

SYSTEMUNTERSUCHUNGEN ZUR NUTZUNG DER SONNENENERGIE  
BEI DER BEHEIZUNG VON WOHNGEBÄUDEN  
MIT LUFT ALS WÄRMETRÄGER

Von der Fakultät Energietechnik der  
Universität Stuttgart zur Erlangung  
der Würde eines Doktor-Ingenieurs  
(Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

NORBERT MANFRED F I S C H  
aus Friedberg/Hessen

Hauptberichter : Prof. Dr.-Ing. E. Hahne

Mitberichter : Prof. Dr.-Ing. H. Bach

Tag der Einreichung : 1.2.1984

Tag der mündlichen Prüfung : 30.7.1984

INSTITUT FÜR THERMODYNAMIK UND WÄRMETECHNIK DER  
UNIVERSITÄT STUTTGART

Systemuntersuchungen zur Nutzung der Sonnenenergie  
bei der Beheizung von Wohngebäuden mit Luft als Wärmeträger

N. F I S C H

Kurzfassung

Ausgehend von den Komponenten luftgekühlter Flachkollektoren und Gesteinsspeicher wurden Solaranlagen zur Beheizung von Wohngebäuden untersucht. Experimentell wurde das stationäre und instationäre thermische Verhalten dieser Komponenten sowie ihre Kopplung in einem Modellsystem ermittelt. Die Temperatur- und Wärmestromverteilung, der Wirkungsgrad, die Zeitkonstante sowie der Druckverlust eines Kollektors und eines Gesteinsspeichers wurden in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz bestimmt.

Zur Simulation von solaren Luftheizungsanlagen wurde das Rechenprogramm "SIMUL" mit dem Ziel erstellt, die wesentlichsten Einflußparameter numerisch zu ermitteln und eine Optimierung von Heizsystemen damit herbeizuführen. Für die Systemkomponenten Kollektor, Gesteins- und Warmwasserspeicher, Wärmeübertrager sowie Rohrleitung wurden Rechenmodelle entwickelt. Berücksichtigt wurden dabei die Wärmekapazitäten der Komponenten, ein zweidimensionales Temperaturfeld im Kollektor und eine Temperaturschichtung in den Speichern. Der Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Ergebnissen für einen Luftkollektor, einen Gesteinsspeicher und ein Modellsystem führte zu guten Übereinstimmungen.

Bei der Berechnung des Heizwärmeverbrauchs des Gebäudes wurden die Verteilung der Wärmekapazität (Außen-, Innenwände und Raumluft) und Wärmeverluste wie -gewinne durch unterschiedlich orientierte Fensterflächen berücksichtigt.

Die Berechnungen erfolgten jeweils über ein Jahr auf der Basis stündlicher meteorologischer Daten. Folgende Parameter wurden untersucht: Standort (Stuttgart, Hamburg, Hohenpeißenberg), Wärmedämmschichtdicke des Gebäudes, Systemkonfiguration, Kollektorfeldaufteilung, Luftdurchsatz, Ausrichtung des Kollektorfeldes, Kollektorparameter (Spaltweite des Strömungskanals, Selektivität und Wärmekapazität des Absorbers, Emissionsgrad der Abdeckung) und Speicherparameter (Wärmekapazität, Wärmedämmschichtdicke, Geometrie).

Mit Solaranlagen ohne einen Wärmespeicher für die Raumheizung können maximal 10% des jährlichen Gesamtwärmeverbrauchs gedeckt werden. Durch den Einbau eines Gesteinsspeichers - der etwa eine Wärmekapazität von 0,25 MJ/K pro m<sup>2</sup> Kollektor haben soll - werden die solaren Deckungsanteile je nach Kollektorfläche mehr als verdoppelt. Für Kollektorfeldflächen von 20 bis 60 m<sup>2</sup> liegt der optimale Luftdurchsatz zwischen 20 und 50 kg/(h·m<sup>2</sup>). Der Einfluß von Kollektorfeldaufteilung und Speichergeometrie auf den solaren Deckungsanteil ist im Vergleich zu den untersuchten Kollektorparametern gering.

Investigations on the use of solar energy  
for domestic heating with air

N. F I S C H

Abstract

Solar air-heating systems based on the components air-cooled flat plate collector and pebble-bed store were investigated. The steady and transient thermal behaviour of these components was determined in experiments; the coupling of these components in a model-system. The temperature- and heat flow distribution, the efficiency and the time-constant as well as pressure loss of the collector and the pebble-bed store were calculated as function of air flow rate.

The program "SIMUL" was developed to obtain knowledge on the most essential parameters and to provide a tool for optimization of heating systems. Computer-models were developed for the system components: collector, pebble-bed- an hot water store, heat exchanger and piping. Heat capacities of the components, a two-dimensional temperature distribution in the collector and a thermal stratification in the stores were taken into account. Good agreement was found between the computed and the measured results of the air collector, the pebble-bed store and a model-system.

For the calculation of the heat load of the house, the distribution of heat capacities (air, outside- and inside walls) was considered as well as heat losses and gains through differently orientated windows.

