

Inhaltsverzeichnis

Teil I Energiewirtschaft, Elektrizitätswirtschaft

1	Energiewirtschaft und Klimaschutz	3
1.1	Grundbegriffe, geschichtlicher Rückblick	3
1.1.1	Energiesektor	3
1.1.2	Nutzprozesse	5
1.1.3	Geschichtlicher Rückblick	5
1.1.4	Perspektiven und Probleme	7
1.2	Verfügbarkeit der Primärenergie	7
1.2.1	Nicht erneuerbare Energien	8
1.2.2	Erneuerbare Energien	12
1.2.3	Potential und Nutzung der wichtigsten Solarenergiearten	14
1.2.4	Ökologische Probleme	20
1.3	Energiebedarf, CO ₂ -Emissionen, Indikatoren	22
1.3.1	Allgemeines	22
1.3.2	Endenergie und Verluste des Energiesektors	23
1.3.3	Weltweiter Bruttoenergiebedarf, Energiesektor	24
1.3.4	CO ₂ -Emissionen und Indikatoren	25
1.4	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen in Europa	27
1.4.1	Bevölkerung und Bruttoinlandsprodukt	27
1.4.2	Energieverbrauch pro Kopf	28
1.4.3	Energieintensität und CO ₂ -Emissionen	30
1.4.4	Endenergie und Verluste des Energiesektors in der EU-15	30
1.4.5	Länder mit mehr als 30 Mio. Einwohner	30
1.5	Weltweiter Energiebedarf	35
1.5.1	Energieverbrauch in der Vergangenheit	35
1.5.2	Energiebedarf, Bevölkerung und BIP in 2017	37
1.5.3	Primär- und Endenergie und ihre Verteilung 2017	41
1.6	Zukünftige Entwicklung des Weltenergiebedarfs	53
1.6.1	Entwicklung der Weltbevölkerung	54
1.6.2	Zunahme des BIP (KKP) und Energienachfrage	56
1.7	CO ₂ -Emissionen und Klimaschutz	57

1.7.1	Klimaschutz, mittel- und langfristige Maßnahmen	57
1.7.2	Elektrizitätsverbrauch und Klimaschutz	61
1.7.3	Transportbereich	64
1.7.4	Wärmebereich	66
	Literatur.	66
2	Energiewirtschaftliche Grundlagen	69
2.1	Verbrauch elektrischer Energie	70
2.1.1	Struktur des Elektrizitätsverbrauchs	71
2.1.2	Schwankungen des Elektrizitätsbedarfs.	72
2.2	Deckung des Elektrizitätsbedarfs.	74
2.2.1	Kraftwerkarten	74
2.2.2	Kraftwerkeinsatz	75
2.2.3	Wasserspeicherung	78
2.2.4	Energieaustausch	79
2.2.5	Leistungsbilanzen und Netzstabilität	80
2.3	Investitionsrechnung, Diskontierungsverfahren.	82
2.3.1	Kapitalwertmethode	82
2.3.2	Annuitätenmethode	84
2.4	Kosten der Energie.	85
2.4.1	Kosten der elektrischen Energie.	86
2.4.2	Spezifische Energiekosten an den Kraftwerksklemmen.	87
2.4.3	Spezifische Jahreskosten der Kraftwerke.	89
2.4.4	Kosten der elektrischen Energie am Verbraucher	89
2.4.5	Einfluss der stochastischen Einspeisung von Windenergie und Solarenergie.	91
2.5	Strompreisgestaltung	92
2.5.1	Verteilung der Selbstkosten	93
2.5.2	Stromtarife	102
	Literatur.	110
3	Elektrizitätswirtschaft, Liberalisierung	111
3.1	Wettbewerb im Elektrizitätssektor.	111
3.1.1	Einführung	111
3.2	Grundpfeiler des Wettbewerbs und Probleme	112
3.2.1	Konkurrenz zwischen Produzenten	112
3.2.2	Reorganisationsmodelle	114
3.2.3	Trennung von Netz und Energie – Bilanzgruppen.	118
3.2.4	Privatisierung, Regulierung der Monopole	121
3.2.5	Konsequenzen der Marktöffnung.	122
3.3	Der liberalisierte Strommarkt in der Schweiz	123
3.3.1	Allgemeine Voraussetzung für einen funktionierenden Elektrizitätsmarkt.	123
3.3.2	Daten zur schweizerischen Elektrizitätsversorgung.	131
3.3.3	Entwicklung zum Strommarkt CH.	135
3.3.4	Kernthemen des Strommarkts CH.	138

