



Systeme wurden in der Simulationsumgebung TRNSYS derart abgebildet, dass je nach Systemverschaltung Jahressimulationen mit Zeitschrittweiten von 6 bzw. 7,5 Minuten durchgeführt werden konnten. Bei den Betriebsoptimierungen wurde auf die an den jeweiligen Anlagen gemessenen Verbrauchsprofile zurückgegriffen, für das Planungsstadium wurden entsprechend den ursprünglichen Planungsannahmen aus gemessenen Tagesverteilungen Verbrauchsprofile für Krankenhäuser generiert. Während des Betriebes wurde der elektrische Hilfsenergieaufwand aufgrund der hydraulischen Verschaltung und verwendeten Volumenströme primärenergetisch, im Planungsstadium bei der Berechnung der laufenden Betriebskosten berücksichtigt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag nun auf der Ermittlung der Optimierungspotenziale für die drei o.g. Optimierungsstufen sowie auf dem Vergleich der sieben im Optimierungstool implementierten Algorithmen. Je nach Optimierungsstufe wurden zwischen 7 und 17 Parameter, wie z.B. Volumenströme, Pufferspeichervolumen und UA-Werte der Wärmeübertrager, variiert. Die Kollektorfläche wurde jedoch festgehalten.

## Ergebnisse

Abbildung 3 verdeutlicht die Entwicklung der solaren Wärmekosten bei der Anwendung von fünf verschiedenen Optimierungsalgorithmen auf das Solarsystem der Maingau Klinik in Frankfurt/Main. Zu erkennen ist, dass evolutionäre Algorithmen im Planungsstadium, in dem eine große Anzahl von Parametern festgelegt werden müssen, deutlich zuverlässiger arbeiten als nicht-stochastische Verfahren. Letztere konvergieren zwar schnell, erreichen dann oftmals aber nur lokale Minima der Zielfunktion, in diesem Fall die solaren Wärmekosten.

Verglichen mit den geschätzten Wärmekosten der beiden an Krankenhäusern real installierten Systeme führten die mit Optimierungsrechnungen ermittelten Systemauslegungen mit 14 und 16 Prozent zu überraschend großen Kostensenkungspotenzialen im Planungsstadium. Im Vergleich zu den bisher üblichen Auslegungsrichtwerten ergab sich, dass bei großen Solarsystemen die Volumenströme deutlich kleiner und die Wärmeübertrager deutlich größer dimensioniert werden sollten, vgl. Tab. 1 und [4].

Bei der Interpretation der Potenziale muss allerdings beachtet werden, dass nicht vollständig sichergestellt werden konnte, dass für alle Komponenten bei der ursprünglichen Anlagenplanung und bei der Optimierung identische Kostenfunktionen verwendet wurden. Darüber hinaus waren die Simulationsschrittweite und die Auflösung speziell der Verbrauchsdaten relativ ungenau, so dass die Bestimmung z.B. von Regelungsparametern mit Unsicherheiten behaftet ist.

Während des Betriebs ergaben sich dagegen völlig andere Tendenzen. Hier zeigten nicht-stochastische Verfahren aufgrund einer reduzierten Anzahl freier Parameter ein deutlich besseres Verhalten, die Optimierungspotenziale waren aber insbesondere bei einer z.B. täglichen Anpassung der Reglerparameter selbst bei sehr genauen Wetter- und Verbrauchsvorhersagen nur vernachlässigbar gering.



Prof. Dr. Klaus Vajen

## Ausblick

Bei den hier vorgestellten Untersuchungen ergaben sich für große solarintegrierte Wärmeversorgungsanlagen überraschend große Kostensenkungspotenziale, so dass für besonders ein-

# SOLARADRESSBUCH 2004 BESTELLEN!

## SOLARADRESSBUCH 2004



**NEU:**  
Mit Marktübersicht  
Wechselrichter  
und Marktübersicht  
Solarkollektoren

Das Anwenderbuch für die Branche:  
Praxisratgeber, Förderung, Marktentwicklungen,  
Anschriften- und Leistungsverzeichnis

Marktanalysen für Photovoltaik und Solarthermie, Praxisleitfaden für die Installation Ihrer Solaranlage, Förderprogramme von Bund und Ländern – sowie rund 300 Einträge mit dem Leistungsverzeichnis von Firmen, Forschungseinrichtungen und Verbänden.

