

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	1
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Energieeffizienz</b>	3
2.1	Rechtlicher Rahmen	4
2.2	Überlegungen zur Systematik der Energieeffizienz	10
2.2.1	Allgemeine Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz	16
2.3	Methoden	19
2.3.1	Technische Analysen	20
2.3.2	Ökonomische Analysen	23
2.3.3	Messtechnik stationär & mobil	40
	Literatur	48
<b>3</b>	<b>Strombasierte Basistechnologien</b>	53
3.1	Elektrische Energieversorgung	53
3.1.1	Grundlagen	53
3.1.1.1	Transformatoren	53
3.1.1.2	Blindleistungskompensation	57
3.1.1.3	Unterbrechungsfreie Stromversorgung	60
3.1.1.4	Kabeldimensionierung	61
3.1.2	Empfehlungen	61
3.2	Elektrische Beleuchtung	62
3.2.1	Grundlagen	63
3.2.2	Maßnahmen	70
3.2.2.1	Energieeffiziente Leuchtmittel und Beleuchtungstechnik	70
3.2.2.2	Lichtmanagement	73
3.2.3	Empfehlungen	74
3.3	Elektrische Antriebe	75
3.3.1	Grundlagen	76
3.3.2	Die Wirtschaftlichkeit von Antriebssystemen	80

---

3.3.3	Maßnahmen	82
3.3.3.1	Optimierung der Effizienz der E-Maschine	83
3.3.3.2	Optimierung der Effizienz des Antriebssystems	84
3.3.4	Empfehlungen	87
3.4	Ventilatoren	88
3.4.1	Grundlagen	90
3.4.2	Maßnahmen	90
3.4.2.1	Korrekte Dimensionierung	91
3.4.2.2	Einsatz effizienter Ventilatoren	91
3.4.2.3	Drehzahlenanpassung	92
3.4.2.4	Aufrechterhaltung der Leistung durch Instandhaltung	93
3.4.3	Empfehlungen	93
3.5	Pumpen	94
3.5.1	Grundlagen	95
3.5.2	Maßnahmen	99
3.5.2.1	Dimensionierung der Pumpe	99
3.5.2.2	Optimierung des Pumpensystems und der Regelung	100
3.5.2.3	Optimierung bestehender Pumpensysteme	106
3.5.3	Empfehlungen	109
3.6	Strombasierte Basistechnologien zur Wärmeerzeugung	110
	Literatur	114
<b>4</b>	<b>Brennstoffbasierte Basistechnologien</b>	<b>117</b>
4.1	Wärmeerzeugung mittels Brennern	117
4.1.1	Grundlagen	117
4.1.2	Maßnahmen	122
4.1.2.1	Substitution eines Kaltluftbrenners durch einen Warmluft-, Rekuperator- oder Regeneratorbrenner	122
4.1.2.2	Substitution eines Regenerator-, Rekuperator-, Warmluft- oder Kaltluftbrenners durch einen Sauerstoffbrenner	123
4.1.2.3	Substitution eines Rekuperator- oder Warmluftbrenners durch einen FLOX-Brenner	124
4.1.2.4	Substitution eines Rekuperator- durch einen Regeneratorbrenner	125
4.1.2.5	Weitere Maßnahmen	125
4.1.3	Empfehlungen	126
4.2	Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung	127
4.2.1	Grundlagen	130
4.2.2	Maßnahmen	131
4.2.2.1	Wartung und Reinigung	132
4.2.2.2	Einspeisung in Wärmenetze	133

