

Achim Marko · Peter Braun (Hrsg.)

# Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden

Mit 203 Abbildungen



Springer

---

# Inhalt

## Teil I: Passive Solarenergienutzung, Hrsg.: Peter O. Braun

<b>1</b>	<b>Klimatische Parameter und ihre Bedeutung für die Planung</b> von Andreas Wagner . . . . .	1
1.1	Allgemeine Aspekte zu klimatischen Größen und zur klimabewußten Planung . . . . .	1
1.2	Solarstrahlung . . . . .	4
1.3	Lufttemperatur . . . . .	9
1.4	Wind . . . . .	11
1.5	Verfügbarkeit von Klimadaten und einfache Planungshilfsmittel . . . . .	13
	Literatur . . . . .	16
<b>2</b>	<b>Grundlagen passiver Solarenergienutzung</b> von Anne Grete Hestnes . . . . .	17
2.1	Der Energieverbrauch in Gebäuden . . . . .	17
2.2	Thermische Behaglichkeit . . . . .	18
2.3	Grundstücksauswahl bei der Solarenergienutzung . . . . .	20
2.4	Strategien zur passiven Beheizung von Gebäuden . . . . .	22
2.5	Passive Kühlungsstrategien . . . . .	30
2.6	Kombinationsmöglichkeiten . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Fenster und Verglasungen</b> von Werner J. Platzer . . . . .	37
3.1	Spektrale Eigenschaften und Energieeffizienz . . . . .	37
3.2	Quantitative Charakterisierung von Fenstern . . . . .	39
3.3	Glasarten . . . . .	43
3.3.1	Floatglas . . . . .	43
3.3.2	Transparent selektiv beschichtetes Glas . . . . .	43
3.3.3	Streuende Gläser . . . . .	48
3.3.4	Optisch schaltbare Gläser . . . . .	49
3.4	Scheibenzwischenraum der Verglasungseinheit . . . . .	54
3.4.1	Gasfüllungen . . . . .	54
3.4.2	Kunststoffolien . . . . .	55

3.5	Transparente Wärmedämmmaterialien (TWDM)	55
3.5.1	Kleinzellige Waben- und Kapillarstrukturen aus Kunststoff	55
3.5.2	Glaskapillaren	57
3.5.3	Aerogel	59
3.5.4	Zusammenfassung	61
3.6	Randverbund einer Verglasungseinheit	63
3.6.1	Allgemeine Überlegungen	63
3.6.2	Der Randverbund	64
3.7	Rahmenkonstruktion	66
3.7.1	Holzrahmen	66
3.7.2	Aluminiumrahmen	66
3.7.3	Kunststoffrahmen	68
3.7.4	Zusammenfassung Rahmen	69
3.8	Beispiele neuer Fensterprodukte	69
3.8.1	Verglasungen mit Kapillareinlage	69
3.8.2	Verglasungen befüllt mit granularem Aerogel	70
3.8.3	HIT-Fenster	71
3.9	Schlußfolgerungen	73
	Literatur	74
<b>4</b>	<b>Wärmeschutz</b>	
	von Friedrich W. Grimme	77
4.1	Wärmeschutz, Feuchteschutz und Wärmespeicherung	77
4.2	Wärmeschutz opaker Bauteile	79
4.2.1	Wärmeleitfähigkeit	79
4.2.2	Wärmedurchlaßkoeffizient	82
4.2.3	Wärmedurchlaßwiderstand	83
4.2.4	Innere und äußere Wärmeübergänge	83
4.2.5	Wärmedurchgangskoeffizient	84
4.3	Raumklimabeeinflussung durch opake Bauteile	86
4.3.1	Wärmeeindringkoeffizient	86
4.3.2	Auskühlverhalten	87
4.3.3	Verhalten bei instationären Wetterbedingungen	88
4.4	Beispiele	92
4.4.1	Monolithische Konstruktionen	92
4.4.2	Mehrschichtige Konstruktionen	93
4.4.3	Wärmebrücken	94
4.5	Resümee	98
	Literatur	100

