

Schriften zur ökologischen Betriebswirtschaftslehre  
Herausgeber: Prof. Dr. Dr. h.c. Eberhard Seidel  
Institut für ökologische Betriebswirtschaft (IÖB)  
an der Universität Siegen

Band 1

**Thomas Göllinger**

**Strategien für eine nachhaltige Energiewirtschaft**

Ein Beitrag zur Ökologischen Ökonomie

Shaker Verlag  
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Göllinger, Thomas:*

Strategien für eine nachhaltige Energiewirtschaft : Ein Beitrag zur Ökologischen Ökonomie / Thomas Göllinger.

Aachen : Shaker, 2001

(Schriften zur ökologischen Betriebswirtschaftslehre ; Bd. 1)

Zugl.: Siegen, Univ., Diss., 2000

ISBN3-8265-9114-3

Copyright Shaker Verlag 2001

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9114-3

ISSN 1618-0828

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Geleitwort

Die hier mit ihrem ersten Band vorgestellte Schriftenreihe will künftig in durchaus lockerer Folge mit Prädikat bewertete Dissertationen aus den Themenbereichen der ökologieorientierten Betriebswirtschaftslehre bringen. Gemeinsames Ziel aller Arbeiten soll es sein, einen Beitrag zu der im Entstehen begriffenen „ökologischen Ökonomie“ zu leisten.

Mit der ersten Schrift, der Arbeit von Thomas Göllinger, tritt dem Leser ein eigenwilliges Unterfangen von beträchtlichem Ehrgeiz entgegen: Unter dem ökologisch zentralen Gesichtspunkt des Energieeinsatzes im Wirtschaftsprozess will die Schrift die Eckpunkte der ökologischen Ökonomie herausarbeiten. „Herausarbeiten“ heißt dabei, diese Eckpunkte sowohl besser und deutlicher zu markieren als auch sie zu sichern und zu stärken. Zu diesem Zweck wird die systemorientierte Managementlehre betriebswirtschaftlicher Provenienz mit der naturwissenschaftlich-technischen Ökologie zu einem Stück transdisziplinärer „Systemwissenschaft“ verschmolzen. Ergebnis ist eine zugleich theoretische wie angewandte Humanökologie, die naturwissenschaftlich-physikalische Aspekte (Thermodynamik) mit sozialwissenschaftlich-organisatorischen (Energiedienstleistungen) zwanglos verknüpft. Es geht um nicht weniger als die Entwicklung einer transdisziplinären Methodik zur Analyse techno-ökologischer Systeme.

Bei der ökologisch wie ökonomisch schädlichen Asymmetrie der angebots- und nachfrageseitigen Kapitalinvestitionen im Energiebereich präsentiert sich – in unserem ökologisch falschen Preissystem – der „ökologische Riese“ Energiewirtschaft verhängnisvoll als „ökonomischer Zwerg“. Für viele Unternehmen betragen die Energiekosten unter drei Prozent ihrer betrieblichen Selbstkosten. Es ist aber nicht nur diese auffällige Diskrepanz, die Göllinger das Thema einer „ökologieorientierten Energiewirtschaft“ hat wählen lassen. Dieselbe bietet sich auch als – theoretischer wie praktischer – Vorreiter für die in vielen Punkten aspektenreichere und damit schwierigere ökologieorientierte Stoffwirtschaft an. Auch darauf zielt die Schrift, und ihr hoher Anspruch an sich selbst wird damit einmal mehr unterstrichen.

Die Spannweite der Arbeit Göllingers kann mit Sicherheit kein Maßstab für die Themen- und Aussagenzuschnitte der nachfolgenden Schriften sein. Gleichwohl freue ich mich, die Reihe mit einer Arbeit von diesem Gewicht eröffnen zu können. Praktisch jeder der sieben großen Abschnitte des Bandes enthält innovative Passagen, – neue Sichtweisen, neue Bezüge, neue Anwendungen und auch neue Konzeptionen im Detail.

In ihrem Themenbereich setzt Göllingers Arbeit Maßstäbe. Für eine Dissertationsschrift läßt sich schlechterdings kein höheres Lob denken.

## Vorwort

Die Themen „Ökologische Ökonomie“, „Systemwissenschaft“ und „Energiewirtschaft“ interessieren mich seit meinen ersten Studiensemestern. So lag es nahe, ein Dissertationsthema zu wählen, das eine Beschäftigung mit allen drei Wissensbereichen erlaubte. In diesem Kontext bot es sich dann geradezu an, das Problem einer zukunftsfähigen Energiewirtschaft im Fokus der Ökologischen Ökonomie einerseits und der systemorientierten Managementlehre andererseits zu untersuchen. Dabei ging es mir insbesondere um die Überwindung der üblichen engen fachdisziplinären Grenzen. Wissenschaftliche Aussagen über Nachhaltigkeit erfordern auch die fundierte Beschäftigung mit naturwissenschaftlich-ökologischen Tatbeständen. Dies und die transdisziplinäre Verknüpfung mit der ökonomischen Perspektive stellt die besondere Herausforderung der Arbeit dar.

