutzmittel . . . . .	668
10.2.1.1	Toxikologische Untersuchungen . . . . .	669
10.2.1.2	Entwicklung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln . . . . .	673
10.2.2	Düngemiteleinträge . . . . .	674
10.2.2.1	Umweltgefahren durch Düngung . . . . .	674
10.2.2.2	Umweltverträgliche Düngemiteleinträge . . . . .	676
10.2.2.3	Klärschlämme als Düngemittel . . . . .	677

10.2.3	Geruchsstoffemissionen . . . . .	678
10.2.4	Staubemissionen . . . . .	679
10.2.5	Globale CO <sub>2</sub> -Einträge in die Umwelt . . . . .	679
10.2.5.1	Maßnahmen gegen einen CO <sub>2</sub> -Anstieg in der Erdatmosphäre durch Ausweitung der Photosynthese und Optimierung der Waldrodung . .	681
10.2.5.2	Verminderung der anthropogenen Einträge . . . . .	681
10.3	Die Agrarproduktion, ein Bereich der natürlichen Umwelt . . . . .	685
	Literatur . . . . .	687
11	Produktions- und produktintegrierter Umwelt- schutz in der Fertigungsindustrie:	
	R. Steinhilper und A. Schneider . . . . .	689
11.1	Produktintegrierter Umweltschutz . . . . .	689
11.1.1	Die Produktverantwortung des Herstellers und Konstruktors über Produktion, Produktgebrauch und Entsorgung . . . . .	690
11.1.2	Recyclingkreisläufe zur Verwirklichung des produktintegrierten Umweltschutzes . . . . .	694
11.1.2.1	Recyclingkreislauftypen . . . . .	694
11.1.2.2	Recyclingverfahren und Behandlungsprozesse . . . . .	697
11.1.2.3	Recyclingformen; Verwendungs- und Verwertungszyklen . . . . .	701
11.1.2.4	Verflechtung von Instandhaltung und Produktrecycling . . . . .	703
11.2	Produktintegrierter Umweltschutz in der Fertigungsindustrie . . . . .	705
11.2.1	Prioritätenregel . . . . .	706
11.2.2	Produktionsabfallvermeidung . . . . .	707
11.2.3	Produktionsabfallverminderung . . . . .	710
11.2.4	Produktionsabfallrecycling . . . . .	712
11.3	Umweltgerechte Verpackungssysteme . . . . .	714
11.3.1	Anforderungen an Verpackungssysteme . . . . .	715
11.3.2	Auswahl eines Verpackungssystems . . . . .	716
11.3.2.1	Regeln und Kriterien . . . . .	718
11.3.2.2	Beispiele zur Anwendung der Regeln . . . . .	722
11.3.3	Mehrwegverpackungssysteme . . . . .	723
11.3.3.1	Anwendungsfelder . . . . .	723
11.3.3.2	Beispiele . . . . .	726
11.4	Produktintegrierter Umweltschutz und Produktrecycling mit Ausrichtung auf den Hauptwerkstoff Eisen bzw. Stahl . . . . .	727
11.4.1	Maschinenbau . . . . .	728
11.4.1.1	Potentiale und Anwendungsfelder . . . . .	728
11.4.1.2	Upcycling, Verwendungs- und Verwertungszyklen . . . . .	729

11.4.1.3	Beispiele . . . . .	731
11.4.1.4	Konstruktionsregeln zum produktintegrierten Umweltschutz im Maschinenbau . . . . .	733
11.4.2	Fahrzeugbau . . . . .	738
11.4.2.1	Potentiale und Anwendungsfelder . . . . .	739
11.4.2.2	Verwendungs- und Verwertungszyklen . . . . .	741
11.4.2.3	Beispiele . . . . .	747
11.4.2.4	Konstruktionsregeln zum produktintegrierten Umweltschutz im Fahrzeugbau . . . . .	748
11.4.3	Elektrotechnik . . . . .	751
11.4.3.1	Potentiale und Anwendungsfelder . . . . .	752
11.4.3.2	Verwendungs- und Verwertungszyklen . . . . .	754
11.4.3.3	Beispiele . . . . .	756
11.4.3.4	Konstruktionsregeln zum produktintegrierten Umweltschutz in der Elektrotechnik . . . . .	757
11.5	Produktintegrierter Umweltschutz und Produktrecycling in der Elektronikindustrie . . . . .	758