4.2.2.3	Mobile Wärmespeicher . . . . .	134
4.2.2.4	Nutzung von Abwasserwärme . . . . .	135
4.2.2.5	Stromerzeugung aus Abwärme . . . . .	136
4.2.3	Empfehlungen . . . . .	139
4.3	Wärme- und Kälte­dämmung . . . . .	140
4.3.1	Grundlagen . . . . .	140
4.3.2	Maßnahmen . . . . .	142
4.3.3	Empfehlungen . . . . .	143
	Literatur . . . . .	144
<b>5</b>	<b>Strombasierte Querschnittsprozesse . . . . .</b>	<b>147</b>
5.1	Druckluft . . . . .	147
5.1.1	Grundlagen . . . . .	148
5.1.2	Maßnahmen . . . . .	152
5.1.2.1	Dimensionierung von Druckluftanlagen . . . . .	152
5.1.2.2	Einsatz drehzahl­ge­re­gel­ter Kompressoren­antriebe . . . . .	154
5.1.2.3	Leckagen in Druckluftsystemen . . . . .	155
5.1.2.4	Wartung . . . . .	156
5.1.2.5	Abwärmennutzung aus Druckluftanlagen . . . . .	156
5.1.2.6	Substitution von Druckluftanwendungen . . . . .	157
5.1.2.7	Organisatorische Maßnahmen . . . . .	157
5.1.3	Empfehlungen . . . . .	157
5.2	Rechenzentren . . . . .	159
5.2.1	Grundlagen . . . . .	159
5.2.2	Maßnahmen . . . . .	162
5.2.2.1	Effizienter Einsatz effizienter IT-Hardware . . . . .	162
5.2.2.2	Effiziente Speicher und Datenhaltung . . . . .	162
5.2.2.3	Optimierung der Kühlung . . . . .	163
5.2.2.4	Optimierung der Stromversorgung . . . . .	168
5.2.3	Empfehlungen . . . . .	170
5.3	Galvanik . . . . .	171
5.3.1	Grundlagen . . . . .	171
5.3.2	Maßnahmen . . . . .	173
5.3.2.1	Reduzierung der Spannungsverluste . . . . .	173
5.3.2.2	Optimierung der Luftführung . . . . .	175
5.3.2.3	Prozessbeheizung . . . . .	177
5.3.2.4	Prozesskühlung . . . . .	178
5.3.2.5	Optimierung des Gleichrichters . . . . .	179
5.3.3	Empfehlungen . . . . .	181
	Literatur . . . . .	182

<b>6</b>	<b>Brennstoffbasierte Querschnittsprozesse</b> .....	185
6.1	Kessel zur Dampferzeugung .....	185
6.1.1	Grundlagen .....	186
6.1.2	Maßnahmen .....	188
6.1.2.1	Einbau einer Laugenentspannung und -kühlung. ....	189
6.1.2.2	Einbau eines Economiser .....	189
6.1.2.3	Nutzen von Brennwerttechnik .....	191
6.1.2.4	Einbau einer geschlossenen Kondensatrückführung. ....	191
6.1.2.5	Wärmerückgewinnung aus Brüdendampf. ....	192
6.1.2.6	Stufenlose Brennerregelung .....	192
6.1.2.7	Maßnahmen aus anderen Basis- und Querschnittstechnologien .....	193
6.1.3	Empfehlungen .....	193
6.2	Industrieöfen .....	194
6.2.1	Grundlagen .....	195
6.2.2	Maßnahmen .....	198
6.2.2.1	Verbesserung des Wandaufbaus mittels Dämmung ....	198
6.2.2.2	Beheizung und Optimierung der Brennertechnik. ....	200
6.2.2.3	Abwärmenutzung .....	201
6.2.2.4	Intelligente Steuerungs- und Regeltechnik. ....	202
6.2.3	Empfehlungen .....	203
6.3	Trocknungsanlagen .....	204
6.3.1	Grundlagen .....	206
6.3.2	Maßnahmen .....	208
6.3.2.1	Mechanische Vortrocknung .....	209
6.3.2.2	Optimierung der Beheizung und Dämmung. ....	209
6.3.2.3	Heißdampftrocknung statt Frischlufttrocknung .....	210
6.3.2.4	Trockenlufttrocknung mittels Kältetrockner. ....	210
6.3.2.5	Verbesserung der Prozesssteuerung .....	211
6.3.2.6	Alternative Trocknungsverfahren .....	212
6.3.3	Empfehlungen .....	214
6.4	Lackieranlagen .....	216
6.4.1	Grundlagen .....	217
6.4.2	Maßnahmen .....	221
6.4.2.1	Planerische und organisatorische Maßnahmen. ....	221
6.4.2.2	Optimierung der Vorbehandlung. ....	223
6.4.2.3	Optimierung im Bereich des Lackauftrags. ....	227
6.4.2.4	Optimierung der Lacktrocknung/ -aushärtung .....	231
6.4.3	Empfehlungen .....	234
	Literatur .....	236