**Das Nachschlagewerk für die Branche – jetzt bestellen!**

Hiermit bestelle ich das **SOLARADRESSBUCH 2004** (SunMedia Verlags-GmbH, Hannover 2004, ISBN 3-9807957-5-6, ca. 200 Seiten) zum Preis von **10 Euro zzgl. 3 Euro Versand**.

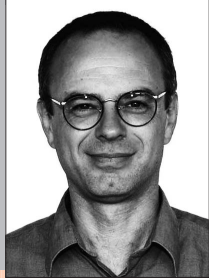
Name

Anschrift

Datum/Unterschrift

An: SunMedia Verlags-GmbH, Querstr. 31,  
30519 Hannover, Fax 0511/844 25 76

flussreiche Parameter neue Dimensionierungsempfehlungen ermittelt werden konnten. Speziell für Direktdurchlaufsysteme sollten die Ergebnisse aber mit einer höheren Simulationsgenauigkeit nochmals untersucht werden. Die im Rahmen des Solarthermie-2000-Programms gesammelten Daten bieten darüber hinaus eine hervorragende Grundlage, um mit Hilfe von Optimierungrechnungen für verschiedene Systemvarianten, Standorte und Verbrauchsprofile überarbeitete Planungsrichtlinien erstellen zu können. Aufgrund der Universalität der Optimierungsmethode sollte diese aber auch bei anderen Solarsystemtypen eingesetzt werden, um auch für diese weitere Kostensenkungspotenziale identifizieren und erschließen zu können. Weitere sinnvolle Einsatzbereiche wären die Komponentenentwicklung, insbesondere aber auch Systemuntersuchungen unter Einbeziehung der fossilen Nachheizung, der übrigen Haustechnik sowie auch des Gebäudes.



Dipl.-Ing.  
Andreas Knoch

Anschrift des Autors:  
Wagner & Co.  
Solartechnik,  
Ringstr. 14,  
35019 Cölbe,  
Tel. 06421/8007-0,  
Fax 06421/8007-322,  
E-Mail: andreas.knoch  
@wagner-solartechnik.de,  
www.wagner-  
solartechnik.de