Ziel der Schrift ist es, verschiedene Diskurse über das Thema Energiewirtschaft zusammenzuführen und aus einer ganzheitlichen Perspektive Wege zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft aufzuzeigen. Die hierzu entwickelte Vorgehensweise läßt sich auch als Basis für die Untersuchung anderer Wirtschaftsbereiche im Kontext einer Ökologischen Ökonomie verwenden.

Das Manko vieler Studien über die ökologischen Aspekte der Energiewirtschaft besteht in der Fixierung auf die jeweils aktuell diskutierten Probleme, z.B. bestimmte Schadstoffe bzw. Emissionen, für die dann schnelle Lösungen angeboten werden. Auf diese Weise erfolgt eine permanente Problemverlagerung. Notwendig erscheint eine grundsätzliche, auch naturwissenschaftlich-ökologisch fundierte, Analyse der Bedingungen für eine nachhaltigkeitsfähige Energiewirtschaft. Neben den grundlegenden Erkenntnissen der klassischen Thermodynamik werden hierzu auch die Ergebnisse neuerer Entwicklungen auf diesem Gebiet benötigt. Neben das altbekannte Entropiekonzept treten das neuere Syntropiekonzept sowie Selbstorganisationskonzepte. Gerade der Vergleich der anthropogenen mit der natürlichen Energiewirtschaft liefert einige wichtige Erkenntnisse für die Gestaltung nachhaltigkeitsfähiger Energiesysteme. Als wichtige Grenzdisziplin ist hier die Energetobionik mit heranzuziehen. Langfristig ist der Weg in die Sonnenenergiewirtschaft unverzichtbar.

Wie der ökologische, so bedarf auch der ökonomische Blick auf die Energiewirtschaft einer Ergänzung. Nach langen Debatten über die Notwendigkeit einer Deregulierung, wurde für die Liberalisierung des Strommarkt eine ökonomisch und ökologisch suboptimale Lösung realisiert. Damit das ökologisch Notwendige dennoch realisiert werden kann, bedarf es einer erneuten Debatte über die Gestaltung einer ökologisch aufgeklärten Rahmenordnung für die Energiewirtschaft. Hierbei gilt es, die Bedingungen für eine sowohl ökologisch als auch ökonomisch effiziente Produktion von Energiedienstleistungen zu analysieren und Vorschläge zur Modifikation bestehender sowie zur Ausgestaltung und Implementierung neuer Instrumente zu generieren.

Der Wandel der Energiewirtschaft in Richtung Nachhaltigkeit gelingt nur durch eine entsprechende Umorientierung der Akteure an den Energiemärkten. Notwendig ist deren Entwicklung von produktorientierten Energieproduzenten zu funktionsorientierten Energiedienstleistern. Die seit einigen Jahren diskutierten organisatorischen Innovationen bedürfen dabei teilweise der Modifikation bzw. Ergänzung. So ist etwa das schon klassische Contracting in Richtung eines Energiedienstleistungs-Contracting zu erweitern und um Ansätze eines ökologischen Facility-Management zu ergänzen.

Die Schrift wurde im Wintersemester 2000/01 vom Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Siegen als Dissertationsschrift angenommen. Zu besonderem Dank für seine Unterstützung bin ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. h.c. Eberhard Seidel verpflichtet. Er hat mir mit großer Geduld den notwendigen Freiraum zur Bewältigung der selbstgestellten anspruchsvollen Aufgabe gewährt. Darüber hinaus boten mir seine wissenschaftlichen Arbeiten zahlreiche Impulse für mein eigenes Vorhaben. Prof. Dr. Bernd Rieper danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und die zügige Abwicklung des Promotionsverfahrens

Mein Dank gilt weiterhin einer Reihe von Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Organisation und Umweltwirtschaft sowie am Institut für ökologische Betriebswirtschaft (IÖB) in Siegen, die mich durch Hilfestellungen, u.a. beim Korrekturlesen der Schrift, in den letzten Jahren nach Kräften unterstützt haben. Dieser Dank schließt die studentischen Mitarbeiter mit ein. Besonders erwähnen möchte ich hier Oliver Görtz, der meine handschriftlichen Abbildungsskizzen kompetent in eine professionelle Form übertragen hat.

Für fruchtbare Diskussionen und vielfache mentale Unterstützung danke ich insbesondere meinem Freund und Kollegen Frank M. Weber. Ebenso hervorheben möchte ich das Engagement von Gabriela, insbesondere bei der Anfertigung der Umschlagsabbildung.

Gänzlich unmöglich wäre die Erstellung dieser Arbeit ohne die jahrelange liebevolle und geduldige Unterstützung durch meine Familie gewesen. Hierfür habe ich ganz besonders zu danken. Auch den Freunden, die in dieser Zeit manches Glas Wein ohne mich trinken mußten, gilt an dieser Stelle mein herzlicher Dank.

