

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	V
Der Herausgeber	XXVII
Autorenverzeichnis	XXIX

Teil I – Ressourcenmanagement..... 1

1 Energie- und Rohstoffpolitik.....	3
<i>Marion A. Weissenberger-Eibl, Harald Bradke, Rainer Walz, Marcus Schröter, Sebastian Ziegau</i>	
1.1 Einleitung	5
1.2 Angebot und Nachfrage nach Energie und Rohstoffen.....	5
1.2.1 Massenrohstoffe	5
1.2.2 Kritische Rohstoffe.....	7
1.2.3 Energie.....	8
1.3 Handlungsoptionen und Folgewirkungen	10
1.3.1 Ansatzpunkte zur Reduktion des Energie- und Ressourcenverbrauchs.....	10
1.3.1.1 Energie.....	10
1.3.1.2 Rohstoffe	10
1.3.2 Innovationsdynamik.....	11
1.3.3 Zukunftsszenarien	12
1.3.3.1 Energieszenarien	12
1.3.3.2 Rohstoffszenarien.....	13
1.3.4 Wirtschaftliche Auswirkungen und Wettbewerbsfähigkeit.....	14
1.4 Politische Instrumente und Maßnahmen	15
1.4.1 Energiepolitik	15
1.4.2 Rohstoffpolitik.....	17
1.5 Herausforderungen und Chancen für Unternehmen und Management.....	18
1.5.1 Strategieentwicklung.....	19
1.5.2 Ressourcenrestriktionen in Unternehmen	19
1.5.3 Potenziale und Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz in der Produktion	20

1.5.4	Neue Geschäftsmodelle und Organisation der Wertschöpfungsketten.....	22
1.5.5	Interne und externe Öffentlichkeitsarbeit	23
1.6	Fazit	23
2	Energieeffizienz durch Energiemanagement	27
	<i>Sylvia Wahren</i>	
2.1	Energiemanagement als Schlüssel zur Energieeffizienz.....	29
2.1.1	Hemmnisse von Energieeffizienz	29
2.1.2	Energiemanagement.....	31
2.2	Energiemanagement auf Basis der ISO 50001.....	32
2.2.1	Verantwortung des Managements	32
2.2.2	Energiepolitik	33
2.2.3	Energieplanung	33
2.2.4	Einführung und Umsetzung.....	35
2.2.5	Überprüfung	37
2.3	Fazit und Ausblick.....	39
3	Energiewertstrom – Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion.....	41
	<i>Klaus Erlach</i>	
3.1	Die Zielsetzung einer energetisch nachhaltigen Produktion.....	43
3.2	Vermeidung von Energieverschwendung in schlanken Produktionen	44
3.3	Die Energiewertstrom-Methode als Energie-Audit für die Produktion	47
3.4	Mit der Energiewertstrom-Analyse zur Transparenz des Energieverbrauchs	48
3.4.1	Kundentakt als Referenzwert im Energiewertstrom.....	49
3.4.2	Messung des Energieverbrauchs im Wertstrom	49
3.4.3	Bewertung des Energieverbrauchs im Wertstrom.....	52
3.5	Die acht Gestaltungsrichtlinien des Energiewertstrom-Designs zur Steigerung der Energieeffizienz	54
3.5.1	Richtige Dimensionierung durch Ausrichtung auf den optimalen Betriebspunkt	54
3.5.2	Reduktion des Energiebedarfs im Normalbetrieb durch effiziente Technologie.....	55
3.5.3	Minimierung des Energieverbrauchs im Wartemodus.....	56
3.5.4	Eliminierung des Energieverbrauchs im Stand-by-Betrieb.....	57
3.5.5	Vier Gestaltungsrichtlinien zur Steigerung der Energieeffizienz einzelner Produktionsprozesse	58
3.5.6	Mehrfachnutzung des Energieeinsatzes	58
3.5.7	Spitzenlastausgleich zwischen den Energieverbräuchen	59
3.5.8	Festlegung von energieoptimalen Produktionsreihenfolgen	60
3.5.9	Synchronisation von Energiebereitstellung und Energieverbrauch.....	60
3.5.10	Priorisierung der Maßnahmen	60
3.6	Resultate in Fallbeispielen.....	61
3.6.1	Herstellung eines Pkw-Stoßfängers	61
3.6.2	Produktion von Flaschenträgern für Waschmaschinen.....	62

3.7	Fazit	63
4	Material- und Abfallmanagement.....	65
4.1	Lagerwirtschaft (Halbzeuge, Neben- und Hilfsstoffe).....	67
	<i>Torsten Müller</i>	
4.1.1	Die Lagerwirtschaft als zentrales Element der Logistikkette	67
4.1.2	Lagerung.....	68
4.1.3	Lagerstrategie	69
4.1.3.1	Lageranalyse	70
4.1.3.2	Bestandsmanagement	71
4.1.4	Lagersystem	73
4.1.4.1	Bodenlagerung.....	73
4.1.4.2	Regallagerung.....	73
4.1.4.3	Fördertechnik.....	74
4.1.4.4	Lagerverwaltung	75
4.1.4.5	Kommissionieren	75
4.1.5	Lagerplanung und -optimierung.....	76
4.1.6	Rechtliche Anforderungen bei der Lagerung	77
4.1.7	Zusammenfassung.....	79
4.2	Abfall, Müll, Recycling	80
	<i>Asja Mrotzek</i>	
4.2.1	Einführung.....	80
4.2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	80
4.2.3	Innerbetriebliches Abfallmanagement.....	82
4.2.3.1	Umweltmanagement.....	82
4.2.3.2	Innerbetriebliches Abfallmanagement.....	83
4.2.4	Entsorgungsmaßnahmen.....	86
4.2.5	Nutzen für den Klimaschutz	87
4.2.6	Beispiele für ein innerbetriebliches Abfallmanagement.....	88
5	Umsetzung der Ressourceneffizienz im Unternehmen.....	91
	<i>Sebastian Schlund, Frieder Schnabel, Martin Rist</i>	
5.1	Motivation und Verankerung innerhalb der Unternehmenszielsetzung.....	93
5.1.1	Anforderungen des Gesetzgebers.....	95
5.1.2	Anforderungen des Marktes.....	96
5.1.3	Anforderungen der Öffentlichkeit.....	97
5.1.4	Zielsetzung im Unternehmen	97
5.2	Herangehensweise, Organisation, Projektmanagement.....	98
5.2.1	Normative Grundlagen.....	99
5.2.2	Verantwortlichkeiten im Unternehmen.....	100
5.2.3	Projektmanagement.....	100
5.3	Ansätze zur Erhöhung der Ressourceneffizienz.....	102
5.3.1	Informationsquellen für Unternehmen	102
5.3.2	Maßnahmen und Praxisbeispiele.....	104
5.3.2.1	Vermeidung von Ressourceneinsatz.....	104
5.3.2.2	Substitution von Ressourcen.....	105

