
Inhalt

1	Energiebedarf	1
1.1	Weltweite Entwicklung des Energiebedarfs, Energieressourcen	1
1.2	Auswirkungen des Energiebedarfs	3
1.3	Energieformen, -träger und -umwandlungsprozesse, Exergie-Anergie	7
1.4	Bedarfsdiagramme Deutschland- wirtschaftliche Überlegungen	11
1.5	Energiepreise, Erneuerbare Energiengesetz (EEG), Kyoto-Protokoll, Emissionshandel	17
1.6	Erneuerbare Energien (EE) in Deutschland	20
	Literatur	21
2	Sonne	23
2.1	Einleitung Sonne	24
2.2	Fusionsreaktion in der Sonne – Sonne als Energiequelle	24
2.3	Aufbau der Sonne	26
2.3.1	Blickwinkel der Sonne, Leuchtdichtenverteilung über der Sonnenscheibe	27
2.3.2	Solarkonstante, Globalstrahlung, direkte und diffuse Einstrahlung	28
2.3.3	Spektrum der extraterrestrischen Strahlung	30
2.3.4	Schwächungsmechanismen in der Atmosphäre	34
2.3.5	Technische Berechnung der Schwächung in der Atmosphäre	41
2.3.6	Räumliche und zeitliche Variation der Solarstrahlung	44
2.3.7	Direktstrahlung auf horizontale oder geneigte Flächen	51
2.3.8	Tages-, Jahressummen der extraterrestrischen Einstrahlung auf unterschiedlich ausgerichtete Flächen	53
2.3.9	Einstrahlungsrichtung auf nachgeführte Flächen	58
2.3.10	Einstrahlungsrichtung der diffusen Strahlung	61
2.3.11	Typische Werte der Globalstrahlung	71
2.3.12	Einstrahlung bei Bewölkung – Statistische Verfahren	72
2.4	Terrestrisch nutzbare Solarstrahlung, Strahlungsbilanz der Erde	78
	Literatur	81

3 Einfluss der Konzentration auf solarthermische Systeme	83
3.1 Abgrenzung zwischen aktiver und passiver Solarthermie	83
3.2 Kollektoren	85
3.2.1 Kollektortypen und typische Einsatztemperaturen	85
3.3 Prinzipieller Aufbau eines Kollektors	89
3.4 Wirkungsgrad nichtkonzentrierender Solarkollektoren	91
3.5 Konzentrierende Systeme	100
3.5.1 Kollektorstufenwirkungsgrad konzentrierender Systeme	102
3.5.2 Bedeutung und Grenzen des Konzentrationsverhältnisses	105
3.5.3 Maximale Absorbertemperatur	107
3.5.4 Geometrische Nachführungsaspekte	110
3.5.5 Nicht-abbildende Konzentratoren	112
3.5.6 Linear-abbildende Konzentratoren – Parabolrinnen	118
3.5.7 Reflektorbedingte Grenzen des Konzentrationsverhältnisses	119
3.5.8 Konzentrationsbedingte technische Nutzungsfelder	122
Literatur	124
4 Passive Mechanismen in der Solarenergie	125
4.1 Passive Transportvorgänge und Anwendung in der Solarthermie	126
4.2 Arten der Wärmeübertragung	128
4.3 Wärmeleitung in Fluiden und Festkörpern	131
4.3.1 Stationäre Wärmeleitung in Fluiden und Festkörpern	132
4.3.2 Instationäre Wärmeleitung in einem Kontinuum	141
4.3.3 Anwendung der Wärmeleitung in der Gebäudetechnik	153
4.3.4 Molekulare Wärmeleitung	157
4.4 Strahlungswärmetransport	168
4.4.1 Emission, Absorption und Reflexion	169
4.4.2 Kirchhoff'sches Strahlungsgesetz	172
4.4.3 Strahlungsaustausch zwischen Körpern	175
4.4.4 Strahlungsaustausch zwischen grauen, diffus strahlenden unendlichen Flächen	182
4.4.5 Strahlungsaustausch zwischen schwarz strahlenden endlich großen Flächen	184
4.4.6 Strahlungsaustausch zwischen grau strahlenden, endlich großen Flächen	189
4.4.7 Strahlung in Anwesenheit der Sonne	194
4.5 Strahlungstransport in transparenten Medien	195
4.5.1 Reflexion, Snelliussches-Brechungsgesetz und Totalreflektion	195
4.5.2 Polarisation, Fresnel'sche Formeln und Brewster Winkel	200
4.5.3 Transmission und Reflexion in transparenten Medien	210
4.5.4 Ursachen der Absorption und Reflexion in transparenten Medien	217
4.5.5 Technische Manipulation des Strahlungstransports in transparenten Körpern	223