---

<b>7</b>	<b>Gekoppelte und sonstige Querschnittsprozesse</b> .....	239
7.1	Gekoppelte Erzeugung und Nutzung von Strom und Wärme .....	239
7.1.1	Grundlagen .....	240
7.1.1.1	Blockheizkraftwerke .....	241
7.1.1.2	Dampfturbine .....	243
7.1.1.3	Wärmepumpen und Kältemaschinen .....	245
7.1.2	Maßnahmen .....	248
7.1.3	Empfehlungen .....	250
7.2	Raumlufttechnische Anlagen für Industriegebäude .....	251
7.2.1	Grundlagen .....	253
7.2.2	Maßnahmen .....	253
7.2.2.1	Wärmerückgewinnung .....	254
7.2.2.2	Wartung und Instandhaltung .....	255
7.2.2.3	Deckenstrahler .....	255
7.2.2.4	Optimierung des Gebäudebetriebs .....	256
7.2.3	Empfehlungen .....	257
7.3	Kälteerzeugung .....	258
7.3.1	Grundlagen .....	261
7.3.2	Maßnahmen .....	265
7.3.2.1	Erstellung eines Inventars der Kälteanlagen und Betriebsweise .....	266
7.3.2.2	Minimierung des Kältebedarfs .....	267
7.3.2.3	Reduktion des Stromverbrauchs zur Kälteerzeugung .....	268
7.3.2.4	Regelungsoptimierung von Kälteanlagen .....	269
7.3.2.5	Optimierung von Leistungen, Druck- und Temperaturstufen .....	271
7.3.3	Empfehlungen .....	272
7.4	Sonstige Querschnittsprozesse .....	273
7.4.1	Fördertechnik .....	274
7.4.2	Handhabungstechnik .....	275
7.4.3	Industriegase .....	276
7.4.4	Schweißen .....	278
7.4.5	Abwasserbehandlung .....	279
7.4.6	Vakuumtechnik .....	281
	Literatur .....	282
<b>8</b>	<b>Branchen mit ihren hochspezialisierten bzw. energieintensiven Prozessen</b> . . .	287
8.1	Herstellung von chemischen Grundstoffen .....	291
8.1.1	Die Branche .....	291
8.1.2	Grundlagen der Technologie .....	292