<b>5</b>	<b>Transparente Wärmedämmung von Gebäudefassaden – Wärme, Licht und Komfort von der Sonne</b>	
	von Peter O. Braun . . . . .	101
5.1	Die Gebäudewand als Solarsystem . . . . .	101
5.1.1	Was bedeutet: Transparente Wärmedämmung? . . . . .	101
5.1.2	Wie funktioniert eine Transparente Wärmedämmung? . . . . .	103
5.1.3	Der Einsatzbereich Transparenter Wärmedämmmaterialien . . . . .	104
5.2	Trombe-Wand kontra Fenster: wo liegen die Vor- und Nachteile . . . . .	105
5.2.1	Passive Massivwand (Trombe-Wand Prinzip) . . . . .	106
5.2.2	Aktive Wandsysteme . . . . .	106
5.2.3	Direktgewinnsystem – Tageslichtnutzung . . . . .	107
5.3	Physikalische Beschreibung . . . . .	107
5.4	Simulationsprogramme . . . . .	109
5.5	Komponenten eines passiven TWD-Systems . . . . .	109
5.6	Demonstrationsprojekte – eine Auswahl . . . . .	111
5.6.1	Sanierung eines 8-Familien-Wohnhauses mit TWD . . . . .	112
5.6.2	Energieautarkes Solarhaus, Freiburg . . . . .	115
5.6.3	Sanierung einer Gründerzeit-Villa als neuer Geschäftssitz der Internationalen Solarenergie Gesellschaft (ISES). . . . .	116
5.6.4	Bürogebäude in Düsseldorf . . . . .	118
5.7	Solarenergiegewinne . . . . .	119
5.8	Zusammenfassung . . . . .	120
	Literatur . . . . .	121
<b>6</b>	<b>Tageslichtnutzung (Daylighting)</b>	
	von Friedrich Sick . . . . .	123
6.1	Tageslichtnutzung und Gebäudeenergiebedarf . . . . .	123
6.2	Einflüsse auf Energie und Komfort im Gebäude . . . . .	124
6.2.1	Die exergetische Bedeutung des Tageslichts . . . . .	124
6.2.2	Blendungsbegrenzung und visueller Komfort . . . . .	126
6.2.3	Kunstlichtregelung . . . . .	127
6.3	Tageslichtkonzepte, -komponenten und -systeme . . . . .	128
6.3.1	Konzepte der Gebäudegeometrie . . . . .	128
6.3.2	Passive Lichtlenkung . . . . .	130
6.3.3	Aktive Lichtlenkung . . . . .	136
6.4	Tageslichttechnische Planung . . . . .	138
6.4.1	Modelluntersuchungen unter freiem und künstlichem Himmel . . . . .	138
6.4.2	Überblick über Berechnungsmethoden . . . . .	138
6.4.3	Software-Beispiele . . . . .	140
6.5	Nomenklatur der Lichttechnik . . . . .	141

6.5.1	Beschreibung des Raumwinkels	141
6.5.2	Photometrische und strahlungsphysikalische Größen	142
6.6	Tageslichtangebot	145
6.6.1	Die Lichtausbeute des Tageslichts	145
6.6.2	Sonnenstandsabhängige Beleuchtungsmodelle	146
6.6.3	Leuchtdichteverteilungen des Himmels	147
	Literatur	151
<b>7</b>	<b>Solararchitektur</b>	
	von S. Robert Hastings	153
7.1	Solararchitektur von damals bis heute	153
7.2	Voraussetzungen	153
7.2.1	Multi-Funktionalität	153
7.2.2	Klima	154
7.2.3	Solararchitektur und Gebäudetypen	154
7.3	Planung	155
7.3.1	Siedlungen	155
7.3.2	Zonierung nach Nutzung	156
7.3.3	Infrastruktur	157
7.4	Form	157
7.4.1	Trendwende im 20. Jahrhundert	158
7.4.2	Verlust minimieren oder Gewinn optimieren	158
7.4.3	Optimierung des Querschnittes	158
7.5	Raum	160
7.5.1	Direktgewinn-Räume	160
7.5.2	Pufferräume	161
7.5.3	Kollektor-Räume	161
7.6	Komponenten	162
7.6.1	Fenster	163
7.6.2	Kollektorfassaden und -dächer	165
7.6.3	Speicherelemente	167
7.7	Materialien	168
7.7.1	Optische Wahrnehmung	168
7.7.2	Thermische Wahrnehmung	169
7.7.3	Taktile Wahrnehmung	170
7.7.4	Akustische Wahrnehmung	170
7.8	Schlußbemerkungen	171
	Literatur	171

