

Inhaltsverzeichnis

I Vorwort	V
II Inhaltsverzeichnis	VII
III Abbildungsverzeichnis	XIII
IV Tabellenverzeichnis	XVII
V Verzeichnis der Abkürzungen	XIX
1 Einführung	1
1.1 Philosophische und evolutionstheoretische Aspekte der Energie	1
1.2 Warum Energieökonomik	3
1.2.1 Preise als Koordinierungsinstrument.....	4
1.2.2 Besonderheiten der Energiemärkte.....	7
1.2.3 Energiepolitik	9
1.3 Entwicklung der Fachrichtung „Energieökonomik“	11
1.4 Energieökonomik und Ethik	12
Literatur	13
2 Naturwissenschaftlich-technische Grundlagen	15
2.1 Energie aus naturwissenschaftlicher Sicht	15
2.1.1 Physik.....	16
2.1.2 Chemie	17
2.1.3 Biologie	18
2.2 Energie aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht	19
2.2.1 Energieeinheiten	20
2.2.2 Technische Energiewandlung.....	21
2.3 Energiebilanz	23
2.3.1 Bruttoenergie (Primärenergie).....	24
2.3.2 Endenergie.....	26
2.3.3 Statistische Datenquellen.....	27
2.3.4 Nutzenergie	28
2.4 Kumulierter Energieaufwand.....	29

2.5 Energetische Input/Output-Tabelle	30
Literatur	35
3 Wirtschaftlichkeitsrechnung	37
3.1 Grundlagen	38
3.2 Zinssatz als Preis für die Nutzung von Kapital	43
3.3 Inflationsbereinigter Marktzins	44
3.4 Zinsen und direkte Steuern	46
3.5 Marktzins und Risiko	47
3.5.1 <i>Capital Asset Pricing Model (CAPM)</i>	48
3.5.2 Neue <i>Asset-Pricing</i> -Bewertungsverfahren	50
3.6 Soziale Zeitpräferenz	51
3.7 Realoptionen	55
3.7.1 Konzept zur Bewertung von Realoptionen	55
3.7.2 Black-Scholes-Bewertungsmodell	57
3.7.3 Anwendungs-Beispiel Ausgleichsenergie	60
Literatur	62
4 Bottom-up-Analyse der Energienachfrage	65
4.1 Grundkonzept der Prozessanalyse	66
4.2 Bestand an Geräten, Gebäuden, Fahrzeugen und Anlagen	68
4.3 Kurzfristige Bestimmungsgründe der Energienachfrage	73
4.4 Energieeffizienz	77
4.4.1 Effizienzpotential	80
4.4.2 Energieeffizienz und Marktversagen	82
4.4.3 Contracting	85
4.5 Innovationen und technischer Fortschritt	87
4.5.1 Invention: Forschung und Entwicklung	89
4.5.2 Innovation im engeren Sinne	91
4.5.3 Imitation: Diffusion und Lernkurven	93
Literatur	94
5 Top-down-Analyse der Energienachfrage	97
5.1 Bevölkerungswachstum	98
5.2 Wirtschaftswachstum	100
5.3 Energiepreiseffekte	103
5.3.1 Kurz- und langfristige Preiselastizitäten	103
5.3.2 Partialanalytischer Modellansatz	105
5.3.3 Fallstudie Haushaltsstromnachfrage	109
5.3.4 Substitution zwischen Energie und Kapital	112
5.4 Energienachfrage und technischer Fortschritt	117
Literatur	119
6 Endliche Reserven und Nachhaltigkeit	121
6.1 Ressourcen und Reserven	122

