

**EIN BEITRAG ZUR OPTIMALEN AUSLEGUNG  
EINES SOLAREN HEIZUNGSSYSTEMS FÜR  
EIN WOHNGEBÄUDE**

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

Vorgelegt von  
**Abdelraouf Arafa**  
aus Alexandria /Ägypten

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. E. Hahne  
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. H. Bach  
Tag der mündlichen Prüfung: 29. 6. 1982

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
der Universität Stuttgart

1982

## K u r z f a s s u n g

ARAFA, ABDELRAOUF:

Ein Beitrag zur optimalen Auslegung eines solaren Heizungssystems für ein Wohngebäude

---

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Modell zur Simulation des zeitlichen Verhaltens eines Gebäudes mit Solarheizungssystem entwickelt. Dieses Modell wurde verwendet, um den Einfluß verschiedener Parameter eines Gebäudes auf den Wärmebedarf so zu ermitteln, daß der Wärmebedarf gering wird. Mit diesem Wärmebedarf wurde die Solarheizungsanlage optimiert. Das Modell berücksichtigt ein dreidimensionales Temperaturfeld im Flachkollektor, eine Temperaturschichtung im Speicher, sowie Wärmekapazitäten von Hauswänden. Zur numerischen Lösung der sich aus diesem Modell ergebenden nichtlinearen gekoppelten Differentialgleichungen wurden zwei verschiedene Verfahren angewandt: das Runge-Kutta-Verfahren und eine hier entwickelte Methode. Das letztere Verfahren führt nur zu kleinen Abweichungen gegenüber der Runge-Kutta-Methode, doch kann damit die Rechenzeit drastisch reduziert werden. Der Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Ergebnissen für verschiedene Flachkollektoren, die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen ausgesetzt waren, führt zu guten Übereinstimmungen. Für solare Warmwasserbereiter in zwei Häusern in der Bundesrepublik Deutschland ist ein qualitativer Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Daten durchgeführt worden.

ARAFA, ABDELRAOUF:

A Contribution for the Design Optimization of a Solar Heated House

A transient simulation model for an integrated solar heating system in a building has been developed. This model is used to investigate the influence of different parameters of the building on its heating load with the objective of minimizing the load and using it in optimizing the solar heating system. The model considers a three-dimensional thermal analysis in the flat plate collector, the stratification in the storage tank and the effect of wall capacity of the building. Two different methods have been used in the numerical solution of the non-linear coupled differential equations resulting from the model. One uses the Runge-Kutta method and the other uses a self-devised method. The self-devised method gives very small deviations in the results compared to the Runge-Kutta method while reducing the computing time drastically. The comparison between measured and predicted results for various solar collector types operating under different weather conditions shows good agreement. In addition, qualitative comparisons between data and predictions are presented for a domestic solar heating system installed in two different houses in the northern and southern parts of West Germany.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Formelzeichen	5
Indices	4
1. Einleitung	8
2. Allgemeiner Überblick	11
2.1 Simulationsmodelle für Flachkollektoren	11
2.2 Wärmebedarf von Wohngebäuden	16
2.3 Simulationsprogramme für Solarheizungssysteme	20
3. Modelle der Komponenten	23
3.1 Kollektor Modell	23
3.2 Speicher Modell	32
3.3 Modell des Wohngebäudes	36
4. Lösungen der Systemgleichungen	42
4.1 Numerische Lösung	45
4.2 e-Funktionsmethode	45
4.3 Rechenprogramme	53
4.4 Überprüfung durch Vergleich einiger numerische Ergebnisse mit experimentellen Ergebnissen	55
5. Vorgaben für die Parameteruntersuchung	59
5.1 Meteorologische Daten	59
5.2 Heizenergiebedarf für Warmwasser	62
5.3 Heizenergiebedarf für Raumheizung	63
5.4 Optimierungskriterien	63
5.4.1 Thermodynamische Gesichtspunkte	63
5.4.2 Wirtschaftliche Gesichtspunkte	64
5.5 Variierte Parameter	66
5.5.1 Wohngebäude	66
5.5.2 Solarheizungssystem	66
5.6 Konstante Parameter	67
5.6.1 Wohngebäude	67
5.6.2 Solarheizungssystem	68
5.7 Lösungsmethode für das System "Wohngebäude"	69

6.	Ergebnisse für das Wohngebäude	71
6.1	Parametervariation	71
6.1.1	Verschiedene Orientierungen und Grundrißformen	71
6.1.2	Verschiedene Wand- und Isolierdicken	73
6.1.3	Verschiedene Fensterflächenanteile	75
6.1.4	Temperaturabsenkung während der Nacht	77
6.1.5	Verschiedene Lufttemperaturen	79
6.2	Wärmebedarf	80
6.2.1	Jährliche Wärmebedarfsrechnung mit den reduzierten und stündlichen Wetterdaten von Hamburg und Freiburg	80
6.2.2	Verteilung des Wärmebedarfs für Standard-Monatstage	83
7.	Ergebnisse für das Solarheizungssystem	87
7.1	Betrachtung zur erforderlichen Rechenzeit	87
7.2	Parametervariation	88
7.2.1	Verschiedene Kollektorflächen	88
7.2.2	Verschiedene Rohrabstände	92
7.2.3	Verschiedene Speichervolumen	95
7.2.4	Verschiedene Kollektorlängen	98
7.2.5	Verschiedene Absorberbeschichtungen und Zahl der Deckgläser	102
8.	Ergebnisse zu den Energiekosten	107
9.	Meßergebnisse von 2 Solar-Häusern in der Bundesrepublik Deutschland	115
10.	Zusammenfassung	120
11.	Literaturverzeichnis	122
12.	Anhang	131