4.5.6	Verfahren zur Erzeugung dünner, selektiver Schichten	230
4.5.7	Fenster	238
4.5.8	Transparente Wärmedämmung	245
4.6	Selektive Absorber	252
4.6.1	Anforderungen an einen selektiven Absorber	252
4.6.2	Aufbau selektiver Absorber	253
4.6.3	Absorberschichten für die Anwendung im Vakuum	258
4.6.4	Nieder- u. Mitteltemperaturabsorberschichten in Luft/Vakuum	259
4.6.5	Absorberschichten für Hochtemperaturanwendungen	263
4.6.6	Degradationsmechanismen selektiver Absorberschichten	267
	Literatur	269
5	Impuls- und Energietransport	
	in solarthermischen Systemen	273
5.1	Kollektorstillstand	274
5.2	Einphasiger konvektiver Impuls- und Wärmetransport	278
5.2.1	Erhaltungsgleichungen	281
5.2.2	Ähnlichkeitsgesetze der Strömungsmechanik	286
5.2.3	Laminarer Impulsaustausch	289
5.2.4	Grenzschichtgleichungen	292
5.2.5	Laminarer Energieaustausch	295
5.2.6	Strömungs- und Wärmeübergangsparameter	298
5.2.7	Thermische Randbedingungen	300
5.2.8	Laminare Wärmeübertragung in Rohren	301
5.2.9	Turbulenter Impulsaustausch	309
5.2.10	Turbulenter Energieaustausch	318
5.2.11	Analogie zwischen Wärme- und Impulstransportparametern	319
5.2.12	Verfahren und Modellierungsansätze zur numerischen Berechnung	320
5.2.13	Anwendung lokaler fluiddynamischer Berechnungen im Kollektor	323
5.2.14	Entscheidung Zwang-, Misch- oder auftriebsbehaftete Konvektion	326
5.2.15	Ingenieurtechnisch oft verwendete einphasige Wärmeübergangsbeziehungen	332
5.3	Mehrphasiger Impuls- und Energieaustausch	337
5.3.1	Wärmeübergang beim Sieden	337
5.3.2	Behältersieden	346
5.3.3	Erscheinungsformen des Rohrsiedens	349
5.3.4	Kenngrößen der Zweiphasenströmung	353
5.3.5	Homogenes Modell der Zweiphasenströmung	357
5.3.6	Schlupfmodell	358
5.3.7	Druckverlustberechnung in Ein- u. Mehrphasenströmungen	359

5.3.8	Strömungsformenkarten	367
5.3.9	Wärmeübergang beim Phasenwechsel	370
5.3.10	Instabilitäten der Zweiphasenströmung	372
5.3.11	Kondensation in Rohrleitungen	375
	Literatur	383
6	Solarthermische Niedertemperatursysteme	387
6.1	Berechnung solarthermischer Niedertemperatursysteme	388
6.2	Niedertemperaturkollektorvarianten	391
6.2.1	Röhrenabsorber	392
6.2.2	Flachkollektor	393
6.2.3	Vakuumkollektor	397
6.2.4	Weitere Kollektorvarianten	402
6.3	Systemsimulation solarthermischer Systeme	407
6.3.1	Energiefluss bei Plug-flow-Modellierung	408
6.3.2	Fehleranalyse in Systemsimulationen	410
6.3.3	Solarkollektormodellierung	413
6.4	Aufbau solarthermischer Niedertemperatursysteme	417
6.4.1	Thermosiphonanlagen	418
6.4.2	Zwangsumlaufsysteme, Komponenten des Solarkreises	421
6.4.3	Planung, Dimensionierung und Konzeption von Niedertemperatursolarsystemen	443
6.4.4	Verringerung und Vermeidung von Stillstandssituationen	455
6.4.5	Systemkonzepte solarthermischer Niedertemperaturanlagen	471
	Literatur	483
7	Solarthermische Hochtemperatursysteme	487
7.1	Klassifizierung von Solarkraftwerken	488
7.2	Solarturmanlagen	490
7.3	Parabolrinnenkraftwerke	496
7.4	Fresnelkraftwerke	503
7.5	Spiegel und Spiegelfeldauslegung	506
7.5.1	Strahlungsdichteverteilung der Sonne–Zirkumsolarstrahlung	508
7.5.2	Geometrische Verluste am Einzelspiegel	510
7.5.3	Geometrischer Verluste am Spiegelverband	512
7.5.4	Optische, materialspezifische und Absorptionsverluste	515
7.5.5	Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung des Receiverertrags	517
7.6	Aufwindkraftwerke	525
7.6.1	Funktionsprinzip eines Aufwindkraftwerks	525
7.6.2	Leistung und Wirkungsgrad eines Aufwindkraftwerks	527
7.6.3	Komponenten des Aufwindkraftwerks	529
7.7	Solarpond	541
7.7.1	Physikalische Wirkungsweise des Solarponds	541