6.1.1 Ressourcen	123
6.1.2 Reichweite von fossilen Energiereserven.....	125
6.2 Einzelwirtschaftlich optimale Ressourcennutzung	127
6.2.1 Hotelling-Preisfad	127
6.2.2 Rolle von <i>Backstop</i> -Techniken.....	130
6.2.3 Rolle von Erwartungen und Erwartungsirrtümern	132
6.3 Gesamtwirtschaftlich optimale Ressourcennutzung	133
6.3.1 Der optimale Konsumpfad	136
6.3.2 Der optimale Abbaupfad der Reserve	138
6.3.3 Ursachen und Folgen von Marktversagen	139
6.4 Nachhaltigkeit.....	141
6.4.1 Potential an regenerativen Energiereserven.....	141
6.4.2 Hartwick-Regel für schwache Nachhaltigkeit	143
6.4.3 Bevölkerungswachstum und technischer Fortschritt	148
6.4.4 Anwendungen der Hartwick-Regel	148
Literatur	150
7 Externe Kosten	153
7.1 Das Coase-Theorem.....	154
7.2 Aggregierte Emissionen.....	157
7.3 Umweltpolitische Instrumente	160
7.3.1 Internalisierungsansätze	161
7.3.2 Standard-orientierte Ansätze	163
7.4 Messung der energiebedingten externen Kosten.....	164
Literatur	169
8 Märkte für flüssige Energieträger	171
8.1 Flüssige Energieträger	172
8.1.1 Eigenschaften von Erdöl.....	172
8.1.2 Reserven und Gewinnung von konventionellem Erdöl	174
8.1.3 Die <i>Peak-Oil</i> -These.....	176
8.1.4 Unkonventionelles Erdöl.....	178
8.1.5 Raffinerien und Erdölprodukte.....	180
8.1.6 Biogene flüssige Energieträger.....	182
8.2 Erdölwirtschaft	186
8.2.1 Der Beginn als vertikal integriertes Monopol	186
8.2.2 Globales Oligopol vertikal integrierter privater <i>Majors</i>	188
8.2.3 <i>OPEC</i> -Kartell der Erdöl exportierenden Länder	191
8.2.4 Staatseigene Erdölförderung	195
8.3 Preisbildung	199
8.3.1 Erdöl-Spotmarktpreise.....	200
8.3.2 Ölpreis-Prognosen und -Szenarien	204
8.3.3 Preise von Erdöl-Futures	208
8.3.4 Großhandelspreise von Mineralölprodukten	211
8.3.5 Endkundenpreise von Treibstoffen.....	213

Literatur	214
9 Märkte für gasförmige Energieträger	217
9.1 Gasförmige Energieträger	218
9.1.1 Eigenschaften	219
9.1.2 Reserven und die Gewinnung von Erdgas	220
9.1.3 Biogas und Bio-Erdgas	222
9.1.4 Wasserstoff	224
9.2 Erdgaswirtschaft	226
9.2.1 Pipeline-Transport	226
9.2.2 LNG-Transport	232
9.3 Preisbildung	234
9.3.1 Langfristige <i>Take-or-Pay</i> -Verträge	235
9.3.2 Erdgas-Sporthandel	238
9.3.3 Strukturierungspreise	243
9.4 Gasnetz-Zugang nach dem <i>Entry-Exit</i> -Modell	245
Literatur	247
10 Märkte für feste Energieträger	249
10.1 Festbrennstoffe	250
10.1.1 Kohlereserven und -förderung	251
10.1.2 Tagebau und Untertage-Bergbau	252
10.1.3 Braunkohle	253
10.1.4 Biogene Festbrennstoffe	254
10.2 Kohlewirtschaft	258
10.2.1 Trotz Subventionen schrumpfende Steinkohle-Förderung	259
10.2.2 Internationaler Steinkohlehandel	261
10.2.3 Preisbildung für Kesselkohle	263
10.2.4 Preisbildung für Kokskohle	266
10.2.5 Kohleverflüssigung	267
Literatur	268
11 Kernenergie	269
11.1 Grundlagen der Kerntechnik	270
11.1.1 Radioaktivität	271
11.1.2 Uranbrennstoff	273
11.1.3 Abgebrannter Brennstoff	274
11.2 Uranmarkt	276
11.3 Kernenergie-Risiken	279
11.3.1 Probabilistische Sicherheitsanalyse von Kernkraftwerken	281
11.3.2 Risiko-Bewertung mit dem (μ, σ^2) -Kriterium	283
11.3.3 Risiko-Bewertung über bekundete Präferenzen	287
Literatur	289

