

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	Energiopolitik	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	Energiwertstrom – 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 Energiwertstrom-Methode als Energie-Audit für die Produktion	47
3.4	Mit der Energiwertstrom-Analyse zur Transparenz des Energieverbrauchs	48
3.4.1	Kundentakt als Referenzwert im Energiwertstrom	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 Energiwertstrom-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 Speicherkenngrößen 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 Gläbke</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	Vorbereitung	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		609
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	Druckluftherzeugung.....	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	Druckluftherzeugung.....	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 Özgüc</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	Cleantant® – 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