8.1.3	Einzelne Prozess und Maßnahmen	298
8.1.3.1	Ethylen	298
8.1.3.2	Propen	298
8.1.3.3	Methanol	299
8.1.3.4	Benzol	302
8.1.3.5	Chlor	303
8.1.3.6	Ammoniak	306
8.1.3.7	Soda	307
8.1.3.8	Phosphorsäure	308
8.1.4	Empfehlungen zur energetischen Optimierung der Chemieindustrie	309
8.1.5	Einsparpotenzialkurve	309
8.2	Herstellung von Eisen & Stahl	312
8.2.1	Die Branche	313
8.2.1.1	Grundlagen der Technologie	313
8.2.2	Einzelne Prozesse und Maßnahmen	314
8.2.2.1	Kokstroekenkühlung	314
8.2.2.2	Gas-Rezirkulierung an Sinteranlagen	315
8.2.2.3	Energieeffizienzmaßnahmen beim Hochofen und Stahlwerk	316
8.2.2.4	Energieeffizienzmaßnahmen bei Lichtbogenöfen	317
8.2.2.5	Alternative Reduktionsverfahren	319
8.2.2.6	Sekundärmetallurgie, Urformen, Walzen, Biegen, Oberflächenbehandlung	320
8.2.2.7	Prozessübergreifende Energieeffizienzmaßnahmen	322
8.2.2.8	Empfehlungen zur energetischen Optimierung der Eisen-/Stahlherstellung	323
8.2.3	Einsparpotenzialkurve	324
8.3	Herstellung von Aluminium und NE-Metallen	328
8.3.1	Die Branche	328
8.3.2	Grundlagen der Technologie	329
8.3.3	Einzelne Prozesse und Maßnahmen	332
8.3.3.1	Energieeffizienzmaßnahmen in der Primäraluminium-Elektrolyse	332
8.3.3.2	Effizienzpotenziale bei der Anodenproduktion	334
8.3.3.3	Optimierung der Kupferherstellung	335
8.3.4	Empfehlungen zur energetischen Optimierung der Metallerzeugung	339
8.3.5	Einsparpotenzialkurve	339
8.4	Herstellung von Glas & Keramik	341
8.4.1	Die Branche	341

8.4.2	Grundlagen der Technologie . . . . .	342
8.4.2.1	Optimale Zusammensetzung der Beschickung. . . . .	344
8.4.3	Einzelne Prozesse und Maßnahmen. . . . .	344
8.4.3.1	Optimierung des Ofens und der Befuerung . . . . .	344
8.4.3.2	Empfehlungen zur energetischen Optimierung der Glasherstellung . . . . .	348
8.4.4	Einsparpotenzialkurve . . . . .	348
8.5	Herstellung von Zement. . . . .	351
8.5.1	Die Branche . . . . .	351
8.5.2	Grundlagen der Technologie . . . . .	351
8.5.3	Einzelne Prozesse und Maßnahmen. . . . .	353
8.5.3.1	Brennen von Klinker im Ofenprozess. . . . .	353
8.5.3.2	Mahlen von Klinker und Zumahlstoffen zu Zement. . . . .	355
8.5.3.3	Gesamtprozessoptimierung. . . . .	356
8.5.3.4	Empfehlungen zur energieeffizienten Zementherstellung. . . . .	357
8.5.4	Einsparpotenzialkurve . . . . .	358
8.6	Herstellung von Holzstoff, Karton & Papier & Pappen. . . . .	359
8.6.1	Die Branche . . . . .	360
8.6.2	Grundlagen der Technologie . . . . .	361
8.6.3	Einzelne Prozesse und Maßnahmen. . . . .	365
8.6.3.1	Optimierte Papiertrocknung durch angepasste Temperatur- und Druckparameter. . . . .	365
8.6.3.2	Betriebsoptimierung bei Papiermaschinen . . . . .	367
8.6.3.3	Thermische Verwertung der Schwarzlauge . . . . .	368
8.6.3.4	Empfehlungen zur energieeffizienten Papierherstellung . . . . .	368
8.6.4	Einsparpotenzialkurve . . . . .	369
8.7	Verarbeitung von Metallen. . . . .	371
8.7.1	Gießen . . . . .	371
8.7.1.1	Optimierung des Schmelzens und der Ofentechnologie . . . . .	373
8.7.1.2	Optimierung der Pfannenwirtschaft . . . . .	381
8.7.1.3	Vermeidung von Wärmeverlusten. . . . .	382
8.7.1.4	Optimierung der Form- und Kernherstellung . . . . .	383
8.7.1.5	Erhöhung von Ausbringung und Qualität. . . . .	384
8.7.1.6	Wärmerückgewinnung . . . . .	386
8.7.1.7	Empfehlungen zur energetischen Optimierung des Gießens. . . . .	386
8.7.2	Massivumformen . . . . .	387
8.7.2.1	Erhöhung des Materialausnutzungsgrades . . . . .	388
8.7.2.2	Reduktion der eingesetzten Erwärmungsenergie . . . . .	389
8.7.2.3	Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung . . . . .	390