11.5.1	Potentiale und Anwendungsfelder . . . . .	759
11.5.2	Recycling und Werkstofffraktionen aus Elektronikprodukten . . . . .	761
11.5.2.1	Gehäuse . . . . .	764
11.5.2.2	Leiterplatten . . . . .	765
11.5.2.3	Kabel . . . . .	766
11.5.2.4	Mikromechanik („Mechatronics“) . . . . .	767
11.5.2.5	Bildschirme . . . . .	768
11.5.2.6	Kondensatoren und Transformatoren . . . . .	769
11.5.3	Recyclingverfahren . . . . .	770
11.5.3.1	Metallrecycling . . . . .	770
11.5.3.2	Kunststoffrecycling . . . . .	771
11.5.3.3	Leiterplattenrecycling . . . . .	772
11.5.3.4	Kabelrecycling . . . . .	773
11.5.3.5	Mikromechanikrecycling . . . . .	774
11.5.3.6	Bildschirmrecycling . . . . .	774
11.5.3.7	Kondensatoren- und Transformatorenrecycling und -entsorgung . . . . .	775
11.5.4	Konstruktionsregeln zum produktintegrierten Umweltschutz in der Elektronik . . . . .	776
	Symbole und Abkürzungen . . . . .	779
	Literatur . . . . .	779
12	Produktionsintegrierter Umweltschutz in der Automobilindustrie: J. Haepf und W. Pollmann . . . . .	782
12.1	Einleitung . . . . .	782
12.2	Einflußfaktoren auf die industrielle Produktion . . . . .	783
12.3	Beispiele zum produktionsintegrierten Umweltschutz in der Automobilindustrie . . . . .	785
12.3.1	Reinigung von verölten Bauteilen . . . . .	785

12.3.2	Einsatz und Vermeidung von Kühlschmierstoffen . . . . .	788
12.3.3	Wassereinsparung und Wertstoffrückgewinnung bei galvanischen Anlagen . . . . .	789
12.3.4	Vermeidung und Verwertung von Reststoffen bei der Fahrzeuglackierung . . . . .	790
12.3.5	Recycling von Produktionsabfällen . . . . .	799
12.4	Ausblick . . . . .	802
	Literatur . . . . .	802
13	Produktionsintegrierter Umweltschutz in der Kunststoffindustrie: P. Eyerer et al. . . . .	804
13.1	Einführung . . . . .	804
13.2	Einfluß der Konstruktion auf den produktionsintegrierten Umweltschutz . . . . .	808
13.2.1	Umweltschonendes Konstruieren . . . . .	808
13.2.2	Konstruktionsrichtlinien mit Blick auf PIUS . . . . .	809
13.2.3	Anwendungsbeispiele für PIUS in der kunststoffverarbeitenden Industrie . . . . .	810
13.2.3.1	Coextrusion von Verbundfolien . . . . .	810
13.2.3.2	Produktionsrecycling von Anguß- und Ausschuß- Reststoffen . . . . .	810
13.2.3.3	Integration von Oberflächentechniken in die Verarbeitungsmaschine . . . . .	811
13.2.3.4	Integration von Funktionen in Bauteil- Konstruktionen . . . . .	811
13.3	Produktionsintegrierter Umweltschutz bei der Verarbeitung von Kunststoffen . . . . .	812
13.3.1	Verarbeitung von Thermoplasten . . . . .	812
13.3.1.1	Gasinjektionstechnik als Variante zum Kompaktspritzgießen . . . . .	813
13.3.1.2	Hinterspritztechnik - Kaschieren . . . . .	818
13.3.1.3	Mehrkomponentenspritzgießen: 2-Farben-Spritzgießen . . . . .	821
13.3.2	Verarbeitung von Duroplasten . . . . .	825
13.3.2.1	Grundlagen der Polyurethanverarbeitung . . . . .	826
13.3.2.2	Rohstoffe und Additive . . . . .	828
13.3.2.3	Treibmittel . . . . .	829
13.3.2.4	Anlagentechnik . . . . .	831
13.3.2.5	Nutzungsphase von Polyurethanen . . . . .	833
13.3.2.6	Recycling im Sinne einer Kreislaufwirtschaft . . . . .	834
13.3.3	Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen (FVW) . . . . .	835
13.3.3.1	Verstärkungsmaterialien . . . . .	838