5.3.2.3	Optimierung der Kreislauffähigkeit.....	106
5.3.2.4	Verlängerung der Lebensdauer	107
5.3.2.5	Optimierung von Produktionsprozessen.....	108
5.3.2.6	Strategische Maßnahmen	110
5.4	Kennzahlen zur Ermittlung des Ressourcenaufwands.....	112
5.4.1	Arten von Kennzahlen.....	112
5.4.2	Anforderungen an die Datenerhebung.....	114
5.4.3	Definition der Bilanzgrenzen	114
5.4.4	Erhebung des Ressourcenbedarfs	115
5.4.5	Bestehende Methoden und Standards	116
5.5	Nutzen und Wirtschaftlichkeit	118
5.5.1	Arten von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	119
5.5.2	Interne Zinsfuß-Methode	119
5.5.3	Nutzwertanalyse.....	120
5.6	Fazit	120
5.7	Weiterführende Informationen.....	121
6	Finanzierung als Aufgabe des Ressourcenmanagements.....	125
	<i>Uwe Götze, Steve Rother</i>	
6.1	Gegenstand und Formen der Finanzierung	127
6.1.1	Einführung	127
6.1.2	Innenfinanzierung	128
6.1.3	Beteiligungsfinanzierung.....	129
6.1.4	Kreditfinanzierung	130
6.1.5	Ressourcenbezogene Finanzierungspolitik	132
6.2	Ausgewählte energiebezogene Finanzierungskonzepte	133
6.2.1	Finanzierung mittels Einspeisevergütung.....	133
6.2.2	Finanzierung mittels Förderprogrammen	135
6.2.3	Contracting als Sonderform der Finanzierung	136
6.3	Weiterführende Informationen.....	139
7	Cradle to Cradle – Ressourceneffektive Produktion	141
	<i>Michael Braungart</i>	
7.1	Einführung.....	143
7.2	Hintergrund: Das Cradle to Cradle® Design-Konzept.....	143
7.2.1	Take – Make – Waste, von der Wiege zur Bahre.....	143
7.2.2	Das schlechte Gewissen	144
7.2.3	Von der Wiege zur Wiege – Cradle to Cradle®	145
7.2.4	Cradle to Cradle®-Prinzipien.....	146
7.2.4.1	Biologische Kreisläufe	147
7.2.4.2	Technische Kreisläufe	148
7.2.5	Öko-Effektivität.....	148

Teil II – Ressourcenbeschaffung 151

1	Beschaffung	153
	<i>Uwe Götze, Steve Rother</i>	
1.1	Ziele, Objekte und Funktionen der Beschaffung.....	155
1.2	Beschaffungsstrategien im Überblick.....	156
1.3	Operative Beschaffungsprozesse.....	159
1.4	Ausgewählte energiebezogene Fragestellungen der Beschaffung.....	162
1.4.1	Beschaffung von elektrischer Energie und Erdgas.....	162
1.4.2	Beschaffung von Verschmutzungs- bzw. Emissionsrechten	167
1.5	Weiterführende Informationen.....	168
2	Energiespeicherung	171
	<i>Christian Doetsch, Astrid Pohlig, Barbara Zeidler-Fandrich, Stefano Bruzzano, Wilhelm Althaus</i>	
2.1	Einleitung	173
2.1.1	Speicherarten.....	174
2.1.2	Speicherkenngößen und Bewertung von Speichern.....	175
2.2	Elektrische Energiespeicher.....	175
2.2.1	Einteilung der Technologiefelder.....	175
2.2.2	Natrium-Schwefel-Batterien	177
2.2.3	Redox-Flow-Batterien.....	177
2.2.4	Blei-Säure-Batterien.....	178
2.2.5	Nickel-Cadmium-Batterien	179
2.2.6	Nickel-Metallhydrid-Batterien.....	179
2.2.7	Lithium-Ionen-Batterien.....	179
2.2.8	Schwungräder.....	179
2.2.9	Doppelschichtkondensatoren	179
2.3	Thermische Energiespeicher.....	180
2.3.1	Sensible Wärmespeicher	181
2.3.2	Latentwärmespeicher	182
2.3.3	Sorptionsspeicher	184
2.3.4	Chemische Wärmespeicher.....	185
2.4	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.....	187

