

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