Software in a loop - Polysun und Matlab zur Optimierung solarthermischer Systeme - Zusammenfassung -

J. Koke, M. Kuhr; U. Clement*)
Hochschule Osnabrück, Campus Lingen
Kaiserstr. 10c
49809 Lingen (Ems)
Tel.: 0591-800 98-730

Email: j.koke@hs-osnabrueck.de

*) Bosch Thermotechnik GmbH

Einleitung

Die Kostenreduzierung solarthermischer Systeme bleibt eine der großen Herausforderungen, um die Solarthermie wirtschaftlich attraktiv zu machen. Es wurde eine vollständige Simulationsumgebung geschaffen, mit der bereits in der Entwicklungsphase automatisierte Optimierungen in Bezug auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit von Kollektoren und Systemen zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung möglich sind /1/. Dabei können konstruktive wie auch systemische Parameter variiert und optimiert werden.

Methodik

Im Zentrum der Entwicklung steht ein Kollektortool auf Matlab[®]-Basis, das mit einem numerischen Optimierer sowie einem Jahressimulationstool, hier Polysun[®] Inside, gekoppelt wird. Der Kollektor wird als ein thermisches Netzwerk modelliert, in dem alle wesentlichen Komponenten, Randbedingungen und Wechselwirkungen berücksichtigt werden /2/. Dadurch können Kollektorkennlinien und -kosten in Abhängigkeit einer Vielzahl von Konstruktionsparametern in sekundenschelle berechnet werden. Das Modell wurde mit realen Kollektorkennlinien validiert.

Die Übergabe der ermittelten Kennlinienparameter an Polysun[®] Inside ermöglicht direkt im Anschluss die Berechnung des zu erwartenden solaren Jahresertrages sowie der spezifischen solaren Gestehungskosten. Als Austauschformat werden XML-Dateien verwendet, welche als ASCII-Textdatei kodiert und menschenlesbar sind. Schließlich kann dieses Simulationssystem über einen Optimierer gesteuert werden, sodass automatisch optimale Parameterkonfigurationen für die Kollektorkonstruktion sowie für das Gesamtsystem unter der Maßgabe z.B. minimaler solarer Gestehungskosten ermittelt werden können. Dabei werden bis zu 140 Kollektorparameter inklusive Material- und Bauteilkosten sowie die einschlägigen Systemparameter wie Kollektorfläche und Speichervolumen berücksichtigt.

Der gesamte Simulationsablauf wird durch eine Matlab[®]-Routine gesteuert. Bei einer typischen Simulation mit Optimierung werden zunächst Standardwerte und Randbedingungen für die Matlab[®]-Kollektorsimulation und Polysun[®]-Systemsimulation vorgegeben. Anschließend werden diese an die Programmsteuerung in Matlab[®] übergeben und zyklisch optimiert:

- Berechnung von Kollektorparametern im Knotenmodell
- Wandlung von für Polysun[®] Inside relevanten Daten in XML
- Systemsimulation in Polysun® Inside
- Wandlung der Daten aus Systemsimulation in XML
- Kostenmodul berechnet Kosten mit Daten aus dem Knotenmodell und der Systemsimulation
- Optimierer übergibt modifizierte Parameter an die Steuerung

Diese Punkte wiederholten sich bis gewünschte Kriterien erfüllt sind. Ein typischer Optimierungsablauf ist in Abb.1 dargestellt.

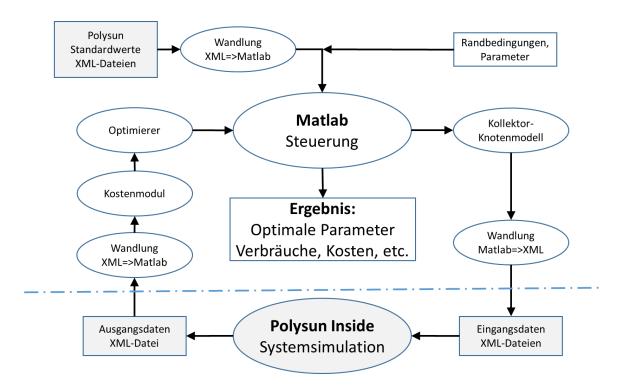


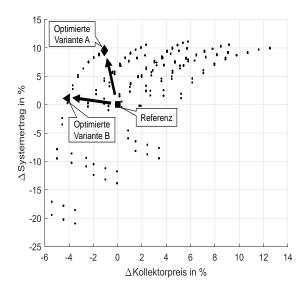
Abb.1: Kopplung von Matlab und Polysun für Optimierungsrechnungen. Datenübergabe mittels XML-Dateien

Variantenstudie zur Ermittlung neuer Kollektoren

Für ein System, bestehend aus einem Pufferspeicher mit Frischwasserstation, wurde eine Variantenstudie mit über 1000 Kollektorvariationen bezogen auf den Jahresertrag durchgeführt. Der Wärmeverbrauch des Gebäudes wurde an Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV2016 /3/ angepasst. Das Zapfprofil orientiert sich an dem Referenzprofil der VDI 6002 /4/. Der jährliche Mehr-/Minderertrag und die Kollektorkosten wurden mit einem Referenzkollektor verglichen (Abb. 2). Aus der Grafik lassen sich aus Sicht eines Kollektorherstellers nun Optimierungspotenziale ableiten:

- a) eine primäre Verbesserung der Kollektorleistung um ca. 9% und gleichzeitiger leichter Kostensenkung um 1% (Variante A). Hier wird der Kundennutzen besonders berücksichtigt, indem die Amortisationszeit durch den höheren Systemertrag reduziert wird
- b) eine reine Kostensenkung um 4%, ohne den Systemertrag zu reduzieren (Variante B).

