

Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben

Egon Müller • Jörg Engelmann • Thomas Löffler
Jörg Strauch

Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben

 Springer

Prof. Dr.-Ing. Egon Müller
Technische Universität Chemnitz
Professur für Fabrikplanung und
Fabrikbetrieb
09107 Chemnitz
egon.mueller@mb.tu-chemnitz.de

Dr.-Ing. Thomas Löffler
Technische Universität Chemnitz
Professur für Fabrikplanung und
Fabrikbetrieb
09107 Chemnitz
thomas.loeffler@mb.tu-chemnitz.de
und
IREGIA e. V.
Reichenhainer Str. 34-36
09126 Chemnitz
loeffler@iregia.de

Dr.-Ing. Jörg Engelmann
Volkswagen Sachsen GmbH
Werktechnik / Umweltplanung
08048 Zwickau
joerg.engelmann@volkswagen.de

Dr.-Ing. Jörg Strauch
Technische Universität Chemnitz
Professur für Fabrikplanung und
Fabrikbetrieb
09107 Chemnitz
joerg.strauch@mb.tu-chemnitz.de

ISBN 978-3-540-89643-2 e-ISBN 978-3-540-89644-9
DOI 10.1007/978-3-540-89644-9
Springer Dordrecht Heidelberg London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: eStudio Calamar S.L., Figueres/Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Vorwort

Die steigenden Energiepreise der letzten Jahre haben sowohl Bürger als auch die Industrie alarmiert. An vielen Stellen wurde begonnen, Konsumgewohnheiten zu überdenken und zu verändern. Energiesparende Produkte gewinnen zunehmend Marktanteile. Mit zahllosen Programmen und Projekten wird auf nahezu allen Gebieten versucht, eine auch künftig ausreichende, bezahlbare und klimaverträgliche Energieversorgung zu sichern. Unter den dazu verfolgten Handlungsansätzen kommt der Steigerung der Energieeffizienz unumstritten eine Schlüsselrolle zu.

Vorliegendes Buch verfolgt das Ziel, den energiepolitischen Handlungsansatz Energieeffizienzsteigerung für die Fabrikplanung und den Fabrikbetrieb zu operationalisieren. Der Fokus richtet sich dabei vor allem auf die Stückgutindustrie mit den für Deutschland und Europa so wichtigen Branchen Maschinenbau und Automobilproduktion. Gerade in diesen Branchen wurde der sparsame Umgang mit dem Produktionsfaktor Energie bisher oft vernachlässigt.

Angesichts der ehrgeizigen politischen Zielstellung – die Energieproduktivität soll sich bis 2020 verdoppeln – werden alle, auch die eher wenig energieintensiven Branchen, einen substanziellen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz leisten müssen. In Folge der veränderten politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen werden auch die Märkte in einem stärkeren Maße energiesparende Produkte und energiesparende Produktionsverfahren nachfragen. Energieeffizienz dürfte sich daher zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor der Zukunft entwickeln.

Eine höhere Energieeffizienz lässt sich in der Industrie kaum durch Einzelmaßnahmen wie die Gebäudedämmung oder die Einführung von Energieeffizienzmotoren erreichen. Ursachen hierfür sind die komplexen technischen Abhängigkeiten in den Fabriken und zahlreiche konkurrierende Zielstellungen wie Produktivität, Flexibilität, Verfügbarkeit, Qualität oder Wartungsfreundlichkeit. Eine große Stärke erfolgreicher Industrieunternehmen war und ist es, solche komplexen Anforderungen in adäquate, individuell angepasste Fabrikstrukturen und Betriebsweisen zu übersetzen. Dies braucht kompetente und kreative Führungskräfte und Mitarbeiter, die künftig verstärkt auch energetisches Know-how in Planung und Betrieb von Fabriken einbringen.

Mit vorliegendem Buch soll dazu beigetragen werden, die Sensibilisierung der Unternehmen für Energiethemen zu erhöhen sowie fachliche und methodische Kompetenzen für eine stärkere Energieeffizienzorientierung beim Planen und Betreiben von Fabriken zu vermitteln. Das Buch richtet sich dabei gleichermaßen an betriebliche Entscheider, Planungs- und Betriebsingenieure und an Studierende, die in diesen Gebieten tätig werden wollen.

Die Inhalte des Buches basieren auf zahlreichen Vorarbeiten, die über viele Jahre in Forschung und Lehre an der Professur für Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Chemnitz geleistet wurden. Die Autoren danken an dieser Stelle Emeritus Prof. Dr. Dr.-Ing. Siegfried Wirth, der innerhalb der Chemnitzer Professur frühzeitig den Schwerpunkt „Fabrikökologie“ etablierte und damit eine langfristige Profilbildung ermöglichte.

Vor allem aktuell laufende und jüngst beendete Forschungsprojekte waren und sind untrennbar mit der Erarbeitung vorliegenden Buches verbunden. Ohne die großzügige Förderung dieser Projekte durch die Europäische Union*, das Bundesministerium für Bildung und Forschung** und das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst*** wären viele Recherchen, Untersuchungen und Erkenntnisgewinne nicht möglich gewesen. Ein großer Dank gebührt auch allen Projektpartnern, von deren vertrauensvoller Kooperation, hohen Kompetenz und Kreativität die wissenschaftliche Arbeit stets profitierte.

Ein besonderer Dank richtet sich an die Volkswagen Sachsen GmbH, namentlich an Herrn Horst Döhler, Leiter Werktechnik. Neben der Dissertation von Dr.-Ing. Jörg Engelmann entstand aus dieser Zusammenarbeit die bereits zum wiederholten Male durchgeführte Fachtagung „Die Energieeffiziente Fabrik in der Automobil-Industrie“. Die vielen interessanten Vorträge und Diskussionen mit den Tagungsteilnehmern waren eine weitere Quelle, aus der vorliegende Arbeit schöpfte.

Für die Ermutigung, dieses Buchprojekt in Angriff zu nehmen, danken wir Frau Eva Hestermann-Beyerle. Als Programmplanerin des Springer-Verlags gewährte sie uns gemeinsam mit Frau Birgit Kollmar-Thoni eine stete und geduldige Unterstützung.

Einen unschätzbaren Beitrag zur Fertigstellung des Buches lieferte Frau Heike Wähler. Ihr danken wir für die sorgfältige Korrektur und die wertvolle Unterstützung bei der Erstellung von Tabellen und Abbildungen. Wertvolle Beiträge lieferten auch Dr.-Ing. Sebastian Horbach, Robert Tästensen und Colin Schönfeld.

Chemnitz und Zwickau im Mai 2009

Egon Müller
Jörg Engelmann
Thomas Löffler
Jörg Strauch

* IEC-SME (Improving Energy Competence on SME level), gefördert im Programm Intelligent Energy Europe und betreut von der Executive Agency for Competitiveness and Innovation

** Projekt PEACH (Planung und Steuerung energieeffizienter Anlagen), gefördert innerhalb des Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA), Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PFT) betreut

*** eniPROD (Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovation in der Produktionstechnik), gefördert als Spitzentechnologiecluster innerhalb der Sächsischen Landesexzellenzinitiative

Inhalt

Inhalt	VII
Verwendete Kurzzeichen	XIII
Formelzeichen	XIII
Einheiten	XV
Vorzeichen der Einheiten	XVI
Chemische Zeichen	XVII
Abkürzungen	XVII
1 Energieeffizienz – Herausforderung an Fabriken des 21. Jahrhunderts	1
1.1 Motivation	1
1.2 Externe Treiber	3
1.2.1 Wirkungsgefüge Fabrik, Umwelt, Gesellschaft	3
1.2.2 Energiepreise	6
1.2.3 Energienachfrage	10
1.2.4 Energiereserven und Versorgungssicherheit	11
1.2.5 Energie und Umweltbelastungen	13
1.2.6 Energie und Politik	17
1.3 Interne Treiber	21
1.4 Status quo in Industrie und Wissenschaft	22
1.4.1 Energieverbrauch und Einsparpotenziale	22
1.4.2 Energiekompetenzen in der Industrie	24
1.4.3 Energieberatung	29
1.4.4 Energieeffizienz in den Betriebswissenschaften	29
1.5 Zusammenfassung	30
Literatur	32
2 Beschreibungsmodelle der Fabrik	35
2.1 Definition und Bedarf an Fabrikmodellen	35
2.2 Die Fabrik als System	35
2.2.1 Systemtheoretische Grundlagen	35
2.2.2 Definition der Fabrik als System	37
2.2.3 Hierarchische Ordnung der Fabrik	41
2.2.4 Periphere Ordnung der Fabrik	43
2.3 Die Fabrik in der Lieferkette	47
2.4 Die Fabrik – Station im Produktlebensweg	50
2.5 Der Fabriklebenszyklus	53
2.6 Führungs- und Zielsystem	57