<b>8</b>	<b>Dynamische Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden</b>	
	von Matthias Schuler . . . . .	173
8.1	Unterscheidung statischer und dynamischer Programme . . .	173
8.1.1	Beschreibung statischer Programme . . . . .	173
8.1.2	Möglichkeiten dynamischer Programme . . . . .	175
8.2	Theorie der dynamischen Gebäude-Lastsimulation . . . . .	175
8.2.1	Verschiedene Modellansätze . . . . .	176
8.2.2	Kurzbeschreibung einiger Programme . . . . .	177
8.2.3	Programmvergleich in Projekten der Internationalen Energieagentur IEA . . . . .	180
8.3	Eingabebeispiel für ein Bürogebäude in TRNSYS . . . . .	182
8.3.1	Von der Zeichnung zur Eingabedatei . . . . .	182
8.3.2	Testprozeduren zur Eingabeüberprüfung . . . . .	185
8.3.3	Ergebnisse . . . . .	187
8.4	Maßnahmen zur Komfortverbesserung und Energieeinsparung . . . . .	189
8.4.1	Verglasung . . . . .	189
8.4.2	Gebäudemasse . . . . .	189
8.4.3	Fensterflächen . . . . .	190
8.4.4	Weitere Maßnahmen . . . . .	190
8.4.5	Komfortbetrachtungen . . . . .	190
8.5	Grenzen der dynamischen Gebäude-Lastsimulation . . . . .	191
8.6	Zusammenfassung . . . . .	192
	Literatur . . . . .	193

## Teil II: Aktive Solarenergienutzung, Hrsg.: Armin Marko

<b>1</b>	<b>Grundlagen aktiver solarthermischer Systeme</b>	
	von Armin Marko . . . . .	197
1.1	Solarthermische Kollektoren . . . . .	197
1.1.1	Optische Eigenschaften der solaren Apertur . . . . .	199
1.1.2	Thermische Eigenschaften . . . . .	201
1.1.3	Flächendefinitionen . . . . .	203
1.1.4	Reflektoren . . . . .	205
1.1.5	Kollektorwirkungsgrad . . . . .	205
1.2	Komponenten aktiver solarer Systeme . . . . .	207
1.2.1	Verrohrung . . . . .	208
1.2.2	Wärmetauscher . . . . .	209
1.2.3	Speicher . . . . .	210
1.3	Bewertungskriterien . . . . .	211

1.3.1	Kollektorbewertung . . . . .	212
1.3.2	Systembewertung . . . . .	213
1.3.3	Normen und Vorschriften . . . . .	217
1.3.4	Wirtschaftlichkeitsberechnungen . . . . .	218
	Literatur . . . . .	220
<b>2</b>	<b>Kollektoren</b>	
	von Ulrich Frei, Matthias Rommel . . . . .	223
2.1	Flachkollektoren . . . . .	223
2.1.1	Absorber . . . . .	227
2.1.2	Absorberbeschichtung . . . . .	228
2.1.3	Transparente Abdeckungsmaterialien . . . . .	232
2.1.4	Isolationsmaterialien . . . . .	232
2.1.5	Kollektorgehäuse und Ventilation belüfteter Kollektoren . . . . .	234
2.1.6	Dichtungsmaterialien . . . . .	235
2.1.7	Anschlüsse und Verbindungen . . . . .	237
2.2	Röhrenkollektoren . . . . .	238
2.2.1	Absorber . . . . .	239
2.2.2	Absorberbeschichtung . . . . .	241
2.2.3	Glasrohre . . . . .	242
2.2.4	Anschlüsse und Verbindungen . . . . .	242
2.3	Kollektorprüfung . . . . .	242
2.3.1	Leistungsprüfung . . . . .	243
2.3.2	Qualitätsprüfung . . . . .	247
2.3.3	Einsatzgebiete, Leistungsfähigkeit, Wärmeerträge und Kosten . . . . .	249
2.4	Luftkollektoren . . . . .	253
2.4.1	Vorteile und Nachteile von Luftkollektoren . . . . .	254
2.4.2	Zwei Konstruktionstypen von Luftkollektoren . . . . .	255
2.4.3	Bedeutung des Absorberwirkungsgradfaktors $F'$ und des Druckverlusts $\Delta p$ . . . . .	257
2.4.4	Verstaubung und Verschmutzung . . . . .	257
2.4.5	Ausführungsbeispiele von Kollektorkonstruktionen . . . . .	258
	Literatur . . . . .	261
<b>3</b>	<b>Kompaktanlagen und standardisierte Zweikreisanlagen</b>	
	von Andreas Gerber . . . . .	263
3.1	Thermosiphonanlagen . . . . .	263
3.2	Speicherkollektoren . . . . .	265
3.2.1	Bauformen von Speicherkollektoren . . . . .	265
3.2.2	Leistungsfähigkeit und Anwendungsgebiete . . . . .	269
3.2.3	Integration in die Brauchwasserversorgung . . . . .	271
3.3	Standardisierte Zweikreisanlagen mit Zwangsumlauf . . . . .	273