All computations were performed for one year based on hourly meteorological data. The following parameters were investigated: geographical location (Stuttgart, Hamburg, Hohenpeißenberg) , thickness of the thermal insulation, system configuration, sectioning of the collector field, air flow rate, collector orientation, collector parameters (gap width, selectivity and heat capacity of the absorber, glass emissivity) and parameters of the stores (heat capacity, thickness of the thermal insulation, geometry).

Solar heating systems without any stores can only cover 10% of the annual heat load. With a pebble-bed store, - which should have a heat capacity of about 0.25 MJ/K per m<sup>2</sup> collector area -, the solar fraction can be more than doubled. For collector sizes between 20 and 60 m<sup>2</sup>, the optimal air flow rate is 20 to 50 kg/(h·m<sup>2</sup>). Effect of collector field sectioning and geometry of the store on solar fraction can be neglected.

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite:</u>
KURZFASSUNG	1
FORMELZEICHEN	5
1. <u>EINLEITUNG</u>	9
2. <u>LITERATURÜBERBLICK</u>	14
2.1 Experimentelle Systemuntersuchungen	14
2.2 Theoretische Untersuchungen - Simulations- programme	19
3. <u>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN</u>	24
3.1 <u>Flachkollektoren</u>	24
3.1.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	25
3.1.2 Versuchsauswertung	30
3.1.3 Ergebnisse	34
3.1.3.1 Temperaturverteilung	34
3.1.3.2 Wirkungsgrad und Wärmeströme	40
3.1.3.3 Zeitkonstante und Druckverlust	43
3.2 <u>Gesteinsspeicher</u>	44
3.2.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	44
3.2.2 Ergebnisse	46
3.2.2.1 Temperaturverteilung	46
3.2.2.2 Effektive Wärmeleitfähigkeit	50
3.2.2.3 Zeitkonstante und Druckverlust	51
3.3 <u>Pilotanlage</u>	53
3.3.1 Versuchsaufbau	53
3.3.2 Ergebnisse	54
4. <u>THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN</u>	58
4.1 <u>Modelle der Systemkomponenten</u>	59
4.1.1 Flachkollektor-Modell	59
4.1.2 Gesteinsspeicher-Modell	63
4.1.3 Warmwasserspeicher-Modell	65
4.1.4 Wärmeübertrager (Luft/Wasser)	68
4.1.5 Rohrleitungen	69

	<u>Seite:</u>	
4.2	Lösung der Modellgleichungen	70
4.3	Überprüfung der Modelle durch den Vergleich mit experimentellen Ergebnissen	72
4.3.1.	Flachkollektor	72
4.3.2	Gesteinsspeicher	75
4.3.3	Pilotanlage	75
<b>5.</b>	<b><u>PARAMETERUNTERSUCHUNG AN FLACHKOLLEKTÖREN</u></b>	<b>78</b>
5.1	Vorgaben für die Parameteruntersuchung	78
5.2	Stationäres Verhalten von Kollektoren	79
5.3	Instationäres Verhalten von Kollektoren	85
<b>6.</b>	<b><u>SYSTEMSIMULATION</u></b>	<b>90</b>
6.1	Simulation solarer Luftheizungsanlagen	90
6.2	Systemkonfigurationen und Regelung	90
6.3	Beschreibung des Simulationsprogramms "SIMUL"	95
6.4	<u>Vorgaben für die Parameteruntersuchung</u>	100
6.4.1	Meteorologische Daten	100
6.4.2	Systemparameter	102
6.4.3	Wärmeverbrauch für Raumheizung und Brauchwasser	106
6.4.4	Definition - Solarer Deckungsanteil - Systemwirkungsgrad	107
<b>7.</b>	<b><u>ERGEBNISSE DER SYSTEMUNTERSUCHUNGEN</u></b>	<b>110</b>
7.1	Einfluß der Meteorologischen Daten	111
7.2	Einfluß der Wärmedämmung des Gebäudes	113
7.3	<u>Einfluß verschiedener Systemparameter</u>	116
7.3.1	Systemkonfiguration	116
7.3.2	Aufteilung der Kollektorfeldfläche	117
7.3.3	Luftmassenstrom	119
7.3.4	Ausrichtung des Kollektorfeldes	120
7.3.5	Länge, Wärmekapazität und Wärmedämmschichtdicke der Rohrleitungen	122

	<u>Seite:</u>
7.4	<u>Einfluß verschiedener Kollektorparameter</u> 123
7.4.1	Wärmekapazität des Absorbers 124
7.4.2	Spaltweite des Strömungskanals 125
7.4.3	Selektivität des Absorbers und Zahl der Deckscheiben 126
7.4.4	Emissionsgrad der Abdeckung 126
7.5	<u>Einfluß verschiedener Speicherparameter</u> 129
7.5.1	Wärmekapazität des Gesteinsspeichers 129
7.5.2	Wärmedämmung des Gesteinsspeichers 131
7.5.3	Geometrie des Gesteinsspeichers 132
8.	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u> 133
9.	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u> 136
10.	<u>ANHANG</u> 144