2.7 Zusammenfassung	64
Literatur	65
3 Energetische Grundlagen	67
3.1 Physikalische Grundzusammenhänge	67
3.2 Energieumwandlungskette	72
3.3 Grundlagen ausgewählter Formen der Energie und Arbeit	77
3.3.1 Mechanische Energie und mechanische Arbeit	77
3.3.2 Thermische Energie und Wärme	79
3.3.3 Elektrische Energie und elektrische Arbeit	83
3.4 Energiewirtschaftliche Grundlagen	89
3.4.1 Elektrizitätswirtschaft	89
3.4.1.1 Struktur der Elektrizitätswirtschaft	89
3.4.1.2 Energiewirtschaftliche Verträge und Tarife	92
3.4.1.3 Netzqualität	97
3.4.2 Gaswirtschaft	101
3.5 Zusammenfassung	105
Literatur	108
4 Planung energieeffizienter Fabriken.....	109
4.1 Methodische Grundlagen der Fabrikplanung	109
4.1.1 Begriff und Abgrenzung	109
4.1.2 Vorgehensweise der Fabrikplanung	110
4.1.2.1 Planungsphasen	110
4.1.2.2 Planungsaktivitäten	111
4.1.2.3 Planungsschritte	113
4.1.3 Planungsgrundsätze	118
4.1.4 Energieeffizienz als neue Planungsanforderung	120
4.2 Integration von Energieeffizienz-Aspekten in die Fabrikplanung	121
4.2.1 Handlungsansätze zur Energieeffizienz-Steigerung	121
4.2.1.1 Überblick	121
4.2.1.2 Substitution der eingesetzten Energieträger	124
4.2.1.3 Minderung des Bedarfs an Nutzenergie	124
4.2.1.4 Steigerung des Wirkungsgrads	125
4.2.1.5 Reduktion von Verlusten	127
4.2.1.6 Energierückgewinnung	128
4.2.1.7 Weiternutzung von Anfall-Energie	128
4.2.2 Rückkopplung zwischen Fabrikplanung und Fabrikbetrieb	128
4.2.3 Simultane Produkt-, Prozess- und Anlagenplanung	130
4.3 Methodik zur energieeffizienzorientierten Fabrikplanung	131
4.3.1 Überblick	131
4.3.2 Planungsaktivität Systemanalyse	133
4.3.3 Planungsaktivität Systemkonzipierung	137
4.3.4 Planungsaktivität Systemsynthese und Integration	138
4.3.4.1 Überblick	138

4.3.4.2 Funktionsbestimmung.....	139
4.3.4.3 Dimensionierung.....	143
4.3.4.4 Strukturierung.....	148
4.3.4.5 Gestaltung.....	149
4.3.5 Planungsaktivität Begleitung der Systemrealisierung.....	150
4.3.6 Nutzung.....	156
Literatur.....	157
5 Energierrelevante Prozesse und Anlagen.....	159
5.1 Überblick.....	159
5.2 Anlagen zur Übertragung und Nutzung von Elektroenergie.....	160
5.2.1 Betriebliche Elektroenergieverteilung.....	160
5.2.1.1 Einspeisung und Umspannung.....	160
5.2.1.2 Blindleistungskompensation.....	166
5.2.2 Anlagen zur Elektroenergie-Anwendung.....	167
5.2.2.1 Elektromechanische Antriebe.....	167
5.2.2.2 Druckluft.....	173
5.2.2.3 Beleuchtung.....	183
5.2.2.4 Thermische Energie aus Elektroenergie.....	189
5.2.2.5 Sonstige aus Elektroenergie gewandelte Energiearten.....	190
5.2.2.6 Informations-, Kommunikations- und Steuerungstechnik.....	191
5.3 Prozesswärme.....	192
5.3.1 Anwendung.....	192
5.3.2 Erzeugung von Prozesswärme.....	194
5.3.3 Wärmerückgewinnung.....	199
5.3.4 Übertragung von Prozesswärme.....	201
5.3.5 Nutzung von Prozesswärme.....	202
5.3.6 Zusammenfassung.....	202
5.4 Prozesskälte.....	203
5.4.1 Anwendung.....	203
5.4.2 Erzeugung.....	204
5.4.3 Zusammenfassung.....	208
5.5 Heizung, Lüftung, Klimatisierung.....	208
5.5.1 Funktion.....	208
5.5.1.1 Überblick.....	208
5.5.1.2 Physiologische Anforderungen.....	210
5.5.1.3 Technologische Anforderungen.....	213
5.5.1.4 Anforderungen des Umweltschutzes.....	214
5.5.2 Planung von HLK-Anlagen.....	215
5.5.2.1 Überblick.....	215
5.5.2.2 Detaillieren der Aufgabenstellung.....	216
5.5.2.3 Minderung der Belastung.....	217
5.5.2.4 Konzeption der Lüftung.....	218
5.5.2.5 Konzeption der Heizung.....	226
5.5.3 Zusammenfassung.....	229

5.6 Gebäude	232
5.6.1 Überblick	232
5.6.2 Gebäudeanordnung und -ausrichtung	233
5.6.3 Gebäudegestalt	235
5.6.4 Gebäudezonierung	238
5.6.5 Gebäudekonstruktion	239
5.6.6 Fenster, Türen, Tore	246
5.6.7 Zusammenfassung	250
Literatur	252
6 Analyse und Bewertung des Energieverbrauchs	255
6.1 Messkonzept	255
6.2 Messgrößen und Messwertaufnehmer	261
6.3 Messwertverarbeitung	262
6.4 Messwertauswertung	264
6.4.1 Verbraucherstrukturanalyse	264
6.4.2 Ganglinien und Dauerlinien	268
6.4.3 Analyse von Realisierungschancen	274
6.5 Spezielle Messverfahren und Messgeräte	275
6.5.1 Elektroenergie	275
6.5.1.1 Überblick	275
6.5.1.2 Multimeter-Datenlogger als mobiles Universalmessgerät	276
6.5.1.3 Fest installierte Messgeräte	278
6.5.2 Druckluft	280
6.5.2.1 Überblick	280
6.5.2.2 Kalorimetrische Durchflussmessung	281
6.5.2.3 Ermittlung der Leckagevolumen und Leckagerate	282
Literatur	285
7 Zusammenfassung und Ausblick	287
Glossar	291
Anhang A: Checkliste Energiekompetenz	301
A.0 Einführung	301
A.1 Stammdaten	302
A.2 Energieverbrauch	303
A.3 Elektroenergie	304
A.3.1 Strombezug	304
A.3.2 Stromeinspeisung/-transformation	305
A.3.3 Blindstromkompensation	306
A.3.4 Motoren und Antriebe	307
A.3.5 Druckluft	310
A.3.6 Beleuchtung	314
A.3.7 Bürotechnik, Informationsverarbeitung und -übertragung	316

A.4 Thermische Energie	317
A.4.1 Prozesswärme	317
A.4.2 Prozesskälte	318
A.4.3 Gebäudeheizung	320
A.4.4 Dezentrale Warmwasserbereitung	323
A.4.5 Raumlüftung	323
A.4.6 Kraft-Wärme-Kopplung	325
A.4.7 Wärmerückgewinnung	326
A.5 Erneuerbare Energien	326
A.6 Gebäudehülle	328
Anhang B: Investitionsrechnung	331
Literatur	334
Sachwortverzeichnis.....	335