Teil III – Datenerfassung und -verarbeitung 189

1	Energiedatenerfassung	191
	<i>Mark Richter</i>	
1.1	Ausgangssituation	193
1.1.1	Allgemeines.....	193
1.1.2	Nutzer von Maschinen und Anlagen	194
1.1.3	Hersteller von Maschinen und Anlagen.....	195
1.1.4	Energiemanagement-Systeme.....	196
1.2	Ziele der Energiedatenerfassung	197
1.3	Messtechnik – Grundlagen	200
1.3.1	Metrologie.....	200
1.3.2	Messen – Messgröße	200
1.3.3	Messgerät – Messeinrichtung – Messkette	200
1.3.4	Messprinzip – Messmethode – Messverfahren	201
1.3.5	Messwert – Einflussgrößen – Messabweichung.....	202
1.3.6	Zeitabhängige Größen	202
1.3.7	Normen	204
1.4	Erfassung von Energiedaten	204
1.4.1	Elektrische Kenngrößen.....	204
1.4.2	Energieversorgung.....	205
1.4.3	Energiekosten-Abrechnungsmodelle	207
1.4.4	Typische Verbraucher	208
1.4.5	Leistungs- und Energiemessung	209
1.4.6	Bewertung, Planung und Simulation.....	216
1.5	Ablauf eines Messvorhabens am Beispiel.....	217
1.5.1	Analyse und Zielsetzung.....	219
1.5.2	Konzept und Planung	220
1.5.3	Durchführung	222
1.5.4	Auswertung.....	222
1.6	Zusammenfassung und Ausblick.....	224
2	Datenauswertung	227
	<i>Uwe Schob</i>	
2.1	Einleitung	229
2.2	Motivation.....	230
2.3	Methoden und Werkzeuge zur Auswertung.....	232
2.3.1	Definition von Auswertezielen.....	232
2.3.2	Auswertungshilfsmittel.....	235
2.3.3	Planen der Auswertung in kleinem Maßstab.....	237
2.3.4	Planen der Auswertung in großem Maßstab.....	239

2.4	Auswertung in integrierten Managementsystemen	248
2.5	Zusammenfassung.....	249
3	Energiedatensimulation	251
3.1	Zustandsbasierte Simulation des Energiebedarfs von Werkzeugmaschinen.....	253
	<i>Philipp Eberspächer, Alexander Verl</i>	
3.1.1	Energieverbrauch von Produktionssystemen.....	253
3.1.2	Analyse des Energieverbrauchs und Nutzungsprofile.....	253
3.1.3	Energieverbrauchsmodellierung	255
3.1.3.1	Kinematisches Modell	258
3.1.3.2	Modell des Fertigungsprozesses	259
3.1.3.3	Energieverbrauchsprognose.....	259
3.1.4	Möglichkeiten der Verbrauchsoptimierung.....	260
3.1.4.1	Optimierung der Maschinenzustandssteuerung	260
3.1.4.2	Einsatz während der Prozessplanung	260
3.1.5	Optimierung der Produktionssteuerung	261
3.1.6	Ausblick und Zusammenfassung	262
3.2	Energiedatensimulationssoftware in der Fabrikplanung am Beispiel „Total Energy Efficiency Management (TEEM)“	263
	<i>Axel Bruns, Michael Neumann, Carmen Constantinescu</i>	
3.2.1	Einleitung, Herausforderungen, Motivation	263
3.2.2	Simulation und Visualisierung von Energiewerten in der Digitalen Fabrik	264
3.2.2.1	Vorgehensweise.....	264
3.2.2.2	Modulbeschreibung	264
3.2.2.3	Nutzen	266
3.2.3	Fazit und Ausblick	266
3.2.4	Weiterführende Informationen	267

Teil IV – Fabrik und Infrastruktur

1	Ressourcenorientierte Planung von Produktionsstätten.....	271
	<i>Hans-Peter Wiendahl</i>	
1.1	Einführung	273
1.2	Objekte.....	275
1.3	Prozesse.....	278
1.4	Planungsmodell.....	279
1.5	Bewertung.....	284
1.6	Zusammenfassung.....	289

2	Bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung.....	291
2.1	Energieeffizienz im Bereich Gebäude und Gebäudetechnik.....	293
	<i>Hans Erhorn</i>	
2.1.1	Überblick Energieverbrauch.....	293
2.1.2	Gebäudebereich.....	294
2.1.2.1	Fenster.....	295
2.1.2.2	Sonnenschutz.....	296
2.1.2.3	Wand.....	297
2.1.2.4	Dach.....	301
2.1.2.5	Kellerdecke und Bodenplatte.....	301
2.1.2.6	Kosten für bauliche Maßnahmen.....	302
2.1.3	Gebäudetechnik, Gebäudeausrüstung.....	302
2.1.3.1	Heizung.....	303
2.1.3.2	Lüftung.....	306
2.1.3.3	Kühlung.....	307
2.1.3.4	Beleuchtung.....	309
2.1.3.5	Betriebsoptimierung.....	310
2.1.3.6	Strom sparende Geräte.....	312
2.1.3.7	Bauweise der Zukunft „Plusenergiegebäude“.....	313
2.2	Alternative Energiequellen – Einsatz erneuerbarer Energien bei KMUs.....	315
2.2.1	Kapiteleinleitung – Einordnung des Themas.....	315
	<i>Dietrich Schmidt</i>	
2.2.2	Abwärme aus Produktionsprozessen.....	316
	<i>Thomas Bauernhansl, Jörg Mandel, Marcus Dörr</i>	
2.2.2.1	Warum Abwärme nutzen?.....	316
2.2.2.2	Fazit.....	325
2.2.3	Nutzung von Umweltwärme (Quelle/Senke) Einsatz von Wärmepumpen plus Bohrungen/ Erdkollektoren.....	326
	<i>Doreen Kalz</i>	
2.2.4	Fotovoltaik.....	328
	<i>Tilman E. Kuhn</i>	
2.2.5	Eigenstromnutzung.....	330
	<i>Tanja M. Kneiske, Clemens Hoffmann</i>	
2.2.5.1	Eigenverbrauch und Autarkie.....	330
2.2.5.2	Möglichkeiten zur Eigenstromnutzung.....	332
2.2.5.3	Eigenstromnutzungs-Strategien.....	335
2.2.5.4	Netzparität.....	339
2.2.5.5	Praxisbeispiele.....	339
2.2.6	Thermische Kühlung unter Einsatz von Solarenergie.....	340
	<i>Hans-Martin Henning</i>	
2.2.7	Kälte aus Abwärme.....	342
	<i>Astrid Pohlig, Clemens Pollerberg, Christian Doetsch</i>	
2.2.7.1	Konventionelle Kälteerzeugung.....	343
2.2.7.2	Absorptionskältemaschinen.....	343
2.2.7.3	Adsorptionskältemaschinen.....	345
2.2.7.4	Dampfstrahlkältemaschinen.....	346
2.2.7.5	Sorptionsgestützte Klimatisierung.....	348
2.2.7.6	Wirtschaftlichkeit von thermisch angetriebenen Kältemaschinen.....	349
2.2.8	Solare Prozesswärme.....	351
	<i>Dietrich Schmidt, Klaus Vajen, Christoph Lauterbach, Bastian Schmitt</i>	
2.2.9	Ausblick – Nutzung in Gebäuden.....	353
	<i>Dietrich Schmidt</i>	