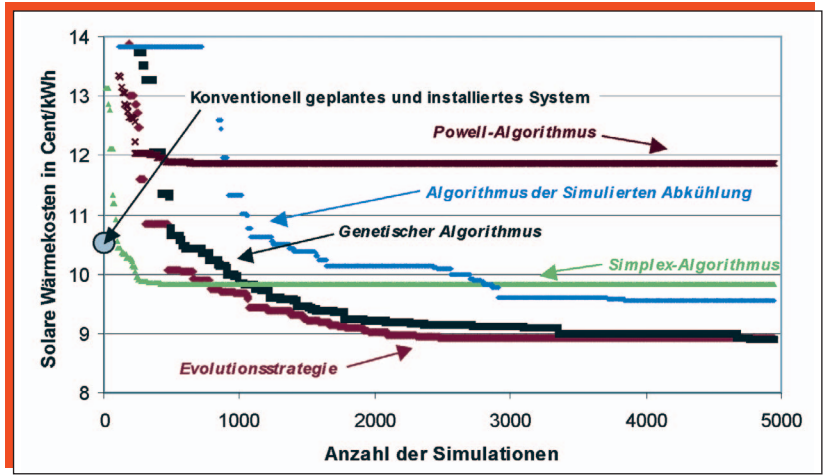


Abbildung 3: Entwicklung der solaren Wärmekosten in Abhängigkeit von der Anzahl der Simulationen für verschiedene Optimierungsalgorithmen während einer nachträglich durchgeführten Planungsoptimierung der solaren Wärmeversorgungsanlage der Maingau-Klinik in Frankfurt. Dargestellt sind aus Gründen der Übersichtlichkeit für jeden Algorithmus nicht die Zielfunktionswerte aller getesteter Parametervektoren im Optimierungsverlauf, sondern nur diejenigen, die nach der entsprechenden Anzahl von Simulationen die jeweils besten Zielfunktionswerte aller bis dahin getesteten Parametervektoren aufwiesen. Der graue Wert auf der Ordinatensachse repräsentiert die geschätzten solaren Wärmekosten für das auf konventionelle Art und Weise geplante und so auch installierte System. Anhand dieses Wertes wurde ein Optimierungspotenzial von 16 % identifiziert.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Rudolf-Otto-Meier Umweltstiftung, deren finanzielle Unterstützung die Durchführung der Arbeiten ermöglichte,

sowie bei Thomas Freitag und Jens Göring von der TU-Chemnitz für die Überlassung von an der Solaranlage des Studierendenwohnheims in Zwickau gemessenen Daten. Der vorliegende Beitrag war auch Gegenstand des

gleichnamigen Vortrages auf dem 14. Otti-Symposium „Thermische Solarenergie“ vom 12.-14.5. in Staffelstein.

### Literatur

- [1] Bine Informationsdienst: Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung, Themen Info III/02, Karlsruhe, 2002.
- [2] Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P.: Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- [3] Bäck, T.: Evolutionary Algorithms in Theory and Practice, Oxford University Press, Oxford, 1996.
- [4] Krause, M.: Optimierungskonzept für große solarintegrierte Wärmeversorgungsanlagen, Dissertation Fachbereich Maschinenbau, Universität Kassel, 2003.

	Direktdurchlauf (150 m <sup>2</sup> )		Vorwärmespeicher (240 m <sup>2</sup> )	
	Installiert	Optimiert	Installiert	Optimiert
Solarer Wärmepreis in Cent/kWh	10,5	8,8	9,1	7,8
Solarvolumenstrom im Primärkreis in Liter/m <sup>3</sup> h	13,0	8,0	12,0	10,0
UA-Wert des Solarkreiswärmeübertragers in W/m <sup>2</sup> K	74,2	140,0	70,8	140,0
Rohrdurchmesser der primären Solarkreisleitung in mm	40,0	25,0	32,0	32,0
Pufferspeichervolumen in m <sup>3</sup>	4,0	4,0	9,0	6,0

Tabelle 1: Vergleich ausgewählter Parameter vor und nach der Optimierung von zwei der untersuchten Systeme, wobei die Kollektorflächen auf die jeweils installierten Werte gesetzt und nicht mit optimiert wurden. Für die Berechnungen wurde ein Genetischer Optimierungsalgorithmus eingesetzt.

## "Solar statt Öl"

### Solare Mobilität:

- zu Lande - mit Solarmobilen und Solarrollern
- zu Wasser - mit der Sonne im Boot
- in der Luft - elektrisch, leise und abgasfrei

der Bundesverband Solarmobil informiert:

[www.solarmobil.net](http://www.solarmobil.net)



Parallel zur hafa Bremen und BAUEN Bremen

# SOLAR PLUS BREMEN

Die Fachausstellung für Solartechnik und energieeffizientes Bauen

**11.-13. Sept. 2004**  
Bremen · Messe Centrum  
Halle 4.1 · 9.30-18.00 Uhr

Weitere Informationen:  
[www.heckmannmbh.de](http://www.heckmannmbh.de) · Tel. 0421/201 55-0 · [info@fh.messe.de](mailto:info@fh.messe.de)  
Eine Informations- und Verkaufsausstellung der Fachausstellungen Heckmann GmbH

Ideelle Träger:

Bremer Energie-Konsens  
DGS Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.  
Solartechnik Bremen

Attraktives Rahmenprogramm  
Fachforum für Fachbesucher  
Vorträge für Verbraucher