12 Märkte für Elektrizität	291
12.1 Besonderheiten des Produkts Elektrizität	292
12.1.1 Elektrizität und Konsumentenrente	293
12.1.2 Nicht-Speicherbarkeit der Elektrizität	294
12.1.3 Leitungsgebundenheit	295
12.2 Elektrizitätserzeugung	298
12.2.1 Kraftwerkstypen	298
12.2.2 Kraftwerksplanung in geschlossenen Versorgungsgebieten	301
12.2.3 Kraftwerks- <i>Dispatching</i> auf liberalisierten Strommärkten	303
12.2.4 Eigenschaften von <i>Day-ahead</i> -Strompreisen	305
12.2.5 Marktmacht	309
12.2.6 Portfolio-Management	312
12.2.7 Kraftwerksplanung unter Wettbewerbsbedingungen	315
12.3 Exkurs: Kraft-Wärme-Kopplung	318
12.4 Nutzung der Elektrizitätsnetze	322
12.4.1 Elektrizitätsnetze als natürliche Monopole	322
12.4.2 Optimale Netznutzungsentgelte	323
12.4.3 Anreizregulierung	328
12.4.4 Wirtschaftlicher Umgang mit Netzengpässen	330
12.4.5 Märkte für Regel- und Ausgleichsenergie	332
12.5 Unbundling	334
12.5.1 Modell zu den Wohlfahrtseffekten der Entflechtung	336
12.5.2 Vertikale Integration bei Wohlfahrtsoptimierung	338
12.5.3 Vertikale Integration im Monopolfall	339
12.5.4 <i>Unbundling</i> -Alternative bei Wohlfahrtsoptimierung	340
12.5.5 <i>Unbundling</i> -Alternative bei unreguliertem Netzmonopol	342
Literatur	343
13 Märkte für Treibhausgas-Emissionen	345
13.1 Das Treibhausproblem	346
13.1.1 Merkmale des Treibhausgasproblems	347
13.1.2 Treibhausgase	349
13.1.3 Treibhausgas-Reduktionsziele	350
13.2 Handelbare Emissionsberechtigungen	353
13.2.1 Grundlagen	353
13.2.2 Implementierung	355
13.2.3 Weitere flexible Mechanismen	359
13.3 Preisbildung für Emissionsberechtigungen	360
Literatur	364
Index	367

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1. Koordination von Angebot und Nachfrage durch den Preis.....	5
Abb. 1.2. Das magische Dreieck energiepolitischer Ziele	10
Abb. 2.1. Prinzip einer Dampfmaschine	22
Abb. 2.2. Schematisches Energieflussbild	24
Abb. 3.1. Barwert als Funktion des Kalkulationszinses.....	41
Abb. 3.2. Energiekosten als Funktion von Nutzungsdauer und Zins	42
Abb. 3.3. Aggregierte Kapitalnachfrage und aggregiertes Kapitalangebot.....	43
Abb. 3.4. Bewertung zukünftiger Zahlungen bei unterschiedlich hohen Zinsen ..	52
Abb. 3.5. Bewertung einer finanziellen Call-Option.....	57
Abb. 3.6. Optionspreis in Abhängigkeit vom erwarteten Deckungsbeitrag	61
Abb. 3.7. Optionspreis in Abhängigkeit von der Volatilität (Vega).....	62
Abb. 4.1. Skizze des prozessanalytischen Modells der Energienachfrage	66
Abb. 4.2. Logistischer Zusammenhang für die Besitzwahrscheinlichkeit	70
Abb. 4.3. Struktur eines <i>Nested Logit</i> -Modells.....	73
Abb. 4.4. Beispiel eines wöchentlichen Stromlieferfahrplans	74
Abb. 4.5. Nicht-lineare Beziehung zwischen Temperatur und Stromnachfrage ..	76
Abb. 4.6. Ingenieur- und wirtschaftswissenschaftliche Energieeffizienz.....	80
Abb. 4.7. Theoretisches und realisierbares Energieeinsparpotential.....	81
Abb. 4.8. Verzögerung einer Einsparmaßnahme als Realoption.....	85
Abb. 4.9. Entwicklung der Effizienz von Fahrzeugen und Wohngebäuden	87
Abb. 4.10. F&E-Vorhaben zur nachfrageorientierten Energietechnik	90
Abb. 5.1. Lorenz-Kurven der Energie- und Einkommensverteilung 2002	99
Abb. 5.2. Wechselkurs und Kaufkraftparität.....	102
Abb. 5.3. Kurz- und langfristige Anpassung an eine Angebotsverknappung	104
Abb. 5.4. Substitution zwischen Energie und Kapital.....	112
Abb. 5.5. Isoquanten mit unterschiedlichen Substitutionselastizitäten	114
Abb. 5.6. Verschiebung der Isoquante durch technischen Fortschritt.....	117
Abb. 6.1. Logistischer Verlauf der kumulierten Entdeckungen	124
Abb. 6.2. Schätzungen der ultimativ gewinnbaren Erdölressourcen.....	125
Abb. 6.3. Statische Reichweite der Erdöl- und Erdgasreserven	126
Abb. 6.4. Optimaler Abbau einer erschöpfbaren Reserve.....	131
Abb. 6.5. Preispfade bei Kapazitätsengpässen und Marktmacht.....	140
Abb. 6.6. Vergleich zwischen Ramsey- und Hartwick-Konsumpfad.....	143
Abb. 6.7. Produktionsfunktion mit alternativen Substitutionselastizitäten	147
Abb. 7.1. Pareto-optimaler Output bei negativen externen Effekten	154