Verwendete Kurzzeichen

Formelzeichen

Zeichen		Größe
$\cos \varphi$...	Leistungsfaktor
α	...	Wärmeübergangszahl
α	...	Bindungsfaktor für Base-Anteil (Arbeitspreiskalkulation)
β	...	Bindungsfaktor für Peak-Anteil (Arbeitspreiskalkulation)
ε	...	Emissionsgrad
η	...	Wirkungsgrad, Nutzungsgrad
λ	...	Wärmeleitfähigkeit (Wärmeleitzahl)
μ	...	Reibungszahl
μ_s	...	Belastungsgrad
φ	...	Phasenverschiebungswinkel
Φ	...	Lichtstrom
ρ	...	spezifischer elektrischer Widerstand
ρ	...	Reflexionsgrad
ρ	...	Rohdichte
ω	...	Winkelgeschwindigkeit
a	...	Auszahlung
a	...	Beschleunigung
A	...	Fläche
AP	...	Arbeitspreis
b	...	Breite
b	...	Wärmeeindringkoeffizient
c	...	Schadstoffkonzentration
c	...	spezifische Wärmekapazität
c_s	...	spezifische Schmelzwärme
c_v	...	spezifische Verdampfungswärme
C	...	Wärmekapazität
C_s	...	Strahlungszahl des schwarzen Körpers
d	...	Schichtdicke
E	...	Beleuchtungsstärke
e	...	Einzahlung
E	...	Energie
f_p	...	Primärenergiefaktor
F	...	Frequenz
F	...	Kraft

XIV Verwendete Kurzzeichen

G	...	Eigenabweichung des Messgeräts
g	...	Erdbeschleunigung
g	...	Gleichzeitigkeitsfaktor
h	...	Höhe
H_S	...	Brennwert
i	...	Kalkulationszinssatz
I	...	Lichtstärke
I	...	Stromstärke
J	...	Trägheitsmoment
k	...	Bindungsfaktor
k	...	Raumfaktor
K	...	Kosten
KW	...	Kapitalwert
l	...	Länge
L	...	Indexpreis
L	...	Leuchtdichte
L_{LP}	...	Lichtpunkthöhe
LP	...	Leistungspreis
LR	...	Leckagerate
m	...	Masse
M	...	Drehmoment
n	...	Anzahl, Stückzahl
n	...	Drehzahl
n	...	Nutzungsgrad
N	...	Nachlass
p	...	Druck
P	...	Leistung, elektrische Wirkleistung
P	...	Flickerstärke
P_0	...	Leerlaufverlust (Transformator)
P_{el}	...	elektrische Leistung
P_K	...	Kurzschlussverlust (Transformator)
P_r	...	Bemessungsleistung
P_V	...	Verlustleistung
Q	...	Blindleistung
Q	...	Ladung
Q	...	Wärme (Wärmemenge)
\dot{Q}	...	Wärmestrom
r	...	Radius
R	...	elektrischer Widerstand, Wärmedurchlasswiderstand
R	...	spezifische Gaskonstante
R_T	...	Wärmedurchgangswiderstand

s	...	Schichtdicke
s	...	Wärmespeicherzahl
s	...	Weg
S	...	Scheinleistung
t	...	Anzahl der Perioden
t	...	Zeit
T	...	Periode
T	...	Temperatur
u	...	Momentanspannung
\hat{u}	...	Scheitelwert
U	...	Spannung
U	...	Wärmedurchgangskoeffizient
v	...	Geschwindigkeit
V	...	Volumen
\dot{V}	...	Volumenstrom
W	...	Arbeit, auch Energie
WF	...	Wartungsfaktor (früher Verminderungsfaktor)
x	...	Messwert
z	...	Anzahl
z	...	Zahlung
z_0	...	Gegenwartswert, Barwert

Einheiten

Symbol	Einheit
°C	... Grad Celsius
€	... Euro
\$... US-Dollar
a	... Jahr
A	... Ampere
bar	... Bar
cal	... Kalorie
cd	... Candela
d	... Tag
eV	... Elektronenvolt
g	... Gramm
h	... Stunde
Hz	... Hertz
J	... Joule

XVI Verwendete Kurzzeichen

K	...	Kelvin
l	...	Liter
lm	...	Lumen
lux	...	Lux
m	...	Meter
m ³	...	Kubikmeter
min	...	Minute
N	...	Newton
Nm	...	Newtonmeter
pm	...	Pondmeter
RÖE	...	Rohöleinheit
s	...	Sekunde
SKE	...	Steinkohleneinheiten
t	...	Tonne
toe	...	tonnes oil equivalent, Tonnen Erdöläquivalent
V	...	Volt
VA	...	Voltampere
VAh	...	Voltamperestunde
var	...	Var
W	...	Watt
Wh	...	Wattstunde
Ws	...	Wattsekunde

Vorzeichen der Einheiten

Vorsilbe der Einheit	Vorzeichen	Faktor	Faktor in Worten
Peta	P	10 ¹⁵	Billiarde
Tera	T	10 ¹²	Billion
Giga	G	10 ⁹	Milliarde
Mega	M	10 ⁶	Million
Kilo	k	10 ³	Tausend
Dezi	d	10 ⁻¹	Hundertstel
Zenti	c	10 ⁻²	Zehntel
Milli	m	10 ⁻³	Tausendstel
Mikro	μ	10 ⁻⁶	Millionstel
Nano	n	10 ⁻⁹	Milliardstel

Chemische Zeichen

Symbol		Stoff
CH ₄	...	Methan
CO ₂	...	Kohlendioxid
Cu	...	Kupfer
Fe	...	Eisen
H	...	Wasserstoff
H ₂ O	...	Wasser
NH ₃	...	Ammoniak
N ₂ O	...	Distickstoffoxid, Lachgas
NO _x	...	Stickoxide
O ₃	...	Ozon
P	...	Phosphor
SO ₂	...	Schwefeldioxid

Abkürzungen

Abk.		Wort (ggf. Übersetzung)
AC	...	Alternating current (Wechselstrom)
AGW	...	Arbeitsplatzgrenzwert
AP	...	Acidification Potential (Versauerungspotenzial)
B	...	Bereitstellung
BGR	...	Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BHKW	...	Blockheizkraftwerk
BImSchG	...	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMU	...	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	...	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CAT	...	Kategorie
CBN	...	Cubic boron nitride (Kubisches Bornitrid)
CE	...	Conformité Européenne (Übereinstimmung mit EU-Richtlinien)
CEMEP	...	Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics
CIE	...	Commission internationale de l'éclairage (Internationale Beleuchtungskommission)
CKW	...	Chlorkohlenwasserstoffe
CNC	...	Computerized Numerical Control
DC	...	Direct current (Gleichstrom)
DIN	...	Deutsches Institut für Normung

XVIII Verwendete Kurzzeichen

DL	...	Druckluft
DN	...	Nenn Durchmesser
DNC	...	Distributed Numerical Control oder Direct Numerical Control
EDL-RL	...	Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen-Richtlinie
EDV	...	Elektronische Datenverarbeitung
EEG	...	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEl	...	Energy Efficiency Index
EEX	...	European Energy Exchange (Europäische Strombörse)
EG	...	Europäische Gemeinschaft
EL	...	Extra leicht
Elt	...	Elektroenergie
EMV	...	Elektromagnetische Verträglichkeit
EMVG	...	Elektromagnetische-Verträglichkeits-Gesetz
EMVG	...	Elektromagnetische-Verträglichkeit-von-Betriebsmitteln-Gesetz
EN	...	Europäische Norm
EnEV	...	Energieeinsparverordnung
EnWG	...	Energiewirtschaftsgesetz
EOP	...	End of Production
ER	...	Europäischer Rat
EU	...	Europäische Union
EuP	...	Eco-Design Requirements for Energy Using Products
EVG	...	Elektronisches Vorschaltgerät
EVU	...	Energieversorgungsunternehmen
FCKW	...	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FIAT	...	Fabbrica Italiana Automobili Torino (Italienische Autofabrik Turin)
G8	...	Gruppe der Acht
GUS	...	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
GWP	...	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
H	...	High Gas
HEL	...	Leichtes Heizöl
HLK	...	Heizung, Lüftung, Klima
HSC	...	High Speed Cutting (Hochgeschwindigkeitsbearbeitung)
HSL	...	Schweres Heizöl
HT	...	Hochtarif
IEC	...	International Electrotechnical Commission
Im	...	imaginäre Achse (im Zeigerdiagramm)
IPCC	...	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
ISI	...	Institut für System- und Innovationsforschung
ISO	...	International Standard Organisation
IT	...	Information Technology