2.3	Flachdächer für ressourceneffiziente Produktionsstätten	355
	<i>Wolfgang Zillig, Nina Nadine Martens</i>	
2.3.1	Einleitung	355
2.3.2	Tragkonstruktionen	355
2.3.3	Bauphysik	356
2.3.3.1	Wärmeschutz	356
2.3.3.2	Feuchteschutz	357
2.3.3.3	Brandschutz	358
2.3.3.4	Schallschutz	359
2.3.4	Konstruktive Grundlagen	359
2.3.4.1	Werkstoffe.....	359
2.3.4.2	Konstruktionen.....	360
2.3.5	Nachhaltigkeitsaspekte von Flachdächern	362
2.3.6	Zusammenfassung	363
2.3.7	Weiterführende Informationen	363
3	Klima- und Lüftungstechnik.....	365
	<i>Achim Trogisch</i>	
3.1	Einleitung	367
3.2	Systematisierung	367
3.2.1	Allgemeine Definitionen der Lüftungstechnik - Klimatechnik.....	367
3.2.2	Vorschlag für neue Definition der Lüftungstechnik - Klimatechnik.....	372
3.3	Maßnahmen zur Effizienzsteigerung.....	373
3.3.1	Allgemeine Hinweise.....	373
3.3.2	Lastberechnung	374
3.3.3	Energietransport	374
3.3.4	Minimierung der Zuführung des hygienisch oder technologisch erforderlichen Außenluft- Volumenstroms.....	376
3.3.5	Konditionierung der Außenluft.....	377
3.3.5.1	Gestaltung der Außenluftansaugung	377
3.3.5.2	Luftbrunnen, Thermolabyrinth.....	378
3.3.5.3	Adiabate Befeuchtung (Kühlung)	379
3.3.6	Anwendung der Wärmerückgewinnung.....	380
3.3.7	Nutzung von Speicherungsvarianten (Kälte- und Wärmespeicherung).....	383
3.3.7.1	Allgemeine Aspekte.....	383
3.3.7.2	Latentspeicher	383
3.3.7.3	Eisspeicher	384
3.3.7.4	Erdreich	385
3.3.7.5	Schotterspeicher.....	386
3.3.7.6	Grundwasserspeicher.....	387
3.4	Raumströmung in Produktionshallen	388
3.4.1	Begriffe.....	388
3.4.2	Grundsätze.....	391
3.4.3	Luftführungsarten.....	393
3.5	Möglichkeiten der Kälteerzeugung, Kühlung und Entfeuchtung.....	395
3.5.1	Allgemeines.....	395
3.5.2	Kälteerzeugung.....	396

3.5.3	Kühlprozesse.....	399
3.5.4	Kühlverfahren.....	400
3.5.5	Luftentfeuchtung und Trocknung	402
3.6	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.....	406
3.6.1	Wärmepumpen	406
3.6.2	Blockheizkraftwerke.....	406
3.7	Systemlösungen	408
3.8	Inspektion.....	422
3.9	Fazit	423
3.10	Weiterführende Informationen.....	423
4	Beleuchtungstechnik – Licht ist mehr als Energiebedarf.....	425
	<i>Mathias Wambsganß, Johannes Zauner</i>	
4.1	Einleitung	427
4.2	Lichttechnische Grundbegriffe.....	427
4.2.1	Lichtstrom (Φ).....	427
4.2.2	Lichtstärke (I).....	427
4.2.3	Lichtausbeute.....	427
4.2.4	Beleuchtungsstärke (E)	428
4.2.5	Leuchtdichte (L).....	428
4.2.6	Farbwiedergabe (R_a).....	429
4.2.7	Farbtemperatur.....	429
4.2.8	Tageslicht.....	429
4.2.9	Tageslichtquotient (D)	430
4.2.10	Tageslichtautonomie.....	430
4.2.11	Himmelsmodelle	431
4.3	Physiologie und Sehleistung	431
4.4	Gütemerkmale der Beleuchtung.....	434
4.5	Lichtquellen	435
4.5.1	Tageslicht.....	436
4.5.2	Kunstlicht	438
4.5.3	Leuchtmittel	439
4.5.4	Leuchtstofflampen (LL) in der Industrie.....	439
4.5.5	Hochdruckentladungslampen in der Industrie	440
4.5.6	LED in der Industrie	440
4.5.7	Vorschaltgeräte.....	442
4.5.8	Leuchten	442
4.6	Raumpotenzial und Systempotenzial	444
4.6.1	Raumpotenzial.....	444
4.6.2	Systempotenzial.....	446