---

	Literatur . . . . .	274
<b>4</b>	<b>Kundenspezifische Kleinanlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung</b> von Werner Weiß . . . . .	<b>275</b>
4.1	Kundenspezifische Zweikreisanlagen zur Warmwasserbereitung . . . . .	275
4.1.1	Beschreibung einer Warmwasser-Solaranlage (Abb. 4.2) . . . . .	276
4.2	Dimensionierung von Warmwasser-Solaranlagen . . . . .	277
4.2.1	Warmwasserbedarf . . . . .	277
4.2.2	Der Speicher . . . . .	278
4.2.3	Wärmetauscher . . . . .	280
4.2.4	Kollektorfeld . . . . .	281
4.2.5	Rohrleitungen und Umwälzpumpen . . . . .	284
4.2.6	Richtwerte für die Dimensionierung . . . . .	286
4.3	Erfahrungen und Preise der solaren Warmwasserbereitung in Österreich . . . . .	286
4.4	Solare Raumheizung . . . . .	287
4.4.1	Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für solare Raumheizung . . . . .	288
4.4.2	Systemkonzepte . . . . .	289
4.4.3	Dachintegration von Großflächenkollektoren . . . . .	292
4.4.4	Realisierte Anlagen . . . . .	292
	Literatur . . . . .	295
<b>5</b>	<b>Anlagenkomponenten, Inbetriebnahme und Betriebssicherheit</b> von Klaus-Henning Terschüren . . . . .	<b>297</b>
5.1	Speicher . . . . .	299
5.1.1	Wärmetauscher . . . . .	299
5.1.2	Einbindung der Nachheizung . . . . .	300
5.2	Rohrleitungen . . . . .	300
5.3	Anlagenschema und Anlagensicherheit . . . . .	301
5.3.1	Komponenten Sicherheitsgruppe . . . . .	301
5.3.2	Stillstandsverhalten . . . . .	304
5.3.3	Auslegung des MAG . . . . .	305
5.3.4	Konzentration des Frostschutzmittels . . . . .	307
5.4	Spülen, Druckprüfen und Befüllen . . . . .	308
5.5	Regelung . . . . .	308
5.6	Zirkulationsanschluß . . . . .	309
	Literatur . . . . .	309

<b>6</b>	<b>Rationelle Energieverwendung in Frei- und Hallenbädern</b>	
	von Ulrich Luboschik . . . . .	311
6.1	Einsatz der Solarenergie in Freibädern . . . . .	311
6.1.1	Wassertemperaturen, Besucher, Schönwetterbäder . . . . .	311
6.1.2	Bauformen von Absorbern . . . . .	313
6.1.3	Absorbermaterialien . . . . .	314
6.1.4	Güte eines Absorbers und einer Solaranlage . . . . .	315
6.1.5	Gewonnene Erkenntnisse mit sonnenbeheizten Schwimmbädern . . . . .	317
6.1.6	Kostenentwicklung . . . . .	318
6.1.7	Wirtschaftlichkeit . . . . .	319
6.1.8	Schlußfolgerung und Empfehlungen für Freibäder . . . . .	320
6.2	Solartechnik in Hallenbädern . . . . .	321
6.2.1	Allgemeine Energiebilanz eines Hallenbades . . . . .	321
6.2.2	Energetische Analyse eines Hallenbades . . . . .	322
6.2.2.1	Möglichkeiten der Verbrauchsverminderung . . . . .	322
6.2.2.2	Möglichkeiten einer Energierückgewinnung . . . . .	323
6.2.3	Energiezugewinn mit konventionellen Systemen . . . . .	324
6.2.4	Nutzung der Sonnenenergie in Hallenbädern . . . . .	324
6.3	Schlußbemerkung . . . . .	327
	Literatur . . . . .	328
<b>7</b>	<b>Solarthermische Großanlagen</b>	
	von Jan-Olof Dalenbäck, M. Norbert Fisch . . . . .	329
7.1	Einleitung . . . . .	329
7.1.1	Nah- und Fernwärme . . . . .	329
7.1.2	Heutiger Entwicklungsstand . . . . .	330
7.2	Systembeschreibung . . . . .	330
7.2.1	Anwendungen . . . . .	330
7.2.2	Solarkollektoren . . . . .	332
7.2.3	Wärmespeicher . . . . .	333
7.2.4	Wärmeverteilung . . . . .	334
7.2.5	Systemauslegung . . . . .	334
7.3	Erfahrungen und Entwicklung . . . . .	335
7.3.1	Kollektorentwicklung . . . . .	335
7.3.2	Speicherentwicklung . . . . .	337
7.3.3	Systemauslegung . . . . .	340
7.4	Demonstrationsanlagen . . . . .	341
7.4.1	Ausgeführte Anlagen . . . . .	341
7.4.2	Geplante Anlagen . . . . .	344
	Literatur . . . . .	347