KfW	...	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMU	...	Kleine und Mittlere Unternehmen
KSS	...	Kühlschmierstoff
KVG	...	Konventionelles Vorschaltgerät
KW	...	Kaltwasser
KWK	...	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	...	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
L	...	Low Gas
L1 (L2, L3)	...	Phasenleiter 1 (Phasenleiter 2, Phasenleiter 3)
LCC	...	Life Cycle Costing (Lebenszykluskostenoptimierung)
LCD	...	Liquid Crystal Display (Flüssigkristallbildschirm)
LED	...	Light Emitting Diodes (Lichtemittierende Dioden)
LEF	...	Leuchteffizienzfaktor
LiTG	...	Lichttechnische Gesellschaft
LNG	...	Liquified Natural Gas
LON	...	Local Operating Network
LPG	...	Liquified Petroleum Gas, Flüssiggas
MAK	...	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MAG	...	Metall-Aktivgas-Schweißen
M-Bus	...	Metering-Bus (Mess-Bus)
MCP	...	Motor Challenge Programm
ME	...	Markteinführung
N	...	Nullleiter
NACE	...	Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne
Nordic	...	Nordic Council of Ministers
NSG	...	Niedersächsische Gesellschaft zur Endlagerung von Sonderabfall
NT	...	Niedertarif
NT	...	Niedertemperatur
ODP	...	Ozone Deletion Potential (Ozonzerstörungspotenzial)
OECD	...	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
PC	...	Personalcomputer
PCB	...	Polychlorierte Diphenyle
PCDD	...	Polychlorierte Dibenzodioxine
PCDF	...	Polychlorierte Dibenzofurane
ppm	...	Parts per Million
PTB	...	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Re	...	reelle Achse im Zeigerdiagramm
RL	...	Richtlinie
RL-	...	Rentabilität-Liquidität im Rentabilitäts-Liquiditäts-Kennzahlensystem

XX Verwendete Kurzzeichen

ROI	...	Return on Investment (Kapitalrendite)
SAENA	...	Sächsische Energieagentur
SCOR	...	Supply Chain Operation Reference Model
SETAC	...	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SI	...	Système international d'unités (Internationales Einheitensystem)
SOP	...	Start of Production
SPS	...	Speicherprogrammierbare Steuerung
SWOT	...	Strengths-Weaknesses- and Opportunities-Threats-Analysis (Stärken-Schwächen- und Chancen-Gefahren-Analyse)
TA	...	Technische Anleitung
THD	...	Total Harmonic Distortion (Gesamtoberschwingungsgehalt)
TRGS	...	Technische Richtlinie für Gefahrstoffe
TRK	...	Technische Richtkonzentration
UBA	...	Umweltbundesamt
UN	...	United Nations (Vereinte Nationen)
UNCED	...	United Nations Conference on Environment and Development (Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung)
UV	...	Ultraviolett
VDI	...	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	...	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
VOC	...	Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Substanzen
VVG	...	Verlustarmes Vorschaltgerät
WLG	...	Wärmeleitfähigkeitsgruppe
ZVEI	...	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

1 Energieeffizienz – Herausforderung an Fabriken des 21. Jahrhunderts

1.1 Motivation

Am Übergang in das 21. Jahrhundert stößt die Industriegesellschaft zunehmend an natürliche Grenzen ihrer Entwicklung. Bereits 1972 wies der Club of Rome¹ in seinem Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ auf die Endlichkeit der Rohstoffvorkommen hin (Meadows et al. 1972). Zwanzig Jahre später betonten dieselben Autoren die „Neuen Grenzen des Wachstums“, die in der begrenzten Aufnahmefähigkeit unserer Erde für anthropogen verursachte Stoff- und Energieeinträge – also für Emissionen, Abfall und Abwasser – liegen (Meadows et al. 1992).

Ein Ausdruck für diese zweifache Verknappung – einerseits der natürlichen Ressourcen und andererseits der Belastbarkeit der Umwelt – ist der dramatische Anstieg der Energiepreise während der letzten Jahre (s. Abschn. 1.2.2). Dieser Preisanstieg hat in vielen produzierenden Unternehmen bereits eine hohe Sensibilität und intensive Beschäftigung mit dem Thema Energie ausgelöst.

Energie spielt innerhalb der natürlichen Ressourcen generell eine besondere Rolle: Während stoffliche Ressourcen auf der Erde nicht wirklich verloren gehen können – sie lassen sich im Prinzip immer wieder recyceln –, wird Energie bei ihrer Nutzung nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik stets irreversibel „entwertet“ (s. Abschn. 3.1). Die auf der Erde vorhandenen Energieressourcen lassen sich also nur „einmal“ nutzen. Eine dauerhafte Energiezufuhr an „das System Erde“ liefert nur die Sonne, weshalb die Nutzung der Sonnenenergie² aus systemischer Sicht zu bevorzugen ist.

Noch beruht die weltweite Energieversorgung jedoch maßgeblich auf den endlich vorhandenen, fossilen Energieträgern wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Diese Energieträger sind in Jahrtausenden Erdgeschichte entstanden, werden aber seit der Industrialisierung in einem rasanten Tempo verbraucht. Künftige Generationen können daher nur noch begrenzt auf diese Energiequellen zurückgreifen. Nochmals forciert wird der Verbrauch fossiler Energieträger durch den wachsenden Bedarf in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Ein weiteres Problem der fossilen Energieversorgung ist die Konzentration der wichtigsten Lagerstätten auf wenige Regionen der Welt. Diese führt zu politischen und militärischen Konflikten und in der Folge zu einer wankenden Versorgungssicherheit vor allem in den

¹ Vereinigung von Vertretern und Vertreterinnen aus Wissenschaft, Kultur, Wirtschaft und Politik, die sich für eine lebenswerte und nachhaltige Zukunft der Menschheit einsetzen. Gegründet 1968 auf Initiative von Aurelio Peccei (FIAT, Olivetti) und Alexander King (OECD).

² Die Sonneneinstrahlung kann direkt durch Solarthermie und Fotovoltaik genutzt werden, treibt aber auch indirekt Wind, Wasserkreislauf und das Wachstum der Biomasse an, so dass auch diese regenerativen Energien eine gewandelte Form von Sonnenenergie darstellen.

Energie importierenden Ländern. Nicht zuletzt ist die Nutzung fossiler Energieträger stets mit Verbrennungsprozessen verbunden. Dabei entsteht Kohlendioxid (CO₂), dessen steigende Konzentration in der Atmosphäre maßgeblich für die Klimaerwärmung verantwortlich gemacht wird.

Alternativen zur fossilen Energieversorgung bieten Atomkraft und regenerative Energien. Im Fall der Atomenergie bestehen erhebliche Vorbehalte bezüglich der Störfallsicherheit der Anlagen, der missbräuchlichen Verwendung des radioaktiven Materials für kriminelle, terroristische oder militärische Zwecke und der ungeklärten Endlagerung des atomaren Abfalls. Auch die Reichweite des Kernbrennstoffs Uran gilt als begrenzt. Regenerative Energien haben in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Sonnenenergie, Erdwärme, Wind- und Wasserkraft, Biomasse sowie Gezeiten werden durch neue und ausgereifere Technologien sowie durch Skaleneffekte immer konkurrenzfähiger. Subventionen und eine Neuorientierung auf den Finanzmärkten befördern diese Entwicklung. Regenerative Energien können die fossilen Energiequellen aber derzeit noch nicht im vollen Umfang, zu vergleichbaren Preisen und mit der gleichen Verfügbarkeit ersetzen (z. B. Abhängigkeit von Wind und Sonnenscheindauer).

In dieser Situation ist es geradezu vordringlich, die Nachfrage nach Energie insgesamt zu bremsen. Sollen Wohlstand und Entwicklungschancen nicht gefährdet werden, verlangt dies eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz.