13.3.3.2	Thermoplastische Matrix . . . . .	840
13.3.3.3	Duroplastische Matrix . . . . .	844
13.3.4	Verarbeitung von Elastomeren . . . . .	846
13.3.4.1	Die Herstellung von Gummi-Formteilen . . . . .	846

13.3.4.2	Das TM-Verfahren . . . . .	847
13.3.4.3	Das TM-Kaltkanal-Verfahren . . . . .	848
13.3.4.4	Ein gelungenes Beispiel für produktionsintegrierten Umweltschutz in der Elastomer-Verarbeitung . . . . .	850
13.3.5	Fügen und Lösen von Kunststoffteilen . . . . .	850
13.3.5.1	Allgemeiner Überblick . . . . .	851
13.3.5.2	Nicht lösbare Verbindungen . . . . .	851
13.3.5.3	Lösbare bzw. bedingt lösbare Verbindungen . . . . .	853
13.4	Produktionsintegrierter Umweltschutz durch die Werkzeugtechnik . . . . .	853
13.5	Produktionsintegrierter Umweltschutz bei Oberflächentechniken . . . . .	857
13.6	Produktionsintegrierter Umweltschutz bei Stoffströmen, Demontage, Recyclingtechniken, Verbrennung, Deponie . . . . .	864
13.6.1	Stoffströme und Stoffrecycling . . . . .	864
13.6.2	Demontage und Stoffrecycling . . . . .	867
13.6.3	Verbrennen . . . . .	869
13.6.4	Entgasung/Vergasung . . . . .	876
13.6.5	Deponie . . . . .	879
13.7	Qualitätssicherung (QS) in der Kunststoff- verarbeitung unter Berücksichtigung des produktionsintegrierten Umweltschutzes . . . . .	881
13.7.1	Einführung . . . . .	881
13.7.2	Begriffe . . . . .	882
13.7.3	Qualitätssicherung im Wandel . . . . .	882
	Literatur . . . . .	885
<b>14</b>	<b>Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz in der elektrotechnischen Industrie:</b>	
	A. Grabsch, H.-R. Deppe, P. Kaller, G. Roos . . . . .	889
14.1	Einleitung . . . . .	889
14.2	Umweltschutz durch Mikroelektronik . . . . .	890
14.3	Organisation des Umweltschutzes in der Siemens AG . . . . .	890
14.3.1	Verantwortung und Zuständigkeiten . . . . .	890
14.3.2	Stellung der Umweltschutzbeauftragten . . . . .	892
14.3.3	Mitarbeiterschulung . . . . .	893
14.4	Herstellung integrierter Schaltungen . . . . .	894
14.5	Materialien, ihre Beschaffung und Lagerung . . . . .	897
14.5.1	Eingesetzte Stoffe . . . . .	898
14.5.2	Freigabe und Beschaffung . . . . .	901
14.5.3	Lagerung . . . . .	901
14.6	Arbeitssicherheit . . . . .	903
14.6.1	Gefahrstoffe in der Fertigung . . . . .	903
14.6.2	Neue Wege in der Arbeitsmedizin . . . . .	904
14.6.2.1	Fehlgeburtenrate . . . . .	905



14.6.2.2	Plasmaätzen . . . . .	907
14.6.3	Unfallverhütung und-statistik . . . . .	911
14.7	Umweltschutz . . . . .	912
14.7.1	Kühlwasser . . . . .	912
14.7.2	Abwasserbehandlung . . . . .	914
14.7.3	Schonung der Ressourcen . . . . .	914
14.7.4	Abluftreinigung . . . . .	916
14.7.5	Abfälle, Verwertung und Entsorgung . . . . .	917
14.8	Verpackung und Entsorgung von Halbleiterbauelementen . . . . .	919
14.8.1	Inhaltsstoffe in Produkten . . . . .	919
14.8.2	Verpackung . . . . .	920
14.8.3	Verwertung und Entsorgung . . . . .	921
14.9	Kosten für den Umweltschutz . . . . .	921
	Symbole und Abkürzungen . . . . .	922
	Literatur . . . . .	923
15	Umweltgerechte Verpackungssysteme: R. Jansen und P. Külpmann . . . . .	924
15.1	Einleitung . . . . .	924
15.2	Wirtschaftliche Bedeutung der Verpackung . . . . .	926
15.3	Die Verpackungsverordnung als rechtlicher Rahmen für umweltgerechte Verpackungssysteme . . . . .	929
