

Sonnenenergie

**Physikalische Grundlagen
und thermische Anwendungen**

Von Prof. Dr. rer. nat. Adolf Goetzberger
und Dr. rer. nat. Volker Wittwer

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
Freiburg i. Br.

3., überarbeitete und erweiterte Auflage
Mit 126 Abbildungen und 30 Tabellen

Inhaltsverzeichnis

1 Energiebedarf, Energieversorgung und Prognosen für die zukünftige Rolle der Solarenergie	11
1.1 Entwicklung des Energiebedarfs	11
1.2 Energieformen - die Energiekette	14
1.3 Einteilung der Primärenergiequellen, weitere Aspekte	17
1.4 Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit	20
1.5 Energie und Umwelt	21
1.6 Maßeinheiten für Energie	25
1.7 Energie, Exergie und Wirkungsgrade	25
2 Sonnenenergieangebot	30
2.1 Strahlungsquelle Sonne	30
2.2 Beziehungen für die Berechnung der Sonnenbahn und der Bestrahlung beliebig orientierter Flächen	33
2.3 Sonnenenergieangebot auf der Erdoberfläche, Einfluß der Atmosphäre	40
2.3.1 Extinktion in der Atmosphäre	43
2.3.2 Globalstrahlung	44
3 Meßmethoden und Meßdaten	49
3.1 Meßmethoden für Sonnenstrahlung	49
3.2 Meßergebnisse, Potential der Sonnenenergie in verschiedenen geographischen Regionen	51
4 Grundlagen der Strahlungsphysik	58
4.1 Reflexions-, Transmissions- und Absorptionsgrad	58
4.2 Emissionsgrad und Schwarzer Strahler	65

5 Konzentration und Selektivität	76
5.1 Geometrische Konzentration von Licht	76
5.2 Konzentration von Licht durch Frequenzverschiebung	80
5.3 Selektive Schichten	82
5.4 Einsatz von Konzentratoren und Selektivität in realen Systemen	86
6 Wärmeübertragung	90
6.1 Stationäre Wärmeleitung	90
6.2 Konvektive Wärmeleitung	92
6.3 Strahlungstransport	95
7 Transparente Wärmedämmung	99
7.1 Transmissionsgrad von thermisch isolierenden Systemen	100
7.1.1 Waagrechte Strukturen	100
7.1.2 Senkrechte Strukturen	103
7.1.3 Grobporige Strukturen	105
7.1.4 Homogene feinporige Strukturen	106
7.2 Wärmedämmeigenschaft transparenter Strukturen	108
7.2.1 Parallele IR-opake Strukturen ($\tau_{IR} = 0$)	108
7.2.2 Parallele Strukturen mit IR-Transmission ($\tau_{IR} > 0$)	110
7.2.3 Quasihomogene Strukturen	113
7.3 Gesamtenergiedurchlaß transparenter Wärmedämmssysteme	117
7.3.1 Theoretische Überlegungen	117
7.3.2 Experimentelle Bestimmung des g-Wertes	119
8 Thermische Flachkollektoren	123
8.1 Prinzip	123
8.2 Experimentelle Ergebnisse	125
8.3 Optimierung von Kollektorsystemen unter realen Einsatzbedingungen	130

9 <u>Passive Sonnenenergienutzung</u>	138
9.1 Potential der Sonnenstrahlung für Gebäudeheizung	139
9.2 Grundlegende Eigenschaften passiver Komponenten	141
9.3 Fenster	144
9.4 Glasvorbauten (Wintergärten)	146
9.5 Trombewand	146
9.6 Lichtdurchlässige Wärmedämmung an Fassaden (LEGIS)	147
10 <u>Speicherung thermischer Energie</u>	152
10.1 Warmwasserspeicher	152
10.2 Latentspeicher	154
10.3 Chemische Speicher	158
11 <u>Wärmepumpen</u>	162
12 <u>Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen</u>	167
12.1 Betriebswirtschaftliche Methoden	168
12.1.1 Statische Methoden	168
12.1.2 Dynamische Methoden	169
12.1.3 Kapitalwertmethode	170
12.1.4 Interne Zinsfußmethode	171
12.1.5 Amortisationsrechnung	171
12.2 Beispiele zur Wirtschaftlichkeitsrechnung	171
13 <u>Einsatz solarer Systeme in der Praxis</u>	174
13.1 Solarhaus Freiburg-Tiengen	175
13.1.1 Die energietechnischen Anlagen im Solarhaus Freiburg-Tiengen	176
13.1.2 Experimentelle Ergebnisse aus dem Bereich des solaren Brauchwassersystems	179

13.1.3 Energieflußdiagramm der solaren Brauchwasserbereitung	184
13.2 Neuartige Energiedach-Heizanlage mit digitalem Energiemanagement	187
13.2.1 Neuartiges Energiedachkonzept	187
13.2.2 Beschreibung der Heizanlage	189
13.2.3 Betriebsweisen	191
13.2.4 Zentrale Meßwerterfassungsanlage	193
13.2.5 Energiemanagement	194
13.2.6 Betriebserfahrungen und erste Ergebnisse	197
13.3 Brauchwasseranlage nach dem Thermosiphonprinzip	198
13.4 Neuartige Kollektorsysteme mit integriertem Speicher	202
13.5 Solarkocher mit integriertem Ölspeicher	205
13.5.1 Kocherprinzip	205
13.5.2 Beschreibung des Kochers und experimentelle Ergebnisse	206
14 <u>Transparent gedämmte Gebäudefassaden</u>	208
<u>Literaturverzeichnis</u>	221
<u>Sachverzeichnis</u>	227
<u>Verwendete Symbole</u>	230
<u>Konstanten</u>	231