Energieeffizienz heißt, einen gewünschten Nutzen (Produkte oder Dienstleistungen) mit möglichst wenig Energieeinsatz herzustellen oder aus einem bestimmten Energieeinsatz möglichst viel Nutzen zu ziehen.

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Energieeinsatz}} \quad (1.1)$$

Das erste Kapitel dieses Buches will das eben umschriebene Problemfeld spezifisch für das Gebiet der Fabrikplanung und des Fabrikbetriebs darstellen und wichtige Zusammenhänge verdeutlichen. Welche externen und internen Treiber führen zu der Forderung nach höherer Energieeffizienz (s. Abschn. 1.2 und 1.3)? Wie ist der Status quo in der produzierenden Wirtschaft? Warum verdient das Thema Energieeffizienz beim Planen und Betreiben von Fabriken besondere Aufmerksamkeit (s. Abschn. 1.4)?

1.2 Externe Treiber

1.2.1 Wirkungsgefüge Fabrik, Umwelt, Gesellschaft

Um zu verstehen, welche externen Treiber die produzierenden Unternehmen bzw. Fabriken auf welche Weise beeinflussen, lohnt zunächst ein Blick auf die Wechselwirkungen Fabrik, Umwelt und Gesellschaft. Dafür bietet es sich an – in Anlehnung an Vorgehensweisen im Umweltmanagement –, die Fabrik bzw. Produktion als eine Station im Lebensweg von Produkten anzusehen. Der Produktlebensweg ist der physische Werdegang eines Produkts von der „Wiege bis zur Bahre“ über die Produktlebensphasen Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, Produktion, Gebrauch und Entsorgung.³

Abbildung 1.1 zeigt, wie jede Phase auf die Umwelt einwirkt und dabei schädliche, störende oder beeinträchtigende Umweltwirkungen hervorruft. Die Umweltwirkungen schädigen oder beeinträchtigen die Interessen verschiedener Menschengruppen, die entsprechende Ansprüche an Politik und Gesellschaft richten. Besonders durch rechtliche Vorschriften und verändertes Marktverhalten werden schließlich auch die Planung und der Betrieb von Fabriken beeinflusst.

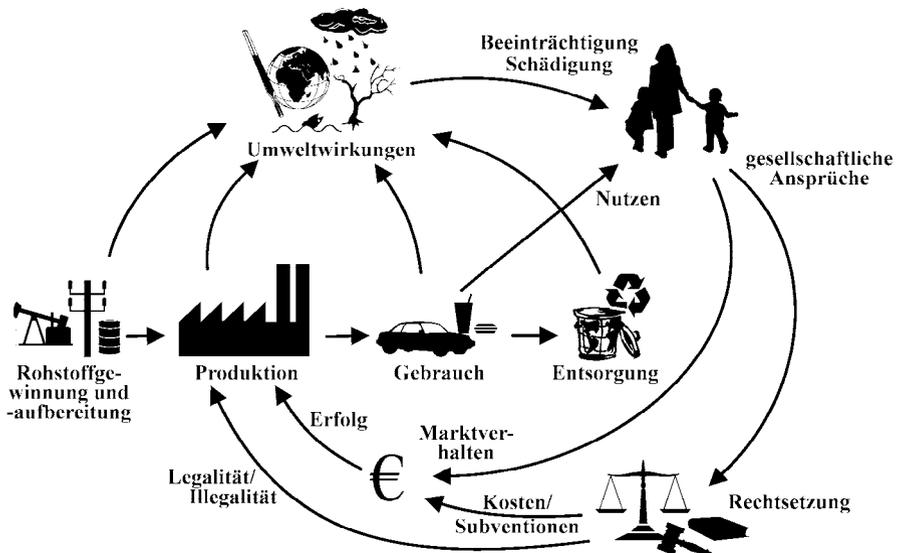


Abb. 1.1. Wechselwirkungen zwischen Produktion, Umwelt und Gesellschaft (Löffler 2003)

³ Davon zu unterscheiden ist der Produktlebenszyklus, der die Existenz eines Produkts am Markt beschreibt. Die Produktlebenszyklusphasen reichen von der Produktidee über die Produktentwicklung, Konstruktion, Markteinführung etc. bis zur Produktaufgabe.

Die Umweltbeeinflussungen erfolgen durch:

- die Entnahme von Stoffen und Energie aus der Umwelt,
- die Zufuhr von Stoffen und Energie in die Umwelt sowie
- die Inanspruchnahme von Boden und Landschaft.

Dies führt zu verschiedenen physikalischen, chemischen, biologischen oder klimatischen Effekten in der Umwelt, die als Umweltwirkungen bezeichnet und nach Umweltwirkungskategorien unterschieden werden. Im Abschn. 1.2.5 ist eine Auswahl der wichtigsten Umweltwirkungskategorien, die mit der Energienutzung zusammenhängen, beschrieben.

Die Umweltwirkungen können je nach Art und Ausmaß:

- die Gesundheit und das Leben des Menschen, die Existenz von Tieren und Pflanzen, den Zustand der Umweltmedien Boden, Wasser und Luft sowie Sachwerte schädigen,
- die Annehmlichkeit des Menschen beeinträchtigen und
- legitime Umweltnutzungsansprüche verletzen.⁴

Auf Grund manifester oder drohender Schädigungen oder Beeinträchtigungen formulieren verschiedene gesellschaftliche Interessengruppen ihre Ansprüche an den unternehmerischen Umweltschutz. In Tabelle 1.1 sind maßgebliche Interessengruppen, deren Interessen und Handlungsmöglichkeiten dokumentiert.

Tabelle 1.1. Anspruchsgruppen

Anspruchsgruppe	Ansprüche
Eigenkapitalgeber	Aktionäre, Anteilseigner, Kommanditisten etc. sind an Sicherheit und Ertrag ihres investierten Kapitals interessiert. Akute Sachverluste durch Störfälle, hohe Energie- bzw. Umweltkosten, geringe Absatzvolumina auf Grund eines schlechten Images senken die Attraktivität für Kapitalanleger. Zudem können Eigenkapitalgeber auch aus ethischen Wertvorstellungen heraus ihre „leistbare Verantwortung“ (Steger 1993) wahrnehmen und ökologische Ziele verfolgen. Mittlerweile wird die soziale, ökologische und wirtschaftliche Nachhaltigkeit von börsennotierten Unternehmen mit dem Dow Jones Sustainability Group World Index bewertet.
Fremdkapitalgeber	Kreditoren sind ebenso wie Eigenkapitalgeber an der Sicherheit von Investition und Ertrag interessiert. Die Kreditinstitute führen vor Vergabe von Krediten eine Risikoanalyse durch, die auch Preisrisiken (Energiepreise) und das Risiko von Störfällen umfasst.
Unternehmer	Er trägt die Verantwortung für Kosten und Erlöse. Der Unternehmer ist zudem straf- und zivilrechtlich für eigene Versäumnisse aber auch für mangelhafte Organisation verantwortlich.
Konkurrenten	Konkurrenten können ökologische Themen in den Wettbewerb einführen und umweltschutzbezogene Marktfelder eröffnen. Mit Ökolabels und Zertifikaten können sie zusätzliche Verkaufsargumente schaffen.