15.3.1	Auswirkungen der Verpackungsverordnung bei Verkaufsverpackungen . . . . .	932
15.3.2	Auswirkungen der Verpackungsverordnung bei Transportverpackungen . . . . .	935
15.4	Umweltgerechte Verpackungssysteme als integraler Bestandteil logistischer Systeme . . . . .	937
15.4.1	Darstellung logistischer Systeme . . . . .	937
15.4.2	Funktionen der Verpackung . . . . .	938
15.4.2.1	Schutzfunktion . . . . .	939
15.4.2.2	Transportfunktion . . . . .	941
15.4.2.3	Lagerfunktion . . . . .	941
15.4.2.4	Handhabungsfunktion . . . . .	942
15.4.2.5	Informations- bzw. Identifikationsfunktion . . . . .	942
15.4.2.6	Produktionsfunktion . . . . .	942
15.4.2.7	Marketingfunktion . . . . .	943
15.5	Verpackungsplanung . . . . .	943
15.5.1	Festlegung umweltorientierter Ziele und Strategien für den Verpackungsbereich . . . . .	944
15.5.2	Konzeption umweltorientierter Verpackungssysteme	946
15.5.2.1	Ablauf der Verpackungsplanung . . . . .	946
15.5.2.2	Ermittlung der Anforderungen an die Verpackung	951
15.5.2.3	Gestaltung von Verpackungslösungen . . . . .	953
15.6	Ansätze zur Vermeidung und Verminderung von Verpackungsabfällen . . . . .	956

15.6.1	Darstellung von Kreisläufen . . . . .	956
15.6.2	Primäre Ansätze zur Vermeidung und Verminderung von Abfällen . . . . .	958
15.6.2.1	Packmitteleinsparung . . . . .	961
15.6.2.2	Packstoffsubstitution . . . . .	961
15.6.2.3	Packstoffreduzierung . . . . .	965
15.6.3	Sekundäre Ansätze zur Vermeidung und Verminderung von Verpackungsabfällen . . . . .	977
15.6.3.1	Mehrwegsysteme . . . . .	977
15.6.3.2	Verwertung von Verpackungsabfällen . . . . .	986
15.7	Beurteilung von Umweltauswirkungen von Verpackungssystemen . . . . .	988
15.7.1	Ökobilanzen als Instrument einer umwelt- orientierten Verpackungsplanung . . . . .	988
15.7.2	Durchführung der ökologischen Bilanzierung . . . . .	991
15.7.3	Bewertung der Umweltauswirkungen . . . . .	994
	Literatur . . . . .	997
16	Aufbereitung und Verwendung von Baureststoffen und Müllverbrennungsaschen: K. Gellenbeck, D. Regener, B. Gallenkemper . . . . .	1000
16.1	Einführung in die Thematik . . . . .	1000
16.1.1	Problemaufriß . . . . .	1000
16.1.2	Definition der Begriffe . . . . .	1001
16.1.3	Rechtsgrundlage . . . . .	1002
16.1.3.1	Grundsätzliches . . . . .	1003
16.1.3.2	Weitere Regelungen . . . . .	1004
16.2	Baureststoffmengen und -zusammensetzungen . . . . .	1004
16.2.1	Bauschutt, Straßenaufbruch, Bodenaushub . . . . .	1006
16.2.2	Baustellenabfälle . . . . .	1006
16.3	Aufbereitung und Verwendung von Baureststoffen . . . . .	1009
16.3.1	Bodenbörsen und Maßnahmen zur Vermeidung von Baureststoffen . . . . .	1009
16.3.2	Aufbereitungstechniken für Baureststoffe . . . . .	1011
16.3.2.1	Bauschutt und Straßenaufbruch . . . . .	1011
16.3.2.2	Bodenaushub . . . . .	1013
16.3.2.3	Baustellenabfälle . . . . .	1014
16.3.3	Einsatzbereiche und Verwertung von aufbereiteten Baureststoffen . . . . .	1017
16.4	Wirtschaftlichkeit und Kosten des Baurestoffrecyclings . . . . .	1019
16.5	Ausblick auf die zukünftige Baurestoffentsorgung . . . . .	1020
16.5.1	Einrichtung und Betrieb einer Boden- und Bauschuttbörse . . . . .	1021
16.5.2	Entwicklung von recyclingfördernden Organisationsmodellen . . . . .	1021
16.5.3	Kreislaufwirtschaftsträger Bau . . . . .	1022