Rheinzabern und Siegen, im Mai 2001

Thomas Göllinger

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	XV
Tabellenverzeichnis .....	XVIII
Abkürzungsverzeichnis .....	XIX
1. Einführung .....	1
1.1 Problemaufriß und Zielsetzung der Arbeit .....	1
1.1.1 Problemkontext: Die Nachhaltigkeitsdebatte und die Forderung nach einem zukunftsfähigen Wirtschaften .....	1
1.1.1.1 Das Leitbild „Sustainable Development“ .....	1
1.1.1.2 Umweltziele und Umsetzungskonzepte für ein zukunftsfähiges Deutschland.....	9
1.1.2 Problemstellung: Die Ableitung von Strategien für einen zukunftsfähigen Wandel der Energiebranche im Kontext einer Ökologischen Ökonomie.....	12
1.2 Der inhaltliche Problemzugang über die Ökologische Ökonomie .....	14
1.2.1 Positionen zur ökologischen Nachhaltigkeit.....	14
1.2.2 Das Anliegen der Ökologischen Ökonomie.....	17
1.2.3 Die Positionierung und die Problemlösungskompetenz der Ökologischen Ökonomie .....	22
1.3 Der formale Problemzugang über den systemorientierten Ansatz .....	25
1.3.1 Die kulturelle Herausforderung durch die ökologische Problematik .....	25
1.3.1.1 Evolutorische Deutung der Ökologie-Problematik .....	25
1.3.1.2 Unzureichende Problemlösungsfähigkeit bisheriger Ansätze.....	26
1.3.1.3 Systemtheorie und Transdisziplinarität als Ausweg.....	27
1.3.2 Der systemorientierte Ansatz in der BWL.....	31
1.3.2.1 Systemtheorie und Management.....	31
1.3.2.2 Elemente eines problemadäquaten Bezugsrahmens.....	33
1.3.3 Ableitung eines Bezugsrahmens zur Problembearbeitung .....	36
1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit .....	38
2. Ökologische Aspekte der Energienutzung .....	41
2.1 Naturwissenschaftlich-ökologische Grundlagen der Energienutzung .....	41
2.1.1 Thermodynamik und Ökologische Ökonomie.....	41
2.1.1.1 Von der klassischen Thermodynamik zur Wissenschaft vom Komplexen.....	41
2.1.1.2 Entropie und Syntropie.....	43
2.1.2 Natürliche und anthropogene Syntropieverwertung im Vergleich.....	47

2.1.2.1	Die Struktur der natürlichen Syntropieverwertung .....	47
2.1.2.2	Syntropienutzung im ökonomischen System .....	52
2.1.2.3	Biologische Energielösungen als Vorbild für technische Lösungen.....	56
2.1.2.4	Naturverträglichkeit durch konsistente Technoökosysteme.....	60
2.2	Das anthropogene Energiesystem .....	63
2.2.1	Naturwissenschaftlich-technische Grundlagen der anthropogenen Energienutzung.....	64
2.2.1.1	Energie, Exergie und Anergie.....	64
2.2.1.2	Energiequellen.....	71
2.2.1.3	Energieträger.....	72
2.2.2	Die Energieumwandlungskette .....	74
2.2.2.1	Die Stufen der Energieumwandlungskette .....	74
2.2.2.2	Energiedienstleistungen als Endglied der Umwandlungskette.....	77
2.3	Ökologische Probleme des anthropogenen Energieumsatzes .....	79
2.3.1	Lokale und regionale Umweltbelastungen durch die Nutzung fossiler Brennstoffe.....	80
2.3.1.1	Stoffliche Belastungen.....	80
2.3.1.2	Thermische und radioaktive Belastungen .....	81
2.3.1.3	Landschaftliche und sonstige Beeinträchtigungen.....	83
2.3.2	Das globale CO <sub>2</sub> -Problem.....	83
2.3.2.1	Der Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde.....	84
2.3.2.2	Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes.....	86
2.3.2.3	Wirkungen des anthropogenen Treibhauseffektes.....	87
2.3.3	Ökologische Inkompatibilität der Kernenergie.....	90
2.4	Umweltschutzkonzeptionen im Energiesektor .....	92
2.4.1	Der klassische additive Umweltschutz.....	93
2.4.1.1	Die Entwicklung des additiven Umweltschutzes.....	93
2.4.1.2	Emissionsvermeidung im Energiesektor mittels additiver US-Technologien.....	94
2.4.1.3	Grenzen und Nachteile des additiven Umweltschutzes .....	95
2.4.2	Vorsorgende Umweltschutzstrategien .....	97
2.4.3	Abkehr vom traditionellen Umweltschutzverständnis der Energiebranche.....	100
3.	Ökologisch kompatible Energienutzungsstrategien.....	103
3.1	Potentielle Nachhaltigkeitsstrategien im Energiesektor .....	103
3.1.1	Nachhaltigkeit durch Suffizienz, Effizienz und Konsistenz.....	103
3.1.1.1	Suffizienz .....	103