⁴ in Anlehnung an Artikel 2 (2) EU-Richtlinie über die Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

Kunden/Konsumenten	Obwohl ein hoher Prozentsatz der Bevölkerung um die Umwelt besorgt ist, sind nur wenige Kunden bereit, höhere Preise für umweltverträgliche Produkte zu zahlen. Dagegen dürften erheblich mehr Kunden bewusst auf Produkte verzichten, denen ein deutlich negatives Umweltimage anhaftet. Umweltbewusst handelnde Endkonsumenten orientieren sich an Testergebnissen, Produktkennzeichnungen (z. B. Energieeffizienzklassen) und Produktinformationen.
Kunden/gewerbliche Abnehmer	Baugruppen- und Finalproduzenten, die ein anspruchsvolles Umweltmanagementsystem nach Umweltauditgesetz oder ISO 14.001 ff. betreiben, verlangen von ihren Lieferanten einen dokumentierten und ständig verbesserten Umweltschutz.
Mitarbeiter	Vorbildliches Verhalten des Unternehmens auch in Fragen der sparsamen Energieverwendung und des Umweltschutzes bewahrt die Mitarbeiter vor Loyalitätskonflikten. Vorbildlicher Umweltschutz trägt dazu bei, die Mitarbeiter zu in jeder Hinsicht exzellenter Arbeit zu motivieren (Schlotmann 1998).
Nachbarn	Nachbarn können durch Umweltwirkungen der Fabrik geschädigt werden und Haftungsansprüche geltend machen.
Staat	Der Staat muss entsprechend seiner verfassungsrechtlichen Verpflichtung und ausgehend von internationalem und EU-Recht das Leben und die Gesundheit der Menschen sowie die Umwelt schützen. Dazu wurde eine Reihe rechtlicher Vorschriften erlassen. Deren Einhaltung ist durch Polizei, Behörden und Justiz durchzusetzen. Darüber hinaus stellen Fachbehörden und -agenturen (Umweltbundesamt, Deutsche Energieagentur) Informationen zur Verfügung und koordinieren die einschlägige Forschung.
Umweltverbände	Umweltverbände können in bestimmten öffentlichen Planungsverfahren als Träger öffentlicher Belange auftreten, um dort die Interessen des Umweltschutzes wahrzunehmen. Umweltverbände beeinflussen das Verhalten von Käufern und Kapitalgebern durch Informationen, sie organisieren Boykotte stark umweltschädigender Produkte und Unternehmen bzw. fördern umweltverträgliche Produkte und Wirtschaftsweisen.
Versicherungen	Versicherungen können Risiken für Schäden, die dem Unternehmen durch Umwelteinflüsse entstehen, und für Umwelthaftungsansprüche an das Unternehmen übernehmen. Das Umwelthaftungsgesetz zwingt ausdrücklich zur Deckungsvorsorge. Um die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts und das Schadensausmaß gering zu halten, stellen die Versicherungen Anforderungen an den vorbeugenden Umweltschutz und differenzieren die Prämienhöhe nach der Höhe des Risikos.

Die gesellschaftlichen Ansprüche münden maßgeblich in rechtliche Vorschriften und in ökologisch motiviertes Marktverhalten.

Das Recht, insbesondere das Umweltrecht, stellt Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Fabriken. Diese äußern sich u. a. durch Einsatzverbote, Nutzungsbeschränkungen, Prüf-, Anzeige-, Erlaubnis- und Genehmigungspflichten sowie in Vorschriften zur technischen Gestaltung. Die Einhaltung der rechtlichen Vorschriften entscheidet mit über die Legalität der Errichtung und des Betriebs von Fabriken. Gleichzeitig verursachen rechtliche Vorschriften zusätzliche Kosten bei der Planung, Realisierung und im Betrieb (z. B. Investition in Abluft- oder Abwasserreinigung, höhere Genehmigungskosten für besonders genehmi-

gungsbedürftige Anlagen, Umweltabgaben). Für innovative umweltschonende Lösungen werden jedoch auch Subventionen gewährt (z. B. Kredite und Zuschüsse für Investitionen in energiesparende Anlagen).

Kosten und Erlöse des Unternehmens werden zusätzlich auch vom ökologisch motivierten Marktverhalten beeinflusst. Hierzu zählen ökologisch begründete Änderungen im Kaufverhalten, in Kreditvergaberichtlinien, im Anlageverhalten und bei der Risikobewertung durch Versicherungen.

Diese Einflüsse auf die Legalität und den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens können als Rückkopplungen auf die vom Unternehmen verursachten Umweltwirkungen verstanden werden. Der sich so ergebende Regelkreis „zwingt“ die Unternehmen dazu, schädlichen Umweltwirkungen vorzubeugen. Auf Grund langer Reaktionszeiten (z. B. Inkubationszeiten der Umweltwirkungen, Erkenntnis- und Meinungsbildungsprozesse in der Gesellschaft) und komplexer Zusammenhänge (z. B. multifaktorielle Ursachen für den Klimawandel, multikriterielle Entscheidungen in der Energiepolitik) ist diese Regelwirkung meist nur als langfristiger Wandel der Rahmenbedingungen spürbar. Dieser Wandel hat sich in den letzten Jahren im Bereich der Energie durch die breite Anerkennung der Herausforderungen der Klimaerwärmung und der Ressourcenverknappung vollzogen. Nachfolgend werden folgende externe Treiber für eine Steigerung der Energieeffizienz näher erläutert:

- steigende Energiepreise,
- wachsende Energienachfrage,
- sinkende Energiereserven und Versorgungssicherheit,
- nachgewiesene Umweltbelastungen aus Energieerzeugung und -nutzung sowie
- Restriktionen der Politik.

1.2.2 Energiepreise

Der Anstieg der Energiepreise in den vergangenen Jahren war für viele produzierende Unternehmen der entscheidende externe Treiber, um sich mit den Themen Energienutzung und Energieeffizienz zu beschäftigen. Die Abb. 1.2 und 1.3 zeigen die jüngere Entwicklung der Strom-⁵ und Gaspreise für Industriekunden bzw. der Preise für Diesel und Benzin.

⁵ Bis 2000 sanken die Preise in Folge des stärkeren Wettbewerbs eines liberalisierten Strommarkts.

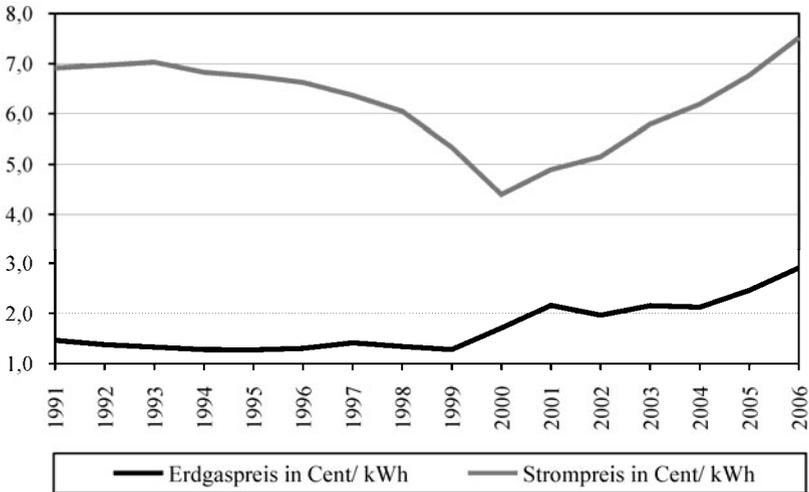


Abb. 1.2. Entwicklung der Strom- und Erdgaspreise für Industriekunden in Cent pro kWh (ohne MwSt.), eigene Darstellung nach (BMWi 2008)

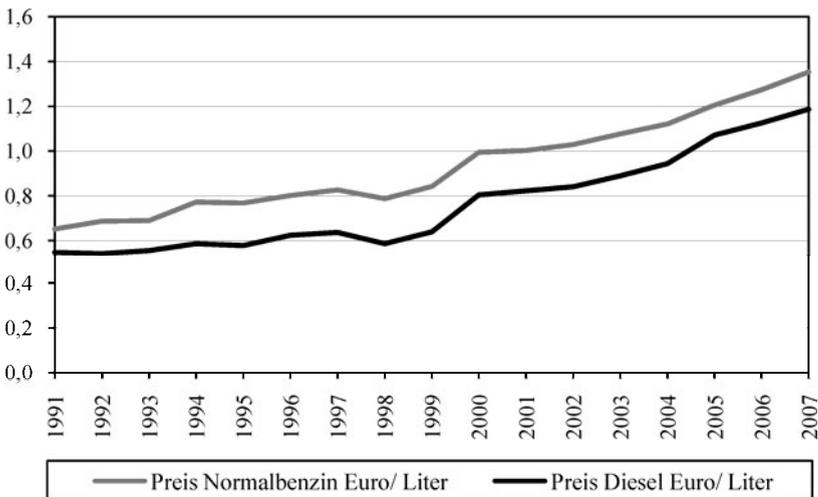


Abb. 1.3. Entwicklung der Benzin- und Dieselpreise in Euro pro Liter (inkl. MwSt.), eigene Darstellung nach (BMWi 2008)

Um diese Preisentwicklung in ihrer Brisanz zu beurteilen, ist eine historische Einordnung hilfreich. Entsprechende Datenreihen liegen für das Rohöl vor und sind in Abb. 1.4 wiedergegeben. In den Anfangsjahren der Ölindustrie – also in der Mitte des 19. Jahrhunderts – war der Preis pro Barrel Rohöl noch vergleichsweise hoch. Mit der Etablierung der Branche sanken die Preise und blieben, abgesehen von zyklischen Schwankungen, bis in die 1970er Jahre auf vergleichsweise geringem Niveau. Der Ölpreis stieg dann in den beiden Ölkrisen von 1973 bzw.