Der Vergleich der resultierenden Kollektorkennlinien zeigt, dass der leistungstechnisch optimierte Kollektor A über den gesamten Temperaturbereich verbessert wurde. Der kostentechnisch optimierte Kollektor B schneidet hingegen die Kennlinie des Referenzkollektors, d.h. bei kleinen Temperaturdifferenzen ist der Wirkungsgrad von Kollektor B geringer (Abb. 3).



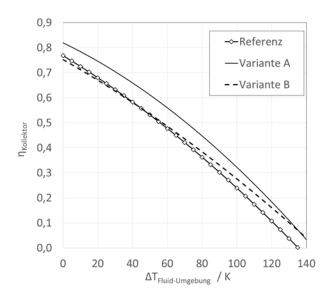


Abb.2: Variantenstudie mit 1000 Kollektorvariation für ein festgelegtes System

Abb.3: Kollektorkennlinien des Referenzkollektors und der optimierten Varianten A und B

Systemoptimierung

Für den Referenzkollektor sowie die beiden optimierten Varianten kann schließlich noch das kostenoptimale System durch systematische Variation von Kollektoranzahl und Speichervolumen ermittelt werden (Abb. 4). Größere Systeme führen zu etwas höheren Gestehungskosten, liefern allerdings einen größeren Jahresertrag. Es können relative Optima (verschiedene Kollektoranzahlen oder -typen.), aber auch ein absolutes Optimum ermittelt werden.

Die Systemstudie wurde sowohl für den Referenzkollektor, als auch für die beiden optimierten Kollektortypen A und B durchgeführt. Das optimale System mit den minimalen solaren Wärmegestehungskosten ergibt sich für ein Solarsystem mit zwei Kollektoren von Typ A. Der kostenoptimierte Kollektor Typ führt hingegen zu leicht höheren spezifischen solaren Gestehungskosten. Diese Tendenz lässt sich erst mit einer kompletten Systemsimulation erkennen.

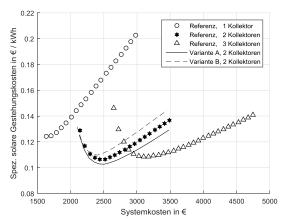


Abb. 4: Systemstudie; Variation von Kollektoranzahl, Speichervolumen und Kollektortyp

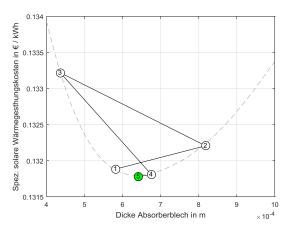


Abb. 5: Darstellung der Optimierungsschritte am Beispiel der optimalen Auslegung eines Absorberbleches: Spezifische solare Gestehungskosten als Funktion der Bechdicke

Optimierung einzelner Konstruktionsparameter

Ein Beispiel für eine automatische Optimierung ist in Abb. 5 dargestellt. Hier wird die wirtschaftlich optimale Dicke eines Absorberbleches gesucht. Dazu werden die ertragsspezifischen Kollektorkosten als Zielgröße minimiert. In der Grafik ist erkennbar, wie der Optimierer von einem beliebigen Startwert aus ein Kostenminimum findet. Das Minimum wird bereits nach 5 Iterationen gefunden. Die gestrichelte Linie im Hintergrund stellt zur Orientierung den tatsächlichen Zusammenhang dar.

Dem Konstrukteur kann also mit Hilfe der Simulation eine eindeutige Antwort auf die häufig gestellte Frage nach der optimalen Größe gegeben werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine vollständige Simulationsumgebung geschaffen, mit der bereits in der Entwicklungsphase automatisierte Optimierungen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und Ertrag des Gesamtsystems durchgeführt werden können.

Das vollständige Potenzial des Simulationssystems erschließt sich durch die Einbindung eines automatischen Optimierers, der Konstruktions- und Systemparameter für beliebige Anwendungsfälle wie z.B. Prozesswärme oder Thermosiphonsysteme optimieren kann. Anstatt der solaren Gestehungskosten kann die Optimierung auch für andere Größen wie z.B. Amortisationszeit durchgeführt werden.

Selbstverständlich ist die Betrachtung in dem vorgestellten Modell rein thermodynamisch. Sonstige konstruktive Einflüsse z.B. der Statik und mechanischen Robustheit bleiben hier noch unberücksichtigt und bedürfen einer separaten Analyse.

Literatur

/1/ J. Koke, M. Kuhr, M. Althoff; U. Clement, M. Köhler, H. Boedeker; Ganzheitliche Kostenoptimierung solarthermischer Systeme für Hersteller und Entwickler mittels Simulation; Tagungsband 26. Symposium Thermische Solarenergie, 2016 /2/ John A. Duffie, William A. Beckman; Solar Engineering of Thermal Processes; Wiley, 1991

/3/ Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), Stand: 24.10.2015 /4/ VDI 6002 Blatt , Solare Trinkwassererwärmung - Allgemeine Grundlagen - Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau; 2014



In Zusammenarbeit mit 🗐 BOSCH

Förderkennzeichen: 0325552A und 0325552B

Notizen