4.7	Exemplarische Anwendung	449
4.7.1	Tageslichtkonzepte.....	451
4.7.2	Kunstlichtkonzepte	452
4.7.3	Ergebnisse Tageslicht	453
4.7.4	Ergebnisse Kunstlicht.....	454
4.8	Weiterführende Informationen	455
5	Akustik	457
	<i>Philip Leistner</i>	
5.1	Einleitung	459
5.2	Wahrnehmung und Wirkung von Schall	459
5.3	Akustische Gestaltung von Produktionsräumen	461
5.3.1	Anforderungen und Regeln	461
5.3.2	Maschinen und Prozesse	462
5.3.3	Raumakustik und Schallabsorber	463
5.3.4	Persönlicher Gehörschutz.....	465
5.4	Geräuschabstrahlung von Produktionsstätten	465
5.4.1	Anforderungen und Regeln	465
5.4.2	Baulicher Schallschutz	466
5.4.3	Technischer Schallschutz.....	466
5.5	Akustische und energetische Effizienz – Ein Beispiel	467
6	Green IT	469
	<i>Thorsten Wack</i>	
6.1	Umweltauswirkungen der Informationstechnik	471
6.1.1	Recycling, Entsorgung und Schonung von Ressourcen.....	471
6.1.2	„Rebound Effects“	472
6.1.3	Ökoeffizienz und Dematerialisierung.....	472
6.2	IT Infrastrukturmodelle	472
6.2.1	Terminal Server.....	472
6.2.2	Thin Clients.....	473
6.2.3	Server-Virtualisierung.....	473
6.2.4	Desktop-Virtualisierung.....	475
6.3	Rechtliche Rahmenbedingungen	475
6.3.1	EU-Ebene und international	476
6.3.2	Deutschland	476
6.3.3	Andere Leitmärkte (USA)	476
6.3.4	Labels, Initiativen, Prüfsiegel und Zertifikate	476
6.3.4.1	Energy Star.....	476
6.3.4.2	Blauer Engel, EU Ecolabel, Nordic Ecolabel.....	477
6.3.4.3	Informationsdienst für umweltfreundliche Beschaffung.....	477

6.3.4.4	Office-TopTen.....	477
6.3.4.5	TCO	477
6.4	Optimierungspotenziale im Rechenzentrum.....	477
6.4.1	Verfügbare Kennzahlen	478
6.4.2	Effizienzsteigerung.....	480
6.4.2.1	Messen.....	480
6.4.2.2	Bewerten.....	482
6.4.3	Maßnahmen	482
6.4.3.1	Bauliche Maßnahmen.....	483
6.4.3.2	Kältebereitstellung.....	483
6.4.3.3	Kühlung	486
6.4.3.4	Elektrische Wirkungsgrade.....	489
6.4.3.5	Organisation.....	489
6.5	Fazit	490

Teil V – Maschinen und Anlagen 491

1	Maschinenelemente und Baugruppen	495
	<i>Christian Brecher, Werner Herfs, Christian Heyer, Johannes Trieb</i>	
1.1	Ressourceneffizienz elektrischer Antriebe in Produktionssystemen	497
1.1.1	Einleitung.....	497
1.1.2	Ressourceneffiziente Motortechnik.....	498
1.1.3	Energieeffiziente Speisegeräte.....	503
1.1.4	Bedarfsgerechte Antriebsauslegung.....	509
1.1.5	Optimierung der Energieeffizienz durch Anpassung der Antriebsregelung.....	511
1.1.6	Zusammenfassung.....	514
1.2	Energieeffizienz von Pumpensystemen.....	514
1.2.1	Energieverbrauch von Pumpen.....	514
1.2.2	Beschreibung verschiedener Pumpenarten.....	515
1.2.2.1	Verdrängerpumpen.....	515
1.2.2.2	Kreiselpumpen	516
1.2.2.3	Beschreibung der formelmäßigen energetischen Zusammenhänge	516
1.2.3	Kennlinien von Pumpen.....	518
1.2.4	Beschreibung von Pumpenantrieben.....	519
1.2.5	Regelungsarten von Pumpen und Pumpensystemen.....	519
1.2.5.1	Zweipunktregelung.....	520
1.2.5.2	Drosselregelung.....	520
1.2.5.3	Bypassregelung	520
1.2.5.4	Drehzahlsteuerung	521
1.2.5.5	Drehzahlregelung.....	521
1.2.5.6	Zusammenfassende Bewertung.....	521
1.2.6	Pumpen für den Einsatz zur Kühlschmierstoffbereitstellung	523
1.2.7	Zusammenfassung.....	524