1979/80 dramatisch an und fiel anschließend nie wieder auf das Vorkrisen-Niveau zurück. Im Gegenteil, im Zeitraum von 2002 bis 2008 kletterte der Ölpreis bis auf die Rekordhöhe von 147 Dollar pro Barrel. Zum Zeitpunkt der Schriftlegung im November 2008 hat der Markt diesen – u. a. von Spekulationen getriebenen – Preisausschlag wieder auf etwa 45 bis 50 Dollar pro Barrel korrigiert. Es wird aber deutlich, dass die Energiepreisentwicklung nicht allein konjunkturellen Schwankungen sondern einem langfristigen Anstieg unterliegt.

Darüber hinaus ergeben sich Preisveränderungen auch durch Steuern, Abgaben und Umlagen, die im Energiepreis enthalten sind. Für die industriellen Verbraucher von Elektroenergie sind insbesondere die Umlagen aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG), Konzessionsabgaben und die Stromsteuer von Bedeutung. Zu einem Preisanstieg hat in den letzten Jahren vor allem die Umlage aus dem EEG beigetragen (s. Abb. 1.5). Stromintensive Unternehmen können bei Steuern, Abgaben und Umlagen jedoch auch von Sonderregelungen und Ausnahmen profitieren. Abschnitt 3.4 erläutert diese spezifischen Zusammenhänge für gewerbliche Abnehmer.

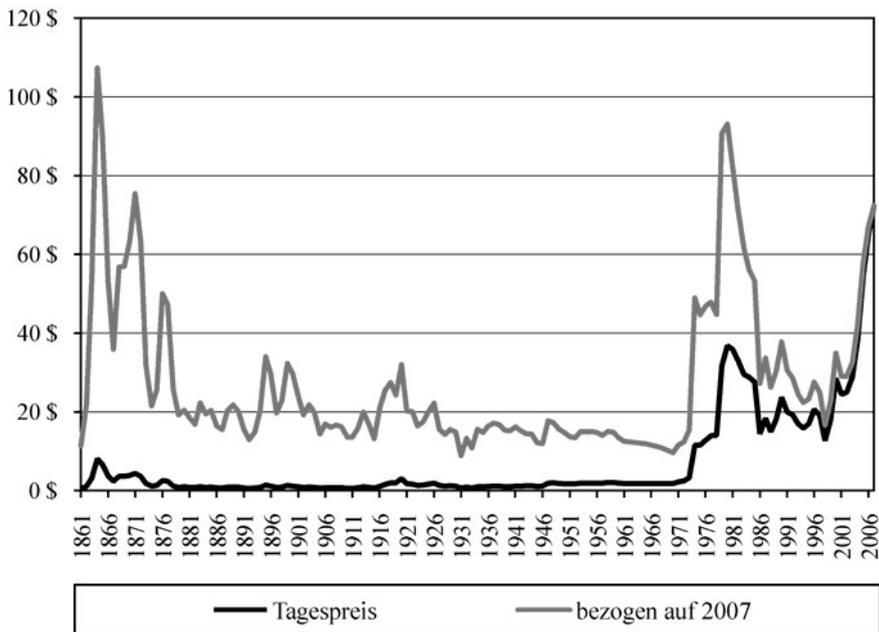


Abb. 1.4. Entwicklung der Preise für das Barrel Rohöl von 1861 bis 2007, eigene Darstellung nach (British Petrol 2008)

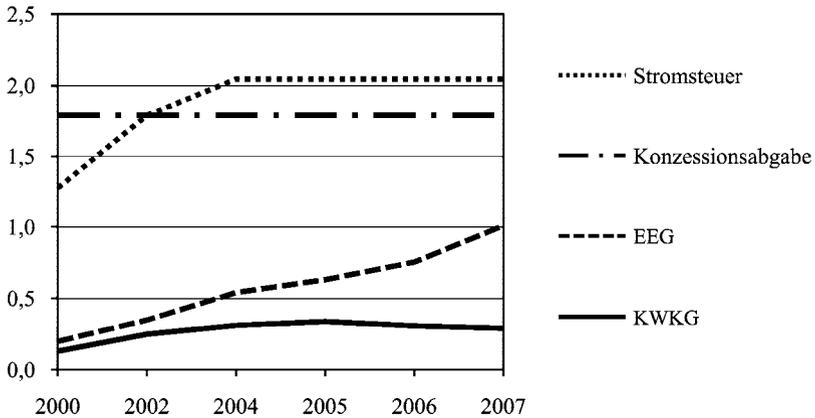


Abb. 1.5. Entwicklung der durchschnittlichen Steuern (ohne MwSt.), Abgaben und Umlagen für Strom in Cent pro kWh für Haushaltstarkunden⁶, eigene Darstellung nach (BMU 2008)

Ein weiterer Treiber für die Energiepreise ist der Emissionsrechtehandel. Seit 2005 benötigen große Kraftwerke und andere Emittenten in der EU sogenannte Emissionsberechtigungen, um ihre Anlagen betreiben und CO₂ emittieren zu dürfen. Die Emissionsberechtigungen (auch CO₂-Zertifikate, Emissionsrechte) wurden in Deutschland zunächst unentgeltlich und in Höhe der bisherigen Emissionsmengen an die Emittenten verteilt.

Künftig wird die Zahl der zur Verfügung stehenden Zertifikate entsprechend der CO₂-Emissionsminderungsziele der EU sinken. Zugleich werden die Zertifikate zu einem steigenden Anteil versteigert. Anlagenbetreiber, die auf Grund von Effizienzsteigerungen und anderen Maßnahmen weniger CO₂ emittieren, können nicht benötigte Zertifikate bereits heute an Anlagenbetreiber, die mehr Emissionsrechte benötigen, verkaufen. Durch diesen Mechanismus sollen Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen vorzugsweise dort induziert werden, wo mit dem geringsten Mitteleinsatz die größten CO₂-Einsparungen erreicht werden können.

Trotz der bisher kostenlosen Verteilung der Zertifikate haben die Stromversorger die Kosten der CO₂-Zertifikate bereits als Opportunitätskosten in die Strompreise vor allem der Tarifkunden einbezogen.

Die folgenden Abschnitte gehen auf folgende Ursachen, die hinter der Energiepreisentwicklung stehen, näher ein:

- die stärkere Energienachfrage, vor allem in den Schwellenländern,
- die Verknappung der Energieressourcen und die Minderung der Versorgungssicherheit,

⁶ Darstellung für Haushaltskunden, Daten für gewerbliche Kunden liegen auf Grund der Sonderregelungen bei Steuern, Abgaben und Umlagen sowie der Vertraulichkeit von Verträgen für Sondertarifkunden nicht vor.

- die begrenzte Aufnahmefähigkeit der Umwelt für Emissionen aus der Energiegewinnung und -nutzung sowie
- die Maßnahmen der Politik.

1.2.3 Energienachfrage

Der weltweite Energieverbrauch ist in den letzten zehn Jahren um knapp 25 Prozent gestiegen (s. Abb. 1.6). Die zusätzliche Nachfrage resultierte maßgeblich aus dem dynamischen Wirtschaftswachstum der Schwellenländer, vor allem Chinas. Gleichzeitig stagnierte der Energieverbrauch der entwickelten Länder auf hohem Niveau oder stieg sogar moderat an. Gemessen an der Bevölkerung ist der Energieverbrauch der entwickelten Welt überproportional hoch. Die OECD-Staaten konsumierten 2007 mehr als die Hälfte der Weltenergie. Allein die USA hielten über 21 Prozent am Primärenergieverbrauch der Welt (British Petrol 2008).