<b>8</b>	<b>Problemschwerpunkte in Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung</b>	
	von Felix A. Peuser, Reiner Croy . . . . .	349
8.1	Dimensionierung der Solarsysteme . . . . .	349
8.1.1	Auslegung auf das Strahlungsangebot . . . . .	350
8.1.2	Ermittlung des Energiebedarfs . . . . .	351
8.1.3	Anforderung an die Systemleistung . . . . .	353
8.1.4	Einfluß der Auslastung auf das Betriebsergebnis . . . . .	355
8.2	Schwächen bei der Regelung . . . . .	358
8.3	Dimensionierung von Wärmetauschern . . . . .	360
8.4	Nachheizung . . . . .	362
8.4.1	Beimischprinzip . . . . .	363
8.4.2	Durchlauferhitzerprinzip . . . . .	363
8.4.3	Nachheizspeicherprinzip . . . . .	364
8.5	Sonstige technische Schwachstellen . . . . .	366
8.6	Legionellen im Trinkwassersystem mit Solaranlagen . . . . .	366
8.6.1	Allgemeine Situation . . . . .	366
8.6.2	Einflüsse der Richtlinie W 551 auf die Planung und den Bau von thermischen Solaranlagen . . . . .	368
8.7	Zusammenfassung . . . . .	370
	Literatur . . . . .	371
<b>9</b>	<b>Aktive solarthermische Systeme für die Gebäudeklimatisierung</b>	
	von Hans-Martin Henning . . . . .	373
9.1	Kühllasten und Kühltechniken . . . . .	373
9.1.1.	Berechnung sommerlicher Kühllasten . . . . .	374
9.1.2.	Übersicht über solarthermische Kühlverfahren . . . . .	375
9.2.	Verfahren mit Sorptionskältemaschinen . . . . .	376
9.2.1	Absorptionskältemaschinen . . . . .	377
9.2.2	Solar unterstützte Klimatisierung mit Absorptionskältemaschinen . . . . .	379
9.2.3	Kältemaschinen mit festen Sorptionsmitteln . . . . .	381
9.3	Offene Verfahren – Desiccant Cooling . . . . .	382
9.3.1	Offene Verfahren mit flüssigen Trocknungsmitteln . . . . .	383
9.3.2	Offene Verfahren mit festen Sorptionsmitteln . . . . .	384
9.3.2.1	Funktionsweise . . . . .	384
9.3.2.2	Systemauslegung und Betriebsführung . . . . .	387
9.4	Schaltungsvarianten für die solare Klimatisierung . . . . .	389
9.5	Zusammenfassung . . . . .	391

Literatur	392
<b>10 Computersimulation von Solaranlagen für Warmwasser und Raumheizung</b>	
von Michael Mack	395
10.1 Allgemeines zu Simulationsprogrammen	396
10.1.1 Wie arbeitet ein Simulationsprogramm?	396
10.1.2 Was gehört zu einem Simulationsprogramm?	397
10.2 Kennlinienverfahren	399
10.2.1 f-chart	399
10.2.2 SWSIMU	400
10.3 Systemspezifische Simulationsprogramme	401
10.3.1 GETSOLAR	401
10.3.2 EUROSOL	403
10.3.3 ISFH	404
10.3.4 Polysun	405
10.3.5 TSOL	407
10.3.6 Programme für Anlagen zur Heizungsunterstützung	409
10.3.7 Programme für Kollektoranlagen mit saisonaler Speicherung	411
10.4 Anwendungsbeispiel	413
10.4.1 Warmwasseranlagen	413
10.4.2 Stand der Technik	416
10.4.3 Solaranlagen zur Raumheizungsunterstützung	417
10.5 Programmbibliotheken	418
10.5.1 Technische Features für Kollektoranlagen	419
10.5.2 TRNSYS mit PRESIM/TRNSED	420
10.5.3 TRNSYS mit IISiBat	422
10.6 Ausblick	423
Literatur	424
Sachwortverzeichnis	427
Autoren	431