3.3.5	Transparenz durch Sunshine-Regulierung	154
3.3.6	2. Stufe der Marktöffnung/Anreizregulierung	155
3.4	Funktionsweise liberalisierter Elektrizitätsmärkte	156
3.4.1	Motivation für Privatisierung und Liberalisierung	156
3.4.2	Der Aufbau wettbewerblich organisierter Elektrizitätsmärkte	162
3.4.3	Dienstleistungsmarkt	172
3.4.4	Wettbewerbsmarkt	183
3.4.5	Besonderheiten internationaler Realisierungen liberalisierter Elektrizitätsmärkte	204
3.4.6	Erfahrungen in liberalisierten Märkten	210
3.4.7	Ausblick auf Anforderungen in Elektrizitätsversorgungssystemen mit sehr hohem Anteil erneuerbarer Energiequellen – Smart Grids in liberalisierten Märkten	220
3.5	Risikomanagement in der Elektrizitätswirtschaft	223
3.5.1	Enterprise Risk-Management (Theorie)	224
3.5.2	Enterprise Risk-Management (Praxis)	264
	Literatur	282

Teil II Kraftwerktechnik, Energieumwandlung

4	Wasserkraftwerke	287
4.1	Einführung	287
4.2	Hydrologische Planungsgrundlagen	290
4.3	Laufkraftwerke	292
4.3.1	Wasserbewirtschaftung	293
4.4	Speicherkraftwerke	296
4.4.1	Tages- und Wochenspeicherwerke	296
4.4.2	Jahresspeicherwerke (Saisonspeicherwerke)	298
4.4.3	Pumpspeicherung	302
4.5	Wasserturbinen	303
4.5.1	Pelton-Turbine	304
4.5.2	Reaktionsturbinen	309
4.5.3	Turbinenwahl	319
4.5.4	Kleinwasserkraftwerke	321
4.6	Dynamik	322
4.6.1	Druckstollen	323
4.6.2	Wasserschloss	324
4.6.3	Starre Druckleitung	325
4.6.4	Gesamtmodell des hydraulischen Systems	325
4.6.5	Elastischer Druckstoß	328
4.6.6	Gesamtmodell des hydraulischen Systems mit Elastizität	332
4.6.7	Wasserturbinen- und Wasserkraftwerk-Modell	332
	Literatur	338

5	Thermische Kraftwerke	341
5.1	Einführung	341
5.2	Dampfkraftprozess	346
5.2.1	Rankine- und Clausius-Rankine-Kreisprozess	346
5.2.2	Zwischenüberhitzung und Speisewasservorwärmung	348
5.3	Gasturbinenprozess	350
5.3.1	Einfacher offener Gasturbinenprozess (Joule-Prozess)	350
5.3.2	Rekuperation	353
5.3.3	Carnotisierung	355
5.4	Kombiprozesse	356
5.5	Wärme-Kraft-Kopplung	359
5.5.1	Entnahme-Kondensationsschaltung	359
5.5.2	Gegendruckanlage	361
5.5.3	Gasturbinen	362
5.5.4	Blockheizkraftwerke	363
5.5.5	Wärme-Kraft-Kopplung und CO ₂ -Produktion	364
5.6	Fossilgefeuerte Dampfkraftwerke	364
5.6.1	Luft-Brennstoff-Rauchgas/Asche-Kreislauf	364
5.6.2	Wasser-Dampf-Kreislauf, Verluste	364
5.6.3	Kühlwasserkreislauf	366
5.6.4	Blockregelung	367
5.6.5	Dynamik	372
5.7	Kernkraftwerke	375
5.7.1	Energiegewinnung durch Kernspaltung	375
5.7.2	Reaktorkonzepte	378
5.7.3	Dampfkreisprozess und Regelung	380
5.7.4	Reaktorsicherheit und Brennstoffkreislauf	380
5.7.5	Risiken der Kernkraft	383
5.7.6	Wirkung der Radioaktivität	389
5.8	Kraftwerke mit kombiniertem Gas- und Dampfprozess	392
5.8.1	GUD-Kraftwerke	392
5.8.2	GUD- Kraftwerke mit Zusatzfeuerung im Abhitzeessel	395
5.8.3	Verbundkraftwerke	395
5.8.4	Kombikraftwerk mit nachgeschaltetem atmosphärischem Dampferzeuger	396
5.8.5	Kraftwerke mit Kohleumwandlung unter Druck	397
5.8.6	Dynamisches Verhalten	397
5.9	Kraftwerksleittechnik	399
5.9.1	Entwicklung	399
5.9.2	Aufbau	400
5.9.3	Ausblick	402
	Literatur	402

6	Die Wärmepumpe	405
6.1	Energiewirtschaftliche Bedeutung	405
6.1.1	Exergetischer Vergleich	406
6.1.2	Vergleich der Energie-Nutzungsgrade	407
6.2	Prinzip und Aufbau	411
6.2.1	Der idealisierte Kreisprozess	411
6.2.2	Der reale Kreisprozess	413
6.2.3	Leistungsziffer und Arbeitszahl	415
6.3	Einsatz	416
6.3.1	Verlauf der Außentemperatur	416
6.3.2	Art und Bemessung der Wärmeverteilungsanlage	417
	Literatur	419