Abb. 7.2. Grenzgewinn und externe Grenzkosten	156
Abb. 7.3. Auswirkungen einer Emissionsreduktion auf das Marktergebnis	159
Abb. 7.4. Auswirkungen eines unterschätzten Grenzgewinns	162
Abb. 8.1. Charakterisierung von Ölsorten (Quelle: BGR)	173
Abb. 8.2. Grenzkosten der Erdölförderung (Quelle: <i>Oil Industry Trends</i>)	175
Abb. 8.3. Globale Erdölförderung	175
Abb. 8.4. Erdölförderung in den USA (Quelle: <i>EIA, CGES</i>)	176
Abb. 8.5. Globale Raffinerie-Kapazitäten (Datenquelle: <i>EIA</i>)	182
Abb. 8.6. Entwicklung der Erdölpreise zwischen 1900 und 2005	189
Abb. 8.7. Förderung und Raffineriekapazitäten der Erdölgesellschaften	190
Abb. 8.8. <i>OPEC</i> -Marktanteil und Rohölpreisentwicklung	192
Abb. 8.9. Erdöl-Exporterlöse des <i>OPEC</i> -Kartells (Datenquelle: <i>CGES 2005</i>)	198
Abb. 8.10. <i>Brent</i> -Spotmarktpreise 1995–2006 (Datenquelle: <i>EIA</i>)	200
Abb. 8.11. Histogramm von $\Delta \ln p_t$ im Zeitraum 2005–2006	205
Abb. 8.12. Erdölpreis-Prognosen des <i>US Department of Energy (DOE)</i>	206
Abb. 8.13. Perspektiven der Erdölversorgung	207
Abb. 8.14. Forward-Kurven für Erdöl (<i>WTI</i>) seit 1993	210
Abb. 8.15. Raffinerie-Margen (<i>Crack Spread</i>) in den USA	212
Abb. 8.16. Saisonalität der Benzin- und Heizölpreise in den USA	213
Abb. 9.1. Verwendbare Erdgasförderung	222
Abb. 9.2. Zünd- und Detonationsgrenzen	225
Abb. 9.3. Kostenvergleich großräumiger Kohlenwasserstoff-Transporte	233
Abb. 9.4. Erdgas-Grenzübergangspreis nach Deutschland	235
Abb. 9.5. Erdgas- und Heizölpreise auf dem US-amerikanischen Spotmarkt	240
Abb. 10.1. Globale Kohleförderung (Stein- und Braunkohle)	252
Abb. 10.2. Klassifizierung von biogenen Festbrennstoffen	255
Abb. 10.3. Deutsche Steinkohleförderung und Importe	259
Abb. 10.4. Steinkohlekosten und Importpreise in Deutschland	260
Abb. 10.5. <i>ARA</i> -Spotmarktpreise für Kesselkohle	263
Abb. 10.6. (<i>Clean</i>) <i>Dark Spread</i> zwischen 2001 und 2006	265
Abb. 11.1. Weltweite Stromerzeugung aus Kernenergie	271
Abb. 11.2. Uran-Angebot und Nachfrage (Quelle: <i>GERLING et al. 2005</i>)	277
Abb. 11.3. Spotmarktpreise für Natururan	278
Abb. 11.4. Marginale Zahlungsbereitschaft gegenüber Kernenergie-Risiken	288
Abb. 12.1. Elektrizitätsnachfrage an typischen Wochentagen	294
Abb. 12.2. Leistungskennlinie von Windkraftanlagen	299
Abb. 12.3. Exemplarische Durchschnittskosten thermischer Kraftwerke	301
Abb. 12.4. Geordnete Leistungsdauerlinie und Kraftwerksplanung	302
Abb. 12.5. <i>Dispatching</i> und Preisbildung auf dem Elektrizitäts-Spotmarkt	304
Abb. 12.6. Histogramm der bereinigten <i>Day-ahead</i> -Strompreise	306
Abb. 12.7. Geordnete Preisdauerlinie	316
Abb. 12.8. Energetischer Verbundvorteil der Kraft-Wärme-Kopplung	318
Abb. 12.9. Typische Auslegung eines Blockheizkraftwerks	319
Abb. 12.10. Spezifische Investitionskosten von Blockheizkraftwerken	320
Abb. 12.11. Natürliches Monopol der Elektrizitätsnetze	324