16.6	Aufbereitung und Verwendung von Müllverbrennungsaschen . . . . .	1023
16.6.1	Mengen und Eigenschaften von Müllverbrennungsaschen . . . . .	1023
16.6.2	Aufbereitungstechniken für Müllverbrennungsaschen . . . . .	1024
16.6.3	Einsatzbereiche und Verwendung von Müllverbrennungsaschen . . . . .	1027
16.6.4	Ausblick auf die zukünftige Müllverbrennungs- ascheverwertung . . . . .	1028
16.7	Umweltverträglichkeit und Gütesicherung der Produkte . . . . .	1029
16.8	Resümee . . . . .	1033
	Literatur . . . . .	1034
17	Verwertung von Steinkohlen- und Braun- kohlenaschen: G. Walter und B. Gallenkemper . . .	1037
17.1	Einleitung . . . . .	1037
17.2	Rechtliche Grundlagen . . . . .	1037
17.3	Situation in der BRD . . . . .	1039
17.3.1	Allgemeines . . . . .	1039
17.3.2	Aschemengen und Verwertungssituation . . . . .	1040
17.4	Verwertung von Steinkohlen- und Braunkohlenaschen . . . . .	1042
17.4.1	Beschaffenheit der Aschen . . . . .	1042
17.4.1.1	Allgemeines . . . . .	1042
17.4.1.2	Mineralogischer Aufbau . . . . .	1043
17.4.1.3	Chemische Zusammensetzung . . . . .	1045
17.4.1.4	Physikalische Eigenschaften . . . . .	1047
17.4.2	Einsatzmöglichkeiten für Steinkohlen- und Braunkohlenaschen . . . . .	1048
17.4.2.1	Allgemeines . . . . .	1048
17.4.2.2	Einsatz in Beton und Betonerzeugnissen . . . . .	1049
17.4.2.3	Einsatz in Steinen . . . . .	1050
17.4.2.4	Einsatz in der Zementindustrie . . . . .	1051
17.4.2.5	Einsatz im Straßen-, Wege- und Landschaftsbau . . .	1051
17.4.2.6	Einsatz im Bergbau . . . . .	1053
17.4.2.7	Sonstige Einsatzbereiche . . . . .	1055
17.4.2.8	Zusammenfassende Erkenntnisse . . . . .	1055
	Literatur . . . . .	1057
18	Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Entwicklung: F. Moser . . . . .	1059
18.1	Problemstellung . . . . .	1060
18.1.1	Die Ursachen der heutigen Probleme . . . . .	1060
18.1.2	Die Szenarien einer möglichen globalen Entwicklung . . . . .	1062

18.1.2.1	Überschlägige Abschätzung der zukünftigen Umweltbelastung . . . . .	1062
18.1.2.2	Abschätzung der notwendigen Reduktion von Schadstoffen zur Erreichung von Nachhaltigkeit . .	1065
18.1.3	Szenarien möglicher technologischer Entwicklungen . . . . .	1068
18.2	Beschreibung des IST-Zustandes – die derzeitige Situation – Kreislaufwirtschaft im Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise . . . . .	1070
18.2.1	Die allgemeine Situation . . . . .	1070
18.2.2	Die fossile Kreislaufwirtschaft – der Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise? . . . . .	1072
18.2.2.1	Vorläufige Definition einer Kreislaufwirtschaft . . . . .	1072
18.2.2.2	Die „End-of-pipe“-Technologie . . . . .	1074
18.2.2.3	Die „Cleaner Production“ . . . . .	1075
18.2.2.4	Schlußfolgerungen . . . . .	1079
18.3	Beschreibung des SOLL-Zustandes; Die Zieldefinition – Die Grundlagen einer solaren Kreislaufwirtschaft und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise . . . . .	1080
18.3.1	Zieldefinition einer nachhaltigen Entwicklung bzw. Wirtschaft . . . . .	1080
18.3.2	Definition der Nachhaltigkeit und der solaren Kreislaufwirtschaft . . . . .	1084
18.3.3	Allgemeine Aspekte nachhaltigen Wirtschaftens . . . . .	1086
18.3.3.1	Globale, nationale und regionale Aspekte der Nachhaltigkeit . . . . .	1087