2	Werkzeugmaschinen	527
	<i>Steffen Ihlenfeldt, Markus Wabner, Uwe Frieß, Hendrik Rentzsch</i>	
2.1	Einleitung	529
2.2	Allgemeine Aspekte der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen	530
2.3	Entwicklungsmethoden für energieeffiziente Werkzeugmaschinen	531
2.3.1	Virtuelle Produktentwicklung	531
2.3.2	Ansätze zur Berücksichtigung der Energieeffizienz in der Konstruktionsmethodik	534
2.3.3	Entwurfsmethode „Design to Efficiency“	536
2.3.3.1	Analyse des Energieflusses	537
2.3.3.2	Synthese	539
2.3.3.3	Verifizierung	540
2.4	Ausgewählte Ansätze für energieeffiziente Werkzeugmaschinenstrukturen	541
2.4.1	Generelle Ansätze	541
2.4.2	Energieeffizienz durch Leichtbaukomponenten	544
2.4.3	Energieeffizienz durch Antriebs- und Bewegungsredundanz	547
2.4.4	Energieeffizienz durch mobile Maschinen	549
2.4.5	Energieeffizienz durch thermisch robuste Maschinen	553
3	Produktionsanlagen	557
3.1	Energieeffizienz in der Robotik	559
	<i>Martin Naumann, Alexander Spiller, Matthias Gläble</i>	
3.1.1	Grundlagen	559
3.1.1.1	Definition Roboter	559
3.1.1.2	Aufbau von Robotern	559
3.1.1.3	Einsatzszenarien von Robotern	560
3.1.1.4	Energieverbrauch von Robotern	561
3.1.1.5	Energiebedarf	561
3.1.2	Gestaltung eines Roboters	562
3.1.2.1	Verwendung von energieeffizienten Antrieben	562
3.1.2.2	Leichtbau	562
3.1.2.3	Spezialroboter	563
3.1.2.4	Steuerung	565
3.1.3	Betrieb	565
3.1.3.1	Bahnsteuerung	566
3.1.3.2	Layout der Roboterzelle	567
3.1.3.3	Simulation und Monitoring	567
3.1.4	Zusammenfassung	569
3.2	Oberflächenbehandlung	571
	<i>Ulrich Strohbeck, Wolfgang Klein</i>	
3.2.1	Lackieren als unverzichtbarer Teil der Produktion	571
3.2.2	Energierelevanz von Lackierprozessen	571
3.2.3	Energiearten und -erfassung in Lackieranlagen	573
3.2.4	Lackieranlagen im Fokus	574
3.2.4.1	Vorbehandlung	574
3.2.4.2	Haftwassertrockner	575
3.2.4.3	Spritzlackierkabinen und -stände, Pulversprühkabinen	576

3.2.4.4	Abdunstzonen	578
3.2.4.5	Lacktrocknung /-aushärtung	578
3.2.4.6	Anlagen zur Abluftreinigung	583
3.2.4.7	Planung und Betrieb von energieeffizienten Lackieranlagen.....	584
4	Automatisierungstechnik	591
	<i>Christoph Herrmann, Sebastian Thiede, André Zein</i>	
4.1	Planung und Betrieb von energieeffizienten Werkzeugmaschinen und Fabrikssystemen.....	593
4.2	Bewertung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen	594
4.2.1	Stand der Technik und Forschung	594
4.2.2	Konzept zur Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen	595
4.2.2.1	Bewertung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen.....	596
4.2.2.2	Steigerung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen	598
4.2.3	Beispielhafte Anwendung	599
4.3	Simulationsbasierte Planung und Steuerung energie- und ressourceneffizienter Prozessketten und Fabrikssysteme	601
4.3.1	Ganzheitliche Sichtweise auf das Fabrikssystem	601
4.3.2	Stand der Technik und Forschung	602
4.3.3	Struktur des energieorientierten Simulationsansatzes.....	603
4.3.4	Beispielhafte Anwendungen.....	604
4.3.4.1	Aluminiumdruckguss.....	604
4.3.4.2	Textilindustrie - Weberei	606

Teil VI – Produktionsprozess

1	Fertigungsverfahren.....	611
1.1	Urformen	613
	Einleitung – Ressourceneffiziente Urformtechnik	613
	<i>Bernhard Müller</i>	
1.1.1	Urformverfahren – Gießen	613
	<i>Hartmut Polzin</i>	
1.1.1.1	Prozesskette Gussteilherstellung	613
1.1.1.2	Gießen mit verlorenen Formen – Sandgießverfahren	616
1.1.1.3	Gießen mit verlorenen Formen – Feingießverfahren.....	620
1.1.1.4	Gießen mit Dauerformen – Kokillengießverfahren.....	621
1.1.1.5	Gießen mit Dauerformen – Druckgießverfahren.....	621
1.1.1.6	Betrachtungen zur Ressourceneffizienz.....	622
1.1.2	Ressourceneffizientes Spritzgießen	623
	<i>Volker Reichert, Dorothea Schneider</i>	
1.1.2.1	Wertschöpfungskette Kunststoff-Formteilherstellung	623
1.1.2.2	Prozesskette Spritzgießen	624
1.1.2.3	Verfahrenstechnik Spritzgießen	624
1.1.2.4	Spritzgießmaschine	626
1.1.2.5	Kunststoff.....	629