---

3.1.1.2	Effizienz.....	106
3.1.1.3	Konsistenz.....	108
3.1.2	Argumente für einen vorläufigen Vorrang der Effizienz-Strategie.....	110
3.1.3	Folgerungen.....	113
3.1.4	Orientierung an der Energiedienstleistung.....	115
3.1.5	Ökologisierung der Energieumwandlungskette.....	118
3.2	Optimierung der Syntropieverwertung.....	119
3.2.1	Syntropiegerechter Energieträgereinsatz.....	120
3.2.2	Effiziente Syntropieverwertung durch Kopplungsstrategien.....	121
3.3	Kopplungsstrategien bei der Energieerzeugung und –nutzung.....	124
3.3.1	Die Strategie der Kraft-Wärme-Kopplung.....	124
3.3.2	Innovative Energie-Technologien.....	126
3.3.2.1	BHKW.....	126
3.3.2.2	Wärmepumpen.....	126
3.3.2.3	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.....	128
3.3.2.4	Brennstoffzellen.....	128
3.3.2.5	Stirlingmotor.....	133
3.3.3	Ein allgemeines Modell der gekoppelten Energieerzeugung und –nutzung.....	135
3.3.3.1	Elektro-Thermo-Verstärkung.....	135
3.3.3.2	Ableitung eines allgemeinen Modells der KWK-ETV.....	136
3.3.3.3	Strategien der KWK.....	139
3.4	Rationelle Energieverwendung durch Optimierung der Energiewandler und der energierelevanten Infrastruktur.....	147
3.4.1	Möglichkeiten der rationellen Energieverwendung.....	147
3.4.2	Zur Notwendigkeit auch organisatorischer Innovationen.....	149
3.4.3	Beispiel für die Steigerung der Energieeffizienz.....	152
3.5	Die Nutzung regenerativer Energien als Konsistenzlösung.....	154
3.5.1	Formen der Sonnenenergienutzung.....	154
3.5.1.1	Indirekte Formen der Solarenergienutzung.....	156
3.5.1.2	Direkte Formen der Solarenergienutzung.....	159
3.5.1.3	Schlüsseltechnologie Photovoltaik.....	160
3.5.2	Nutzung der regenerativen Energien im Verbund.....	165
3.6	Folgerungen für die Strategie innovativer Energieunternehmen.....	167
4.	Die Rolle des Ordnungsrahmens.....	169
4.1	Ursachen der bisherigen Fehlentwicklung im Energiesektor.....	170

4.1.1	Die Mängel herkömmlicher Energiebedarfsprognosen.....	170
4.1.2	Fehlregulierung der leitungsgebundenen Energiewirtschaft.....	172
4.1.3	Hemmnisse einer effizienten Energienutzung.....	174
4.2	Internalisierung der externen Kosten der Energienutzung .....	179
4.2.1	Das Problem der externen Kosten und ihrer Internalisierung.....	179
4.2.1.1	Wirtschaftstheoretische Begründung der Internalisierung.....	179
4.2.1.2	Externe Kosten der Energienutzung.....	182
4.2.1.3	Exkurs: Vermeidungskosten.....	184
4.2.2	Die Diskussion konkreter Instrumente zur Internalisierung.....	186
4.2.2.1	Pragmatische Internalisierungsansätze.....	186
4.2.2.2	Energiesteuern im Rahmen einer Ökologischen Steuerreform.....	187
4.3	Least-Cost-Planning (LCP) als Instrument zur Stimulierung des Substitutionswettbewerbs .....	191
4.3.1	Der LCP-Ansatz im Energiesektor.....	192
4.3.1.1	Die Grundidee.....	192
4.3.1.2	Die Produktion von Energiedienstleistungen in ökonomischer Perspektive.....	193
4.3.1.3	Erweiterte Fundierung des LCP-Ansatzes .....	197
4.3.1.4	Der LCP-Begriff und sein Umfeld.....	199
4.3.1.5	Ursprünge und Entwicklung des LCP.....	203
4.3.2	Stand und Perspektiven des LCP.....	206
4.3.2.1	Ergebnisse der LCP-Fallstudie der Stadtwerke Hannover.....	206
4.3.2.2	Kombination von LCP und Energiesteuern.....	209
4.4	Die Debatte um die Neuordnung der leitungsgebundenen Energiewirtschaft .....	211
4.4.1	Regulierung und Deregulierung .....	211
4.4.2	Vom regulierten Monopol zum freien Markt .....	213
4.4.2.1	Ausgangssituation im liberalisierten Strommarkt.....	213
4.4.2.2	Kritik an der Neuordnung des Gesetzes.....	215
4.4.3	Vorschlag eines zugleich wettbewerblich und ökologisch orientierten Ordnungsrahmens .....	220
4.4.3.1	Das Grundkonzept .....	220
4.4.3.2	Notwendige Erweiterungen und Ergänzungen.....	224
5	Vom produktorientierten EVU zum funktionsorientierten EDU .....	231
5.1	Funktionsorientierte Unternehmenspolitik.....	231
5.1.1	Der Systemansatz der vertikalen Integration nach Jantsch.....	231
5.1.2	Von der Produkt- zur Funktionsorientierung.....	234

