

# ColSim - Eine modulare Simulationsumgebung zur Entwicklung von Regelalgorithmen für Embedded Systems in Energieversorgungsanlagen

Dr.-Ing. Christof Wittwer, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg  
Phone: +49 (0) 761 / 4588-5115, Fax: -9000  
e-mail: christof.wittwer@ise.fhg.de; Internet: <http://www.ise.fhg.de>

## Zusammenfassung

Am Fraunhofer ISE wurde in den letzten Jahren die Simulationsumgebung ColSim entwickelt, die sich speziell zur Untersuchung von Regelungssystemen in Gebäudeenergieversorgungssystemen eignet. Zielsetzung des Designs ist die Umsetzung des simulationsbasierten Regelungsentwurfs, der einen unmittelbaren Einsatz der Regelungsmodule auf sog. Embedded Systems gestattet. Dabei werden in zunehmendem Maße auch modellbasierte Regelungskonzepte Anwendung finden.

## ColSim: Idee und Konzept

Das Simulationswerkzeug zeichnet sich durch eine modulare offene Struktur aus, die eine flexible Erweiterung ermöglicht (vgl. TRNSYS [1]). Die Implementierung erfolgt im standardisierten ANSI-C Code, der einen plattform-unabhängigen Einsatz gewährleistet. Entwicklungsplattform stellt derzeit ein Linux Cluster dar, als Zielplattform wurden bisher sowohl eingebettete Industrie-PCs wie auch klassische Microcontroller-Boards verwendet.

Zur Simulation von Regelungsprozessen in thermischen Energieversorgungssystemen ist eine detaillierte Modellierung erforderlich.

Dynamische Systeme lassen sich durch die Verkettung sog. RC-Glieder abbilden, die die thermischen Kapazitäten repräsentieren. Abb. 1 zeigt ein derartiges RC-Teilmodell, das als Knotenpunkt verschiedener Wärmeströme fungiert. Die thermische Kapazität wird durch die Solarstrahlungsquelle (Wärmestromquelle) geladen und über die thermische Ankopplung an die Umgebung entladen. Der Massenstrom wird in ColSim über das sog. Plug-Flow Prinzip realisiert: Der Wärmestrom eines Fluids wird durch diskrete Energieelemente abgebildet und erfordert dabei eine hohe zeitliche Auflösung ( $\Delta Q$ -PlugIn, PlugOut). Die Numerik von ColSim löst jede einzelne

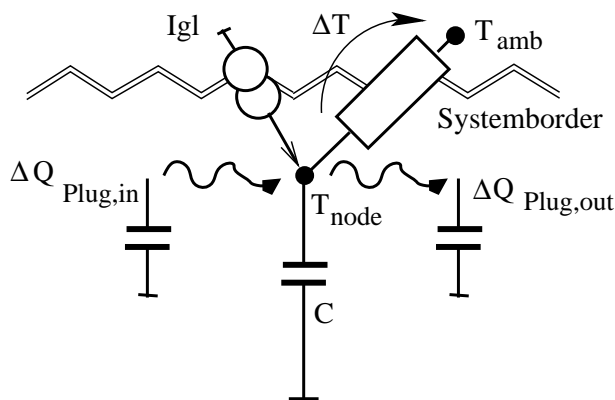


Abbildung 1: Thermisches Ersatzschaltbild

Differentialgleichung sequenziell über ein modifiziertes explizites Euler-Verfahren, wobei der Wärmestrom aus den sog. Plugs über eine Enthalpiemischung auch bei großen Massenströmen Stabilität gewährleistet.

Abb. 2 zeigt die Abfolge des Aufrufs der Modelle (TYPES) in einem verzweigten Rohrnetz. Vorteil dieser Technik ist beispielsweise, dass die Anordnung bereits bei Initialisierung festgelegt wird und damit unabhängig vom Lösungsprozess der Gleichungen ist.