1.1.2.6	Werkzeug.....	630
1.1.2.7	Formteile.....	631
1.1.2.8	Marktbeobachtung und Trends im Spritzgießen.....	632
1.1.3	Generative Fertigungsverfahren (Rapid Prototyping, Additive Manufacturing).....	634
	<i>Bernhard Müller</i>	
1.1.3.1	Verfahrensbeschreibung.....	634
1.1.3.2	Anwendungen.....	635
1.1.3.3	Werkstoffpalette.....	637
1.1.3.4	Trends.....	638
1.1.3.5	Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion.....	639
1.2	Ressourceneffizienz – Relevanz für die Umformtechnik.....	644
	<i>Andreas Sterzing, Frank Schieck</i>	
1.2.1	Herausforderungen in der Automobilindustrie.....	644
1.2.1.1	Erhöhung der Effizienz im Fahrzeugbetrieb.....	645
1.2.1.2	Effizienzsteigerung in der Produktherstellung.....	645
1.2.1.3	Flexibilisierung der umformtechnischen Bauteilherstellung.....	646
1.2.2	Ressourceneffiziente Blechumformung für Karosseriekomponenten.....	647
1.2.2.1	Nutzung des Werkstoffpotenzials durch Berücksichtigung von Bake- und Work-Hardening-Effekten.....	648
1.2.2.2	Erhöhung der Prozessstabilität zur Verringerung von Ausschuss- und Nacharbeitsteilen.....	649
1.2.2.3	Verfahrenskombination Formen und Fügen im Presswerk.....	651
1.2.2.4	Verfahren Formschlagen.....	652
1.2.2.5	Stückzahloptimierte Prozessketten für kleine Stückzahlen.....	653
1.2.3	Ausgewählte Lösungsansätze für den Antriebsstrang.....	654
1.2.3.1	Leichtbau-Nockenwelle.....	654
1.2.3.2	Getriebewelle.....	655
1.2.3.3	Gebaute Kurbelwelle.....	662
1.3	Spanende Verfahren.....	663
1.3.1	Strategien zur Ressourceneinsparung bei der spanenden Bearbeitung.....	663
	<i>Martin Dix</i>	
1.3.2	Energetische Prozessanalyse und -gestaltung am Beispiel Bohren.....	664
	<i>Martin Dix</i>	
1.3.3	Effizienzsteigerung bei der Titanbearbeitung durch Hochdruckkühlung.....	666
	<i>Carlo Rüger</i>	
1.3.4	Reduktion von Fertigungszeit durch eine 5-achsig simultane Fräsbearbeitung.....	668
	<i>Carsten Hochmuth, Claudius Rienäcker</i>	
1.3.5	Substitution energieintensiver Prozesse - Beispiel Hartdrehen statt Schleifen.....	672
	<i>Ran Zhang, Andreas Schubert</i>	
1.4	Fügen.....	675
	<i>Frank Riedel</i>	
1.4.1	Fügetechnik – Schlüsseltechnologie für die Produktion und Produkte von morgen.....	675
1.4.2	Wechselwirkung mit und Einfluss auf Prozessketten durch die Fügetechnologie.....	676
1.4.3	Definition des Betrachtungsraums.....	677
1.4.4	Definition der Zielgrößen.....	678
1.4.5	Bewertungsmethoden.....	680
1.4.6	Überblick über Fügetechnologien und Merkmale des Energie- und Ressourcenbedarfs.....	681
1.4.7	Hinweise zur praktischen Bewertung.....	683

1.5	Oberflächen- und Beschichtungstechnik	685
1.5.1	Ressourceneffizienz durch Oberflächen- und Beschichtungstechnik	685
	<i>Thomas Lampke</i>	
1.5.2	Potenzial von Schutz- und Funktionsschichten hinsichtlich Energie- und Ressourceneffizienz	686
	<i>Thomas Grund</i>	
1.5.3	Anodische Oxidation von Leichtmetallen	686
	<i>Daniel Meyer, Thomas Lampke</i>	
1.5.3.1	Einleitung	686
1.5.3.2	Elektrochemische Hartanodisation von Aluminium bei Raumtemperatur	687
1.5.4	Angepasste thermische Spritzprozesse	689
	<i>Gerd Paczkowski, Thomas Grund, Ruben Winkler, Thomas Mäder, Bernhard Wielage</i>	
1.5.4.1	Einleitung	689
1.5.4.2	Verschleißschutzschichten auf polymerbasierten Grundwerkstoffen	691
1.5.4.3	Zusammenfassung	693
1.6	Thermomechanische Behandlung	694
	<i>Pierre Schulze, Thomas Lampke</i>	
1.6.1	Ressourceneffizienz durch thermomechanische Behandlung	694
1.6.2	Modellierung der thermomechanischen Behandlung von massiven Bauteilen	695
2	Vor- und Nachbehandlung	699
	<i>Roland Müller</i>	
2.1	Verschmutzung	701
2.2	Reinigung	702
2.3	Reinigungsverfahren	702
2.4	Reinigungsmittel	705
2.5	Optimierung von Reinigungsverfahren	705
3	Prozessüberwachung	707
	<i>Michael Kuhl</i>	
3.1	Fehlerminimierung	709
3.2	Qualitätssicherung	710
3.3	Prozessüberwachung/Prozessmonitoring	713
3.4	Wartung und Instandhaltung	716
4	Ressourceneffiziente Logistik	719
	<i>Katja Klingebiel, Lars Hackstein, Jan Cirullies, Matthias Parlings, Kathrin Hesse, Christian Hohaus, Eike-Niklas Jung</i>	
4.1	Strategische Logistiknetzwerkplanung: Ressourceneffiziente Gestaltung	723
4.1.1	Strategische Ansatzpunkte für eine ressourceneffiziente Logistikgestaltung	723