7.7.2	Mathematische Beschreibung des Solarteichs und der Randbedingungen	542
7.7.3	Stabilitätsüberlegungen und vertikale Grenzflächenbewegung in Solarteichen	548
7.7.4	Verfahren zur thermischen Ausspeicherung der Wärme	549
7.7.5	Operative und technische Maßnahmen zum Betrieb eines Solarponds	552
7.8	Energiewandlungsprozesse	554
7.8.1	Energiewandelnde Kreisprozesse	555
7.8.2	Carnot Prozess, Auswirkung irreversibler Vorgänge	557
7.8.3	Joule-Brayton-Prozess (Gasturbinenprozess)	562
7.8.4	Clausius-Rankine-Prozess (Dampfprozess)	567
7.8.5	Kombinierte Prozesse-GuD	573
7.8.6	Alternative Kreisprozesse, Organic Rankine Cycle (ORC), KALINA Prozess	575
7.8.7	Kopplung Spiegelfeld- Energiekonversion, fossil-solare Hybridkraftwerke	584
7.8.8	Kostenstrukturen und Optionen solarthermischer Kraftwerke	588
	Literatur	591
8	Energiespeicher	595
8.1	Energieinhalt und Anforderungen an Speicher	595
8.2	Auslegungsverhältnis solarthermischer Kraftwerke	598
8.3	Direkte thermische Speicher	599
8.3.1	Flüssige Speichermedien	599
8.3.2	Speicherkapazität	601
8.3.3	Arten flüssiger thermischer Energiespeichersysteme	603
8.3.4	Thermische Speicher mit festem Speichermedium	607
8.4	Latentwärmespeicher	609
8.5	Reaktionsspeicher	611
8.5.1	Katalytische Reaktionen	611
8.5.2	Thermische Dissoziationsreaktionen	612
8.5.3	Adsorptionsvorgänge	613
8.6	Niedertemperaturspeicher	619
8.6.1	Niedertemperaturspeicherarten	621
8.6.2	Thermische Anforderungen an Wärmespeicher	627
8.6.3	Temperaturschichtung innerhalb des Speichers	629
	Literatur	634
9	Solare Klimatisierung	637
9.1	Kühlung und Klimatisierung	637
9.2	Bewertungsgrößen von Kälte- und Klimaprozessen	640
9.3	Raumklima, Behaglichkeit und Kühllast	642

9.4	Bestimmung der Kühlleistung	645
9.5	Solare Kühlverfahren	645
9.6	Kälte- und Klimatisierungsprozessführung	647
9.6.1	Ideale Kompressionskältemaschine, Carnot'scher Vergleichsprozess	647
9.6.2	Reale Kompressionskältemaschine und Kältemittelwahl	650
9.6.3	Thermisch getriebene Kältemaschinen (Sorptionkältemaschinen)	652
9.7	Bewertung der Klimatisierung	668
	Literatur	672
Anhang A	Berechnung von Wärmeübertragern	675
Sachverzeichnis	695

Thermische Solarenergie

Grundlagen, Technologie, Anwendungen

Stieglitz, R.; Heinzel, V.

2012, XV, 703 S. 471 Abb., 10 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-642-29474-7