Teil III Alternative Stromerzeugung, chemische Energiespeicher

7	Windkraftwerke	423
7.1	Einführung	423
7.2	Die kinetische Energie des Windes	427
7.2.1	Theoretische Windleistung	427
7.2.2	Windgeschwindigkeit	428
7.2.3	Energieangebot	429
7.2.4	Die Weibull-Verteilung	430
7.3	Windradtypen und ihre Leistung	433
7.4	Horizontalachsige Windrotoren	435
7.4.1	Theorie von Betz	435
7.4.2	Tragflügeltheorie	437
7.5	Moderne horizontalachsige Windturbinen	439
7.6	Andere Windradtypen	440
7.6.1	Der Darrieus-Rotor	440
7.6.2	Der Savoniusrotor	444
7.7	Betrieb und Regelung, Auslegung	447
7.7.1	Leistung und Betriebsarten	447
7.7.2	Leistungsregelung	448
7.7.3	Netzbetrieb	449
7.7.4	Inselbetrieb	450
	Literatur	451
8	Photovoltaik	453
8.1	Einführung	453
8.2	Physikalische Grundlagen, fotoelektrischer Effekt	462
8.2.1	Photoleitung	464
8.2.2	Der P-N-Übergang	465
8.3	Photovoltaischer Effekt, Photostrom	467
8.4	Solarzelle, Gesamtwirkungsgrad	474

8.4.1	Kennlinie und Ersatzschema	474
8.4.2	Leerlaufspannung	477
8.4.3	Füllfaktor	478
8.4.4	Gesamtwirkungsgrad	480
8.4.5	Möglichkeiten zur Wirkungsgradverbesserung	480
8.4.6	Solarzellentypen	482
8.5	Die Sonne als Energiequelle	484
8.5.1	Extraterrestrische Strahlungsintensität	484
8.5.2	Scheinbare Sonnenbewegung relativ zur Erde	485
8.5.3	Berechnung des Sonnenstands	488
8.5.4	Berechnung der Strahlungsintensität	489
8.5.5	Strahlungsenergie pro Tag	490
8.5.6	Wirkung der Atmosphäre	493
8.5.7	Strahlungsintensität mit Atmosphäre	494
8.6	Systemtechnik	497
8.6.1	Solarmodule und Solargeneratoren	497
8.6.2	Inselsysteme	497
8.6.3	Netzgekoppelte PV-Anlagen	498
8.6.4	Wechselrichter	499
8.6.5	Modellierung der Solarmodule	501
	Literatur	505
9	Wasserstoff und Brennstoffzellen	507
9.1	Nutzung von Wasserstoff als Endenergieträger	507
9.2	Aufbau und Typen	510
9.3	Prinzip und Modell	512
9.3.1	Elektrochemische Grundlagen	512
9.3.2	Lineares Modell	514
9.4	Brennstoffzellen für stationäre Anwendungen	515
9.4.1	Phosphorsäure-Brennstoffzelle (PAFC)	515
9.4.2	Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC)	516
9.4.3	Oxidkeramische-Brennstoffzelle (SOFC)	517
9.4.4	Systemtechnik	518
9.5	Brennstoffzellen für mobile Anwendungen	519
9.5.1	Alkalische Brennstoffzellen (AFC)	519
9.5.2	PEM-Brennstoffzellen (PEFC)	522
9.5.3	PEM – Brennstoffzellensysteme	524
	Literatur	533
10	Elektrochemische Energiespeicherung	535
10.1	Einführung	535
10.2	Funktionsweise eines elektrochemischen Energiewandlers	538
10.3	Akkumulatortypen und ihre Einsatzbereiche	543
10.3.1	Blei-Säure-Akkumulatoren	544
10.3.2	Nickelmetallhydrid-Akkumulatoren	545
10.3.3	Natrium-Nickelchlorid-Akkumulatoren	546

10.4	Lithium-Ionen-Akkumulatoren	549
10.4.1	Einleitung	550
10.4.2	Grundlagen der Lithiumionen-Technologie	551
10.4.3	Kennwerte der Lithiumionen-Technologie	552
10.4.4	Lebensdauer	553
10.4.5	Betriebsparameter	555
10.4.6	Sicherheit	558
10.4.7	Recycling	560
11	Kernfusion	563
11.1	Grundlagen des Fusionsprozesses	563
11.1.1	Fusionsreaktionen	563
11.1.2	Energieverteilung	564
11.2	Der Fusionsreaktor.	565
11.2.1	Prinzip des (d,t)-Fusionsreaktors	565
11.2.2	Energiebilanz des Plasmas	567
11.2.3	Das Einschlussproblem	572
11.3	Stand und Perspektiven der Kernfusion	575
11.3.1	Internationales Forschungsprogramm Kernfusion	575
11.3.2	Vorzüge der Fusion und technologische Probleme	575
	Literatur.	577
	Anhang A: Thermodynamik	579
	Anhang B: Kernphysikalische Grundlagen	595
	Anhang C: Energiewirtschaft der Schweiz, vergangene Entwicklung, und Szenario bis 2050	605
	Anhang D: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der sechs größten Länder Europas	619
	Anhang E: Gamma-Funktion	627
	Anhang F: Lösung der Aufgaben.	631
	Anhang G: Mollier-Diagramm, Kältemittel	635
	Literatur	641
	Stichwortverzeichnis	643