4.1.1.1	Ansatzpunkte einer ressourceneffizienten Transportlogistik.....	724
4.1.1.2	Ansatzpunkte für eine ressourceneffiziente Produktionslogistik	725
4.1.2	Ein Optimierungsverfahren für die strukturelle Gestaltung ressourceneffizienter Logistik.....	726
4.1.3	Supply-Chain-Simulation zur Gestaltung von ressourceneffizienten Prozessen	730
4.2	Operative Netzwerkplanung: Ressourceneffizienter Betrieb	732
4.2.1	Informationstechnologie als Enabler	732
4.2.2	Assistenzsysteme für die Supply Chain	733
4.2.3	ECO ₂ LAS – Einsatz eines Assistenzsystems zur Planungsunterstützung globaler Lieferketten unter Berücksichtigung ökologischer Auswirkungen.....	734
4.3	Ressourceneffizienz in der technischen Intralogistik	736
4.3.1	Ressourcenverbrauch in der Intralogistik.....	737
4.3.2	Maßnahmen zur Energieeinsparung im Bereich Gebäudetechnik.....	738
4.3.3	Maßnahmen zur Energieeinsparung in Förder- und Lagersystemen.....	739
4.3.3.1	Optimierung von Stetigförderern	739
4.3.3.2	Optimierung von Unstetigförderern	741
4.3.3.3	Optimierung durch Organisations- und Steuerungsmaßnahmen.....	743
4.4	Zusammenfassung und Fazit.....	744
5	Hilfs- und Betriebsstoffe	749
5.1	Technische Gase.....	751
	<i>Ulrich Seifert</i>	
5.1.1	Einleitung	751
5.1.2	Bereitstellung technischer Gase	751
5.1.3	Verteilung technischer Gase	753
5.1.4	Aufbereitung und Ableitung von Gasen.....	754
5.1.5	Sicherheitsaspekte	754
5.2	Effizienter Einsatz von Druckluft.....	756
	<i>Simon Hirzel, Harald Bradke</i>	
5.2.1	Einleitung	756
5.2.1.1	Relevanz der Druckluft für die Industrie	756
5.2.1.2	Ökonomische Bedeutung	757
5.2.1.3	Effizienzpotenziale.....	757
5.2.2	Grundbegriffe	758
5.2.2.1	Druckangaben.....	758
5.2.2.2	Volumenangaben.....	758
5.2.2.3	Effizienzangaben	759
5.2.3	Druckluftsysteme	760
5.2.3.1	Systemübersicht	760
5.2.3.2	Drucklufterzeugung.....	761
5.2.3.3	Druckluftaufbereitung.....	762
5.2.3.4	Druckluftverteilung	762
5.2.3.5	Druckluftanwendung.....	763
5.2.4	Effiziente Systemausgestaltung	763
5.2.4.1	Drucklufterzeugung.....	764
5.2.4.2	Druckluftaufbereitung.....	765
5.2.4.3	Druckluftverteilung	765
5.2.4.4	Druckluftanwendung.....	766

5.2.5	Ausschöpfung bestehender Potenziale	767
5.2.5.1	Hemmnisse für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen.....	767
5.2.5.2	Unternehmensexterne Ansatzpunkte zur Überwindung von Hemmnissen.....	768
5.2.5.3	Unternehmensinterne Ansatzpunkte zur Überwindung von Hemmnissen	769
5.3	Nachhaltige Nutzung von Wasser	771
	<i>Ilka Gehrke, Volkmar Keuter, Josef Robert, Hildegard Lyko</i>	
5.3.1	Einleitung	771
5.3.2	Bestandsaufnahme des Wasserhaushaltes	771
5.3.3	Prozesswassergewinnung.....	771
5.3.4	Abwasserentstehung und mögliche Reinigungsverfahren	773
5.3.5	Neuere Technologien zur Wasseraufbereitung und weitergehenden Abwasserreinigung.....	775
5.3.5.1	Anaerobe Abwasserreinigung mit Biogasnutzung.....	775
5.3.5.2	Membranbioreaktoren.....	775
5.3.5.3	Innovative Filtrations- und Desinfektionsverfahren	775
5.3.6	Beispiele aus verschiedenen Industriebranchen	776
5.3.6.1	Abwasserfreie Gebäudetechnik (branchenübergreifend).....	776
5.3.6.2	Betrieb alternativer Abwasseraufbereitungsanlagen.....	777
5.3.6.3	Spurenschadstoffe (Arzneimittelrückstände, bedeutend für Krankenhäuser, Altenheime, Seniorenresidenzen).....	778
5.3.6.4	Lebensmittel- und Getränkeindustrie.....	778
5.3.6.5	Papier- und Zellstoffherstellung	778
5.3.6.6	Stahl- und Metallbearbeitung.....	778
5.3.6.7	Textilindustrie.....	779
5.3.6.8	Wäschereien.....	779

Teil VII – Beispiele ressourcenorientierten Handelns

781

1	Managen Sie Ihre Energie – Erfahrungen aus drei Jahren Energiemanagement	783
	<i>Heike Sarstedt, Florian Hondele</i>	
1.1	Energiemanagement – Warum?.....	785
1.1.1	Wirtschaftliches und politisches Umfeld	785
1.1.2	Steigende Energiepreise und Klimawandel – die Ausgangssituation bei der MAN Truck & Bus AG..	785
1.2	Anreize schaffen –Energie eine knappe Ressource? – Energiebedarf kontingentieren.....	785
1.2.1	Verschwendung vermeiden – Effizienzanalyse und Maßnahmen	786
1.2.2	Energie messen und verteilen	787
1.3	Ideen nicht vergessen – „Effizienzbuch“	789
1.4	Energieeffizienz nachhaltig sichern	790
1.4.1	Energiemanagement ist eine Aufgabe von Vielen.....	790
1.4.2	Energiemanagement braucht Prozesse – Das Stufenmodell	790
1.5	„Managen Sie Ihre Energie“ – von E² zu E⁴	792

2	LED-Röhren als Ersatz für Leuchtstofflampen.....	795
	<i>Rasit Özgüç</i>	
2.1	Einleitung	797
2.2	Betriebsarten von Leuchtstofflampen.....	797
2.3	Retrofit-LED-Röhren.....	798
2.3.1	Markterhältliche Varianten	798
2.3.2	Konformität.....	800
2.4	Leuchtstoffröhre vs. LED-Röhre.....	801
2.4.1	Beleuchtungsstärke.....	801
2.4.2	Einsparpotenziale anhand eines Praxisbeispiels in einer Produktionsstätte.....	802
2.5	Zusammenfassung.....	804
3	Cleantan® – Ressourceneffiziente Produktion von Leder.....	805
	<i>Manfred Renner</i>	
4	Erfahrung mit dem Gefahrstoffmanagementsystem GEVIS in der Fraunhofer-Gesellschaft.....	809
	<i>Thorsten Wack</i>	
4.1	Gefahrstoffmanagement in der Fraunhofer-Gesellschaft.....	811
4.1.1	Entstehungsgeschichte.....	811
4.1.2	Technik.....	811
4.2	Aus Sicht der Anwender	812
4.3	Mobile Clients.....	816
4.4	Fazit	817
Index.....		819