---

5.1.3	Die fünf Ebenen einer ökologischen Unternehmenspolitik .....	237
5.1.4	Nutzdienstleistungskonzepte.....	239
5.1.4.1	Der Begriff der Nutzdienstleistung.....	239
5.1.4.2	Systematisierung von Nutzdienstleistungskonzepten.....	241
5.1.4.3	Ökologische Vorteile von Nutzdienstleistungskonzepten.....	244
5.2	Ökonomische und organisatorische Aspekte der Funktionsorientierung .....	245
5.2.1	Grundlegendes zur Funktionsorientierung.....	245
5.2.2	Probleme der Funktionsorientierung.....	249
5.2.3	Funktionsorientierung in der Energiebranche.....	251
5.3	Strategien für funktionsorientierte EDU .....	255
5.3.1	Neue Geschäftsfelder und Diversifikation in kerngeschäftsnahen Bereichen.....	256
5.3.2	Aktivitäten zur Nutzung regenerativer Energien.....	260
5.3.3	Besondere Chancen für Stadtwerke auf dem Negawatt- und Ökowattmarkt.....	261
5.3.4	Voraussetzungen von einsparorientierten Unternehmensaktivitäten.....	263
5.3.4.1	Kritische Faktoren für den Aufbau von Negawatt-Aktivitäten.....	263
5.3.4.2	Notwendigkeit eines marketingorientierten Ansatzes.....	266
5.3.5	Erkenntnisse aus den LCP-Projekten der Stadtwerke Hannover.....	268
5.3.5.1	Strategisches Einsparen im Rahmen eines Integrierten Ressourcenmanagements..	269
5.3.5.2	Der „Negawatt-Plan“ der Stadtwerke Hannover.....	270
5.3.5.3	Allgemeine Grundlagen der LCP-Programme .....	272
5.3.5.4	Die LCP-Testprogramme der Stadtwerke Hannover.....	275
5.3.5.5	Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus der LCP-Testphase .....	278
5.3.6	Das Beispiel SMUD .....	283
5.3.6.1	Das Unternehmen und seine Geschäftspolitik.....	283
5.3.6.2	Strategisches Einsparen bei SMUD .....	285
6.	Innovative Problemlösungen durch EDU .....	289
6.1	Contracting als innovative Organisations- und Kooperationsform .....	289
6.1.1	Grundlagen.....	289
6.1.1.1	Contracting-Begriff und Contracting-Grundmodell .....	289
6.1.1.2	Grundvoraussetzungen und Motive für Contracting-Projekte.....	291
6.1.1.3	Probleme und Risiken .....	294
6.1.2	Erscheinungsformen des Contracting.....	296
6.1.2.1	Anlagen-Contracting.....	297
6.1.2.2	Performance- bzw. Einspar-Contracting.....	299
6.1.3	Marktteilnehmer des Contracting.....	301

6.1.3.1	Die wichtigsten Anbieter von Contracting.....	301
6.1.3.2	Die wichtigsten Nachfrager und das Marktpotential von Contracting.....	304
6.1.3.3	Erweiterung der Handlungsoptionen für EVU/EDU durch Contracting.....	307
6.1.4	Perspektiven des Anlagen-Contracting.....	310
6.1.5	Perspektiven des EDL-Contracting .....	287
6.1.5.1	EDL-Contracting als Systemoptimierung.....	313
6.1.5.2	Beispiele für EDL-Contracting-Potentiale im Bereich der Privathaushalte.....	316
6.1.5.3	EDL-Contracting im Industriebetrieb.....	320
6.2	Fallbeispiel Beleuchtungssanierung .....	323
6.2.1	Beleuchtungsanlagen als Objekte der energetischen Sanierung.....	324
6.2.1.1	Allgemeine Grundlagen der Beleuchtungstechnik.....	324
6.2.1.2	Gründe für die Sanierung von Beleuchtungsanlagen.....	325
6.2.1.3	Zusammenfassung .....	328
6.2.2	Ökonomische Aspekte des konkreten Sanierungsprojektes.....	329
6.2.2.1	Kosten-Nutzen-Analyse der Beleuchtungssanierung.....	330
6.2.2.2	Empfehlungen für die Beleuchtungssanierung .....	334
6.2.3	Weitere Vorteile der Beleuchtungssanierung.....	335
6.2.3.1	Life-Cycle-Kosten von Beleuchtungsanlagen.....	335
6.2.3.2	Auswirkungen von Beleuchtungsanlagen auf die Energiebilanz von Gebäuden.....	338
7.	Zusammenfassung und Ausblick .....	341
7.1	Zusammenfassung der Nachhaltigkeitsstrategien im Energiesektor .....	341
7.2	Folgerungen für die Übertragung auf andere Bereiche .....	345
7.2.1	Wasserwirtschaft.....	345
7.2.2	Stoffwirtschaft.....	347
7.2.3	Allgemeines Vorgehen im Fokus einer Ökologischen Ökonomie.....	348
7.3	Methodische Implikationen.....	349
7.3.1	Probleme des Nachhaltigkeitsbegriffs.....	349
7.3.2	Entropie und Selbstorganisation.....	350
8.	Anhang.....	353
Anhang 1:	Entropietheoretische Betrachtungen.....	353
Anhang 2:	Strahlungsleistung der Sonne .....	358
Anhang 3:	Energiewirtschaftliche Daten.....	362
Anhang 4:	Energetische Grundgrößen .....	364
Literatur	.....	365