Abb. 12.12. Flussumkehr zur Beseitigung von Netzengpässen	330
Abb. 12.13. Strom-Spotmarktpreise und Preise für Ausgleichsenergie	334
Abb. 13.1. Globale CO ₂ -Emissionen (Datenquelle: <i>EIA</i> 2006)	347
Abb. 13.2. Emissions-Trajektorien zur Stabilisierung der CO ₂ -Konzentration ..	351
Abb. 13.3. Vergleich der Grenzvermeidungskosten zweier Unternehmen	354
Abb. 13.4. Emissionshandel zwischen zwei Unternehmen.....	354
Abb. 13.5. Elektrizitäts- und <i>EUA</i> -Preise im Frühjahr 2006.....	357
Abb. 13.6. Preisentwicklung der CO ₂ -Berechtigungen 2005-2006.....	361

IV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1. Energetische Nutzleistungen.....	19
Tabelle 2.2. Konversionstabelle (basierend auf IEA-Umrechnungsfaktoren)	21
Tabelle 2.3. Technische Verfahren der Energiewandlung (Beispiele).....	21
Tabelle 2.4. Energiebilanz für Deutschland 2004 im IEA-Format	25
Tabelle 2.5. Weltweite Nutzung der kommerziellen Primärenergieträger.....	27
Tabelle 2.6. Kumulierter Energieaufwand verschiedener Energieträger	30
Tabelle 2.7. Input/Output-Tabelle einer Volkswirtschaft (in Geldeinheiten)	31
Tabelle 2.8. Energetische Input/Output-Tabelle einer Volkswirtschaft.....	31
Tabelle 2.9. Leontief-Koeffizienten zur Input/Output-Tabelle 2.7	33
Tabelle 3.1. Rentenbarwertfaktoren.....	40
Tabelle 3.2. Besteuerung inflationär aufgeblähter Erträge	47
Tabelle 3.3. Gegenüberstellung der Bewertungsfaktoren für Call-Optionen.....	59
Tabelle 3.4. Realoptionswert entsprechend dem Black-Scholes-Modell.....	60
Tabelle 4.1. Beispiele für Energienachfrageindikatoren.....	68
Tabelle 4.2. Beispiel zur Berechnung der impliziten Diskontrate	83
Tabelle 5.1. Bevölkerung und kommerzielles Pro-Kopf-Energieaufkommen.....	98
Tabelle 5.2. Bevölkerung, Pro-Kopf-Einkommen und Energieintensität	101
Tabelle 5.3. Einkommens- und Preiselastizitäten der Rohölnachfrage.....	108
Tabelle 5.4. Strompreiselastizitäten der schweizerischen Haushalte.....	111
Tabelle 5.5. Substitutionselastizitäten zwischen Kapital, Arbeit und Energie....	116
Tabelle 6.1. Klassifikation der ultimativ gewinnbaren Ressourcen.....	122
Tabelle 6.2. Globale fossile Energiereserven und Ressourcen	123
Tabelle 6.3. Kalkulationsbeispiel für Rohstofflagerstätten.....	132
Tabelle 6.4. Weltweites Potential an erneuerbaren Energien.....	142
Tabelle 7.1. Externe Kosten der Stromerzeugung in Deutschland.....	168
Tabelle 8.1. Standard-Umrechnungsfaktoren für Rohöl.....	172
Tabelle 8.2. Eigenschaften von Rohölsorten	173
Tabelle 8.3. Konventionelle Erdölreserven und Erdölförderung 2005	174
Tabelle 8.4. Fördermaximum konventionelles Erdöl.....	177
Tabelle 8.5. Eigenschaften von Erdöl und Erdölprodukten	180
Tabelle 8.6. Typisches Produktportfolio moderner Raffinerien	181
Tabelle 8.7. Kennwerte flüssiger Kraftstoffe.....	183
Tabelle 8.8. Ernteerträge von Bioenergieträgern (Ganzpflanzen)	185
Tabelle 8.9. Megafusionen zwischen Erdöl-Majors	191
Tabelle 8.10. Auszahlungsmatrix in <i>Prisoner's Dilemma</i> -Situationen.....	193