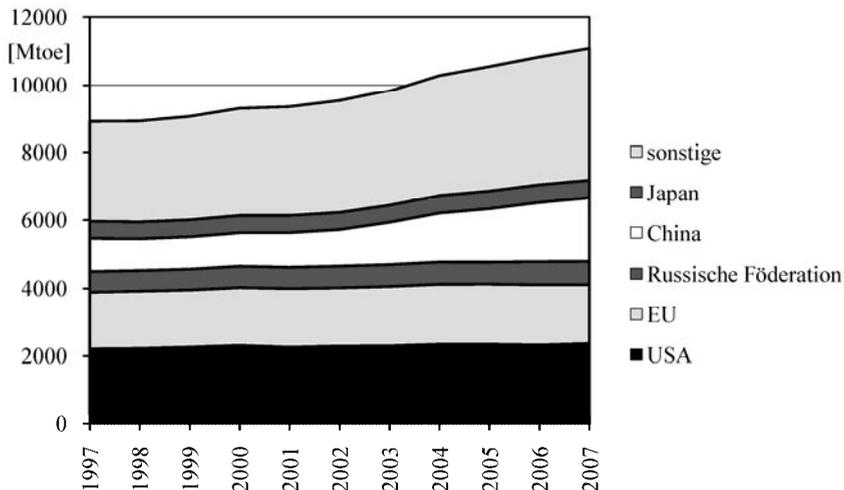


Abb. 1.6. Entwicklung des Primärenergieverbrauchs der Welt und ausgewählter Länder von 1997 bis 2007, eigene Darstellung nach (British Petrol 2008)

Trotz konjunktureller Unwägbarkeiten dürften die wachsende Weltbevölkerung und das Streben nach einer Verbesserung des Lebensstandards besonders in den Schwellen- und Entwicklungsländern weiterhin einen hohen Nachfragedruck ausüben.

1.2.4 Energiereserven und Versorgungssicherheit

Unter dem Aspekt einer nachhaltigen Entwicklung sollen Ressourcen (einschließlich Energieträger) erhalten bleiben, um künftigen Generationen als Lebensgrundlage und Entwicklungskapital zu dienen. Für die Bewertung der Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung gelten grundlegende qualitative Regeln (Deutscher Bundestag 1994):

- Erneuerbare Ressourcen sollen bevorzugt genutzt werden. Sonnenenergie, Wasser- und Windkraft, Biomasse und Gezeiten gelten prinzipiell als erneuerbar. Sie speisen sich aus Energiegewinnen, die die Erde aus der Sonneneinstrahlung bzw. durch die Gravitation der Sonne und des Mondes erzielt.
- Erneuerbare Ressourcen sollen nur so stark genutzt werden, dass die Abbaurate nicht die Regenerationsrate übersteigt. Dies gilt z. B. für die energetische Nutzung von Biomasse: Es soll nur soviel Biomasse zur Energiegewinnung eingesetzt – in der Regel verbrannt – werden, wie im gleichen Zeitraum nachwächst und dabei atmosphärisches CO₂ über die Fotosynthese bindet (CO₂-Neutralität).
- Die Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen kann dann als nachhaltig eingeschätzt werden, wenn ein funktionaler Ersatz geschaffen wird. Ein Beispiel sind Fotovoltaik-Anlagen, die über ihren Lebenszyklus mehr Energie aus der Sonne gewinnen als zu ihrer Herstellung notwendig war.
- Lässt sich der Einsatz nicht erneuerbarer Ressourcen nicht vermeiden, sollen solche Energie- und sonstige Rohstoffe bevorzugt werden, deren Vorräte länger reichen als heutige und unmittelbar folgende Generationen leben.⁷

Die Vorräte an fossilen Energierohstoffen werden durch die geologischen Begriffe Reserven und Ressourcen charakterisiert: Reserven sind die mit heutiger Technik und zu heutigen Preisen wirtschaftlich abbaubaren Mengen in den Lagerstätten. Als Ressourcen werden – aus geologischer Perspektive – die Rohstoffmengen bezeichnet, die nachgewiesen sind, aber mit aktueller Technik nicht wirtschaftlich gewonnen werden können, oder deren Vorkommen geologisch möglich ist und die abgebaut werden können. Die Summe aus Reserven und Ressourcen bildet das verbleibende Potenzial an Rohstoffen.

Als Energiereserven werden also die bekannten, in der Erde lagernden Vorräte an fossilen Brennstoffen bezeichnet, die sicher verfügbar und mit heutiger Technik wirtschaftlich zu gewinnen sind. Ein übliches Maß zur Beurteilung der Energiereserven ist die Reservenreichweite. Diese gibt an, wie viele Jahre ein Energieträger bei gleichbleibender Nutzungsintensität noch reicht. Tabelle 1.2 zeigt die Reichweite wichtiger fossiler Energieträger. Derzeit ist für lebende und unmittelbar folgende Generationen ein Versiegen der Erdöl- und Erdgasquellen abzusehen.

⁷ Diese Regel kann im Widerspruch zum Klimaschutz stehen, Kohle ist generell länger verfügbar, ihre Verstromung verursacht aber höhere Emissionen als der Einsatz von Erdgas.

Tabelle 1.2. Reservenreichweite der wichtigsten fossilen Energieträger (nach BMWi 2008)

Energieträger	Gesicherte statistische Reservenreichweite in Jahren
Erdöl	42
Erdgas	62
Stein- und Braunkohle	150

Bei der Bewertung der Versorgungssicherheit sind zusätzlich die regionale Verteilung der Ressourcen und Reserven sowie die Förderung und der Verbrauch der Energierohstoffe zu betrachten. Abbildung 1.7 zeigt die Unterschiede zwischen den verschiedenen Weltregionen.

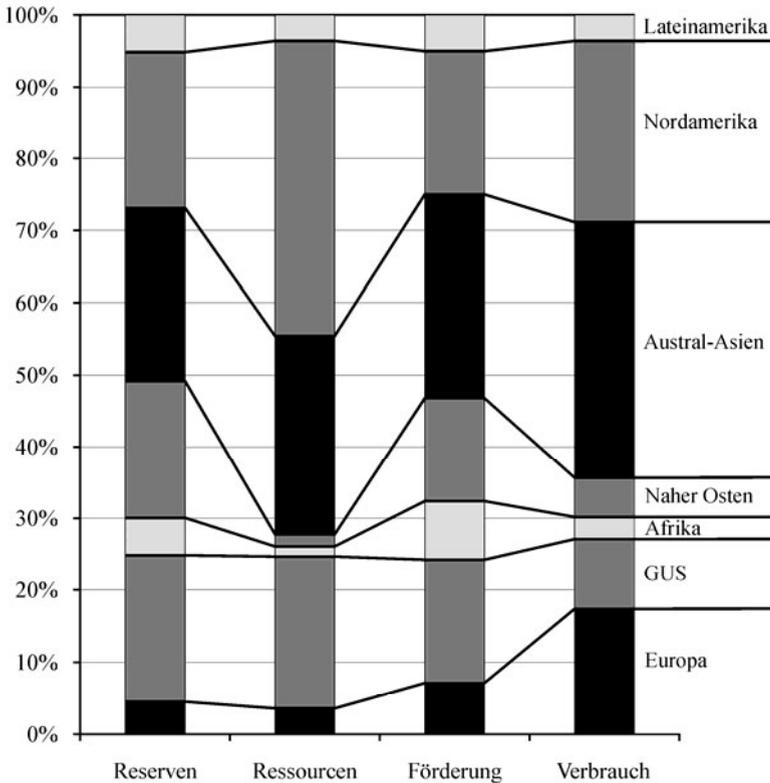


Abb. 1.7. Regionale Unterschiede von Reserven, Ressourcen, Förderung und Verbrauch nicht regenerativer Energierohstoffe 2007 gemessen am Energieinhalt, eigene Darstellung nach (BGR 2008)

Besonders deutlich ist die Konzentration der Erdölreserven auf geografisch vergleichsweise wenige Regionen der Welt (s. Abb. 1.8), was zu politischen und militärischen Konflikten führt.