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1.1	Entwicklung der globalen Kohlendioxid-Emissionen.....	13
Abb. 1.2	Unterschiedliche Konzepte der Nachhaltigkeit.....	16
Abb. 1.3	Bandbreite der Basisannahmen in der umweltpolitischen Diskussion.....	23
Abb. 1.4	Zusammenhang von Sustainable Development, normativem Management und ökologischer Unternehmenspolitik.....	36
Abb. 1.5	Beziehungen der Unternehmung zu Anspruchsgruppen und Umsystemen.....	37
Abb. 2.1	Syntropiebilanz des Systems Erde.....	51
Abb. 2.2	Natürliche Sonnenenergienutzung.....	62
Abb. 2.3	Künstliche Sonnenenergienutzung.....	63
Abb. 2.4	Unterschiedliche Systemgrenzen für Energiebetrachtungen.....	66
Abb. 2.5	Zur Unterscheidung von Energie- und Exergiewirkungsgrad.....	68
Abb. 2.6	Energiequellen als Produkte der kosmischen Evolution.....	71
Abb. 2.7	Systematik der Energieträger.....	74
Abb. 2.8	Die Energieumwandlungskette.....	75
Abb. 2.9	Struktur der Energieumwandlungskette für Deutschland.....	76
Abb. 2.10	Wechselwirkungen bei der Klimaproblematik.....	89
Abb. 2.11	Entwicklung der klassischen Luftschadstoffe.....	95
Abb. 3.1	Das 2 x 3-Säulenkonzept der Nachhaltigkeit.....	115
Abb. 3.2	Determinanten der EDL-Nachfrage.....	116
Abb. 3.3	Die „Ökologisierung“ der Energieumwandlungskette.....	119
Abb. 3.4	Heutige und zukünftige Syntropieprofile im Vergleich.....	121
Abb. 3.5	Energieprofile.....	122
Abb. 3.6	Steigerung der Energieeffizienz.....	123
Abb. 3.7	Allgemeines Modell eines KWK-ETV-Systems.....	136
Abb. 3.8	Nutzungsgrade verschiedener Technologien zur Wärmeerzeugung.....	139
Abb. 3.9	Erweitertes Modell eines KWK-ETV-Systems.....	142
Abb. 3.10	Heutige Situation der Energieversorgung.....	152
Abb. 3.11	Zukünftige Situation der Energieversorgung.....	153
Abb. 3.12	Systematik der Solarenergienutzung.....	155
Abb. 3.13	Das System einer Solar-Wasserstoff-Energiewirtschaft.....	166

Abb. 4.1	Hemmnisse einer rationellen Energienutzung und Instrumente zu deren Überwindung	178
Abb. 4.2	Typische CO <sub>2</sub> -Vermeidungskostenkurve für Industriestaaten.....	185
Abb. 4.3	Die „Produktion“ von EDL in der 2. Stufe.....	193
Abb. 4.4	Interdependenzen zwischen Endenergie- und Energiewandler-Markt.....	194
Abb. 4.5	Ermittlung der kostenminimalen Kombination von Energiebereitstellung und Energieeinsparung.....	195
Abb. 4.6	Zusammenhang von Energie- bzw. Kapitalsubstitution und Effizienzsteigerung.....	198
Abb. 4.7	Gesamt-Übersicht Integrierte Ressourcen-Planung.....	202
Abb. 4.8	IRP-Bilanz der Stadtwerke Hannover.....	208
Abb. 4.9	Wirkung von Internalisierung und Effizienzabgabe.....	210
Abb. 4.10	Teilszenario Qualitäts- versus Preiswettbewerb.....	218
Abb. 4.11	Instrumentenmix einer wettbewerblich- und ökologieorientierten Energiepolitik.....	229
Abb. 5.1	Der Systemansatz der vertikalen Integration nach Jantsch.....	232
Abb. 5.2	Zur Unterscheidung von Bedürfnis, Bedarf und Nachfrage.....	235
Abb. 5.3	Beispiele für einige Funktionen und entsprechende Produkte.....	235
Abb. 5.4	Beispiel für eine produktorientierte und eine funktionsorientierte Sichtweise.....	236
Abb. 5.5	Die 5 Ebenen ökologischer Unternehmenspolitik nach Pfriem.....	238
Abb. 5.6	Zusammenhang von Sach- u. Dienstleistungen mit der Nutzdienstleistung.....	240
Abb. 5.7	Das Grundmodell der Systemoptimierung.....	243
Abb. 5.8	„Ökologisierung“ des Produktlebensweges.....	244
Abb. 5.9	Funktionshierarchie für die Funktion Ernährung bzw. Kühlung.....	247
Abb. 5.10	Potentielle Akteure von Kooperationen am Beispiel Lebensmittelkühlung.....	248
Abb. 5.11	Der Unterschied zwischen einem produktorientierten EVU und einem funktionsorientierten EDU.....	252
Abb. 5.12	Potentielle Dienstleistungen eines EDU.....	253
Abb. 5.13	Funktionshierarchie am Beispiel Gebäudekomfort.....	254
Abb. 5.14	Entwicklungsdynamik eines EDU.....	258
Abb. 5.15	Der Marketing-Mix eines EDU.....	267
Abb. 6.1	Das Grundmodell des Contracting.....	290
Abb. 6.2	Erweiterung der Investitionsmöglichkeiten durch Investitionssplitting.....	292
Abb. 6.3	Die zwei wichtigsten Formen des Contracting.....	297
Abb. 6.4	Betreiber-gesellschaft als Beispiel des Anlagen-Contracting.....	298
Abb. 6.5	Zeitlicher Verlauf des Performance-Contracting.....	300