8.7.2.4	Einsatz effizienter Anlagen und Anlagenkomponenten. . . . .	391
8.7.2.5	Empfehlungen zur energetischen Optimierung des Massivumformens. . . . .	391
8.7.3	Blechumformen . . . . .	392
8.7.3.1	Einsatz effizienter Anlagen und Anlagenkomponenten . . . . .	393
8.7.3.2	Erhöhung des Materialausnutzungsgrades . . . . .	394
8.7.3.3	Einsatz von Schmierstoffen . . . . .	394
8.7.3.4	Betrachtung der gesamten Prozessketten und Anwendung neuer Verfahren . . . . .	395
8.7.3.5	Empfehlungen zur energetischen Optimierung des Blechumformens. . . . .	397
8.8	Verarbeitung von Lebensmitteln . . . . .	397
8.8.1	Die Branche . . . . .	398
8.8.2	Grundlagen der Technologie . . . . .	399
8.8.3	Molkereien . . . . .	399
8.8.4	Brauereien . . . . .	404
8.8.5	Fleischverarbeitenden Industrie. . . . .	408
8.8.6	Großbäckereien . . . . .	411
8.8.7	Einsparpotenzialkurve . . . . .	416
8.9	Verarbeitung von Kunststoffen . . . . .	424
8.9.1	Die Branche . . . . .	424
8.9.2	Grundlagen der Technologie . . . . .	425
8.9.2.1	Produktionsprozessschritte in der Kunststoffverarbeitung . . . . .	425
8.9.2.2	Verfahren zur Formgebung . . . . .	426
8.9.3	Einzelne Prozesse und Maßnahmen. . . . .	430
8.9.3.1	Maßnahmen bei der Vorbehandlung . . . . .	432
8.9.3.2	Maßnahmen im Bereich Extrusion . . . . .	433
8.9.3.3	Maßnahmen im Bereich Spritzguss . . . . .	433
8.9.3.4	Maßnahmen im Bereich Blasformen . . . . .	436
8.9.3.5	Maßnahmen im Bereich des Thermoformens. . . . .	436
8.9.4	Einsparpotenzialkurve . . . . .	437
	Literatur. . . . .	439
<b>9</b>	<b>Energieeffizienz im energiewirtschaftlichen Kontext . . . . .</b>	<b>451</b>
9.1	Perspektiven der Energieeffizienz in Deutschland und Europa . . . . .	451
9.2	Potenziale. . . . .	454
9.2.1	Einsparpotenzial für Deutschland . . . . .	454
9.2.2	Einsparpotenzial für die EU28. . . . .	457
9.3	Hemmnisse bei der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen . . . . .	460
9.3.1	Ursachen für Marktversagen . . . . .	461
9.3.2	Überwindung der Hemmnisse . . . . .	462



---

9.3.2.1	Ansätze für die Überwindung von Hemmnisse am Beispiel der schwedischen Eisen- und Stahlindustrie .....	464
9.3.2.2	Energieeffizienz-Netzwerke .....	466
9.4	Energie- und volkswirtschaftliche Effekte einer stärkeren Energieeffizienzstrategie .....	469
9.4.1	Rebound-Effekt .....	471
9.4.2	Carbon Leakage .....	472
9.4.3	Beschäftigungseffekt .....	474
	Literatur .....	475
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>479</b>
10.1	Generalisierte handlungsleitende Motive .....	480
10.2	Weiterer Forschungsbedarf .....	481
	<b>Anhang</b> .....	<b>485</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>489</b>