18.3.3.2	Nachhaltigkeit aus dem Aspekt der Bedarfsdeckung . . . . .	1088
18.3.3.3	Der Ressourcen-Aspekt der Nachhaltigkeit . . . . .	1090
18.3.4	Einige Grundzüge einer nachhaltigen Ökonomie . . . . .	1091
18.4	Konkrete Anforderungen an ein nachhaltiges Wirtschaftssystem . . . . .	1093
18.4.1	Die Bereitstellung von Rohstoffen und Nahrung – die nachhaltige Land- und Forstwirtschaft . . . . .	1095
18.4.1.1	Erste Überlegungen über ein nachhaltiges System der Landwirtschaft . . . . .	1097
18.4.1.2	Ansätze zur Erreichung einer nachhaltigen Landwirtschaft . . . . .	1100
18.4.1.3	Produktion von Energiepflanzen . . . . .	1103
18.4.1.4	Ausblick . . . . .	1105
18.4.2	Die Bereitstellung von Energie – die nachhaltige Energieerzeugung . . . . .	1107
18.4.2.1	Das nachhaltige Energieangebot . . . . .	1108
18.4.2.2	Der Energiebedarf der Güterproduktion in einer nachhaltigen Wirtschaft . . . . .	1117
18.4.2.3	Zusammenfassung der energiewirtschaftlichen Probleme einer nachhaltigen Wirtschaft . . . . .	1122

18.4.3	Die Bereitstellung von Gütern – die nachhaltige Industrie . . . . .	1123
18.4.3.1	Die langfristige Entwicklung der Industrie . . . . .	1124
18.4.3.2	Wirkungsebenen der Nachhaltigkeit auf die Industrie . . . . .	1124
18.4.3.3	Trends der Veränderungen beim Übergang zur Nachhaltigkeit im Industriebereich . . . . .	1127
18.4.4	Ziele und Funktionen der Abfallwirtschaft in einer nachhaltigen Wirtschaft . . . . .	1130
18.4.4.1	Generelle Zielsetzungen . . . . .	1130
18.4.4.2	Konsequenzen und praktische Handlungsanweisungen . . . . .	1131
18.4.4.3	Zusammenfassung der Anforderungen an eine nachhaltige Abfallwirtschaft . . . . .	1134
18.5	Wie messen wir, ob etwas dem Prinzip der Nachhaltigkeit entspricht? Beschreibung und Vergleich von Parametern zur Abschätzung von Nachhaltigkeit . . . . .	1135
18.5.1	Bewertungsmodelle für den Prozeßvergleich . . . . .	1135
18.5.1.1	Aggregation zu mehreren Maßzahlen . . . . .	1138
18.5.1.2	Aggregation zu einer Maßzahl . . . . .	1140
18.5.2	Kurzbeschreibung der bisher in der Literatur verwendeten Modelle . . . . .	1141
18.5.2.1	Expertenurteil . . . . .	1141
18.5.2.2	Nutzwertanalyse . . . . .	1141
18.5.2.3	Ökonomische Modelle . . . . .	1142
18.5.2.4	Grad an Nachhaltigkeit . . . . .	1142
18.5.2.5	Grenzwertmodell der kritischen Volumina . . . . .	1142
18.5.2.6	Stoffflußmodell (Knappheiten) . . . . .	1143
18.5.2.7	SPI (Sustainable Process Index) . . . . .	1143
18.5.2.8	MIPS (Material Intensity Per Unit Service) . . . . .	1143
18.5.2.9	Toxikologische Bewertung . . . . .	1144
18.5.2.10	Vermischungsmodell (Entropieansatz) . . . . .	1144
18.5.3	Vergleich der verschiedenen Bewertungszahlen . . . . .	1144
18.6	Wie erreichen wir die nachhaltige Wirtschaftsweise und die solare Kreislaufwirtschaft? – Die Umsetzungsproblematik . . . . .	1146
18.6.1	Die HYPER-Technologie, Teil einer „top-down“-Strategie . . . . .	1147
18.6.2	Inseln der Nachhaltigkeit (Islands of Sustainability, IOS), Teil einer „bottom-up“-Strategie . . . . .	1148
18.6.2.1	Wirkung von IOS auf das Gesamtsystem . . . . .	1148
18.6.2.2	Lokale Störungen . . . . .	1150
18.6.2.3	Folgerungen . . . . .	1150
18.6.3	Nachhaltigkeit und Beschäftigung . . . . .	1151
	Literatur . . . . .	1151
	Sachverzeichnis . . . . .	1155