---

Abb. 6.6	Früher übliche und heute zumeist praktizierte betriebliche Energieversorgung.....	308
Abb. 6.7	Erweiterung der Handlungsoptionen betrieblichen Energieversorgung.....	308
Abb. 6.8	Vom Einspar-Contracting zur vollständigen Rückwärtsintegration der betrieblichen Energieversorgung.....	309
Abb. 6.9	Lern-Erfahrungskurve für innovative Energietechnologien.....	312
Abb. 6.10	Überblick über den Prozeß der Nutzengenerierung bei verschiedenen Anwendungsbereichen im Privathaushalt.....	318
Abb. 6.11	Innovationen bei der Energiegewinnung und –anwendung im Gebäudebereich.....	320
Abb. 6.12	Mögliche Leistungsreduktion durch verschiedene Beleuchtungstechnologien.....	330
Abb. 6.13	Stromverbrauch bzw. –kosten bei verschiedenen Beleuchtungsalternativen.....	332
Abb. 6.14	Darstellung der Einsparungen.....	332
Abb. 6.15	Grenzkosten der Stromeinsparung.....	334
Abb. 6.16	Nicht-quantifizierte Vorteile der Beleuchtungssanierung.....	335
Abb. 6.17	Vergleich der Life-Cycle-Kosten von Beleuchtungsanlagen.....	336
Abb. 6.18	Determinanten der Beleuchtungskosten.....	338
Abb. 6.19	Determinanten der internen Wärmelast.....	339
Abb. 6.20	Ausschnitt aus einem kybernetischen Wirkungsgefüge.....	340
Abb. 7.1	Verschiedene entropietheoretische Zugänge zur ökologischen Problematik.....	352
Abb. 8.1	Entropiebilanz eines offenen Systems.....	354
Abb. 8.2	Entropiebilanzen von ökonomischem, globalem und Sonnen-System .....	355

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1	Umweltpolitische Ziele eines zukunftsfähigen Deutschlands .....	11
Tabelle 2.1	Synopse der bedeutungsähnlichen Begriffe zur Beschreibung von Ordnungszuständen.....	46
Tabelle 2.2	Natürliche und anthropogene Energieumsätze in Deutschland bzw. München.....	82
Tabelle 2.3	Anteile verschiedener Verursacherbereiche und Spurengase am anthropogenen Treibhauseffekt .....	87
Tabelle 2.4	Beispiele für „End-of-pipe-Technologien“ .....	93
Tabelle 3.1	Übersicht der Brennstoffzellentypen.....	131
Tabelle 3.2	Beispiele für ETV-Faktoren.....	136
Tabelle 3.3	Spezialfälle der KWK-ETV.....	137
Tabelle 3.4	Nutzungsgrade als Funktion des elektrischen Wirkungsgrades .....	138
Tabelle 3.5	Technische Potentiale der Energieeinsparung in Deutschland.....	148
Tabelle 3.6	Beispiel für eine energetische Sanierung.....	150
Tabelle 3.7	Heutiger und zukünftiger Nutzenergiebedarf und seine Deckung.....	167
Tabelle 4.1	Schätzung der externen Kosten der Stromerzeugung.....	183
Tabelle 4.2	Auswirkungen der Einführung einer Ökosteuer nach dem DIW-Modell.....	188
Tabelle 5.1	Die vier Betrachtungsebenen von COSY .....	239
Tabelle 5.2	Zweistufige Erweiterung des Funktionsverständnisses eines Kühlgeräteherstellers .....	245
Tabelle 5.3	Typisierung der LCP-Testprogramme.....	276
Tabelle 5.4	Programmergebnisse und - kennzahlen T1 .....	277
Tabelle 5.5	Programmergebnisse .....	278
Tabelle 6.1	Maßnahmenkatalog zur Verbesserung der Beleuchtung.....	329
Tabelle 6.2	Daten der Beleuchtungsanlage vor und nach der Sanierung.....	331
Tabelle 8.1	Brutto-Stromerzeugung nach Energieträgern.....	362
Tabelle 8.2	Primärenergieverbrauch nach Energieträgern.....	362
Tabelle 8.3	Stromverbrauchsverteilung im Jahre 1998.....	362
Tabelle 8.4	Potentiale und derzeitige Nutzung von erneuerbaren Energien in Deutschland.....	363
Tabelle 8.5	Kosten regenerativer Energien.....	363
Tabelle 8.6	Primärenergiegehalt bzw. Brennwert der verschiedenen Energieträger.....	364