Tabelle 9.1. Konversionsfaktoren in der Gaswirtschaft.....	218
Tabelle 9.2. Eigenschaften gasförmiger Energieträger.....	219
Tabelle 9.3. Approximative Speicherdichten von Energieträgern.....	220
Tabelle 9.4. Konventionelle Erdgasreserven und Erdgasförderung 2005.....	221
Tabelle 9.5. Indikatoren für Erdgas- und Heizöl-Spotmarktpreise.....	241
Tabelle 9.6. Indikatoren für Erdgas-Lieferungen.....	243
Tabelle 10.1. Eigenschaften von Festbrennstoffen.....	250
Tabelle 10.2. Kohlereserven und Kohleförderung 2005.....	251
Tabelle 10.3. Braunkohle in Deutschland.....	254
Tabelle 10.4. Kennwerte von nachwachsenden festen Energieträgern.....	255
Tabelle 10.5. Teststatistiken der Null-Hypothese: Keine Ko-Integration.....	264
Tabelle 11.1. Marksteine zur Entwicklung der Kernenergie.....	270
Tabelle 11.2. Maßeinheiten für Radioaktivität.....	272
Tabelle 11.3. Spezifische Kosten der Herstellung von Uranbrennstäben.....	273
Tabelle 11.4. Bilanz von 100 t Uranbrennstoff in einem Leichtwasserreaktor...	274
Tabelle 11.5. Radioaktivität von 100 Tonnen Reaktorbrandstoff.....	275
Tabelle 11.6. Globaler Uranbedarf 2005.....	277
Tabelle 11.7. Störfall-Szenarien für das Kernkraftwerk Mühleberg (Schweiz)..	281
Tabelle 11.8. Störfallwerte von Kernkraftwerken.....	282
Tabelle 12.1. Durchschnittliche Verluste im Stromnetz (in Prozent).....	296
Tabelle 12.2. Typische Eigenschaften moderner Kraftwerke.....	300
Tabelle 12.3. Schätzergebnisse für die täglichen <i>Day-ahead</i> -Strompreise.....	306
Tabelle 12.4. Verteilungsparameter der täglichen <i>Day-ahead</i> -Strompreise.....	308
Tabelle 12.5. Unternehmens-Konzentration bei der Stromerzeugung.....	309
Tabelle 12.6. Kleinste-Quadrate-Schätzung von Modell (12.24).....	315
Tabelle 12.7. Inhalt von Entflechtungsvorgaben (<i>Unbundling</i>).....	335
Tabelle 12.8. Vertikale Integration und Entflechtung im Vergleich.....	337
Tabelle 13.1. Spezifische CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung.....	348
Tabelle 13.2. Wichtige Treibhausgase.....	350
Tabelle 13.3. CO ₂ -Preise und Energiegroßhandelspreise 2005.....	361