---

## Abkürzungsverzeichnis

ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ASR	Arbeitsstättenrichtlinien
ATP	Adenosintriphosphat
AVB	Allgemeine Versorgungsbedingungen
AWN	Abwärmenutzung
BCH	British Columbia Hydro
BCSD	Business Council for Sustainable Development
BEWAG	Berliner Elektrizitäts- u. Wasser AG
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BINE	Bürger-Information Neue Energietechniken
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.
BUNR	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit
BWK	Brennstoff-Wärme-Kraft
BZ	Brennstoffzellen
CIS	Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen
COSY	Company oriented Sustainability
CSD	Commission for Sustainable Development
DB	Deckungsbeiträge
DIN	Deutsches Institut für Normung
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin
DSM	Demand-Side Management
EDL	Energiedienstleistung
EDU	Energiedienstleistungsunternehmen
EJ	Exajoule
EnBW	Energie Baden-Württemberg
EÖ	Evolutorische Ökonomik
EÖÖ	Evolutorische Ökologische Ökonomie
ETV	Elektro-Thermo-Verstärkung
EU	Europäische Union
EVG	elektronische Vorschaltgeräte
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWI	Energiewirtschaftliches Institut, Universität Köln
F.u.E.	Forschung und Entwicklung
FCKW	Fluorkohlenwasserstoff
GAU	Größter anzunehmender Unfall
GFAVO	Großfeuerungsanlagenverordnung
GJ	Gigajoule
GuD-KW	Gas- und Dampf-Kombikraftwerke

GW	Gigawatt
HEW	Hamburger Elektrizitätswerke
HS	Hauptsatz
i.d.R.	in der Regel
i.e.S.	im engeren Sinne
i.w.S.	im weiteren Sinne
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis
IÖB	Institut für ökologische Betriebswirtschaftslehre
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPP	Independent-Power-Producers
IRM	Integriertes Ressourcenmanagement
IRP	Integrierte Ressourcenplanung
IWÖ	Institut für Wirtschaft u. Ökologie, St. Gallen
J	Joule
K	Kelvin
kJ	Kilojoule
KS	KommunalSysteme
KVG	konventionelle Vorschaltgeräte
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCC	Life-Cycle-Costing
LCP	Least-Cost Planning
m. P.	mit Preiserhöhung
MVV	Mannheimer Versorgungs- u. Verkehrsgesellschaft
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
NGR	Nicolas Georgescu-Roegen
o. P.	ohne Preiserhöhung
ÖBU	Vereinigung für ökologisch bewußte Unternehmensführung
ÖE	Öleinheiten
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
P	Leistung
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PEV	Primärenergieverbrauch
PIUS	Produktionsintegrierter Umweltschutz
PJ	Petajoule
REG	Regenerative Energiequellen
REN	Rationelle Energienutzung
RWE	Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke
SGE	strategische Geschäftseinheiten

---

Si	Silizium
SKE	Steinkohleeinheiten
SMUD	Sacramento Municipal Utility District
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
SSM	Supply-Side Management
SWH	Stadtwerke Hannover
SWS	Stadtwerke Saarbrücken
TA	Technische Anleitung
TJ	Terajoule
TLR	Tageslichtregelung
TRCT	Total-Ressource-Cost-Test
TW <sub>a</sub>	Terawattjahr
TW <sub>h</sub>	Terawattstunde
UCT	Utility-Cost-Test
UK	United Kingdom
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNCHE	United Nations Conference on Human Environment
UNEP	United Nations Environment Programme
UV	Ultraviolett
UWF	Umwelt-Wirtschafts-Forum
VBG	Verband der Berufsgenossenschaft
VDEW	Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VEBA	Vereinigte Elektrizitätswerke und Bergbau
VEW	Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG
VG	Vorschaltgerät
VIAG	Vereinigte Industrie Unternehmen
VIK	Vereinigung Industrielle Kraftwirtschaft
VVG	verlustarme Vorschaltgeräte
W	Watt
WEC	World Energy Council
Wh	Wattstunden
WKA	Windkraftanlage
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
Ws	Wattsekunde
WSVO	Wärmeschutzverordnung
ZfO	Zeitschrift Führung u. Organisation