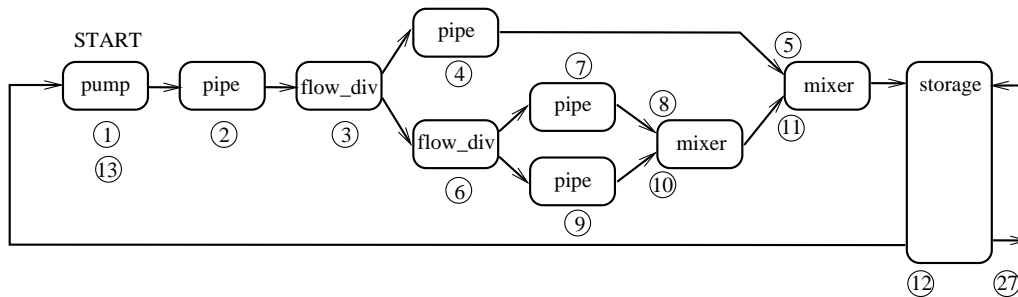


Abbildung 2: Ablaufschema der PlugFlow Modellierung in ColSim

Die typische Zeitauflösung in ColSim liegt im Bereich von 10 Sekunden, ist aber prinzipiell abhängig von den Zeitkonstanten (Parametern) der Modelle. Das typische Simulationszeitintervall liegt bei einem Betriebsjahr, wobei die Rechenzeiten in der Regel bei 5 bis 50 Minuten bei Verwendung aktueller PC Architektur liegen.

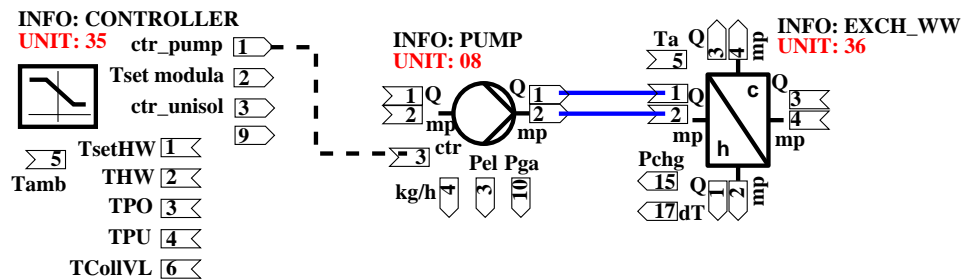


Abbildung 3: Blockdiagramm aus ColSim

Die Struktur von ColSim ist modular und erlaubt somit die Einbindung von neuen Modellen und auch von Regelungsalgorithmen. Die Systemdefinition erfolgt über Bauteilbibliotheken mittels des Vektorzeichenprogramms XFIG, das im Quellcode frei verfügbar ist (Public Domain, PD). Die Systemgrafik wird als ASCII Datei definiert, wodurch die Verarbeitung durch einen Parser möglich ist. Die Grafik wird interpretiert, so dass die Modelle, die Parameter und die Verknüpfungen extrahiert werden können. Das dabei entstandene Simulationsskript wird im ASCII Format (sog. dek-file) abgelegt und erlaubt somit die automatisierte Bearbeitung beim Simulationsprozess. Abb. 3 zeigt einen Ausschnitt aus dem Blockschaltbild, das sich über Inputs und Outputs verknüpfen lässt.

## Simulationsbasierter Regelungsentwurf

Zunächst sollte die Regelungsstruktur definiert werden, d.h. die Anzahl

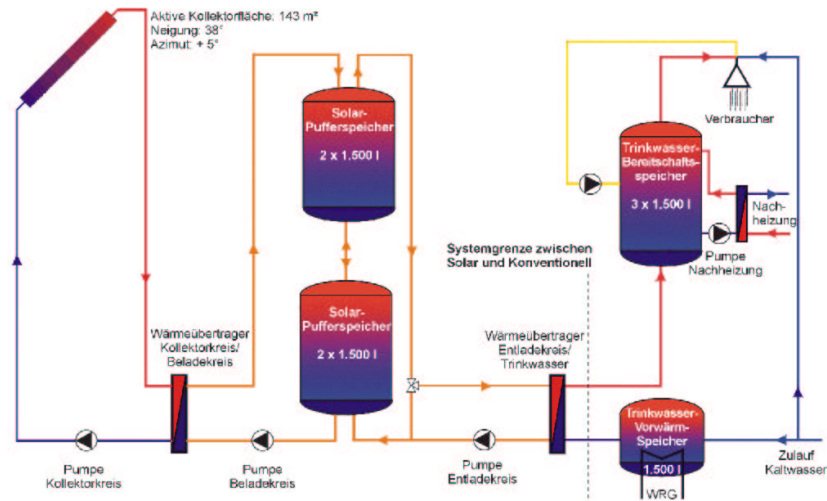


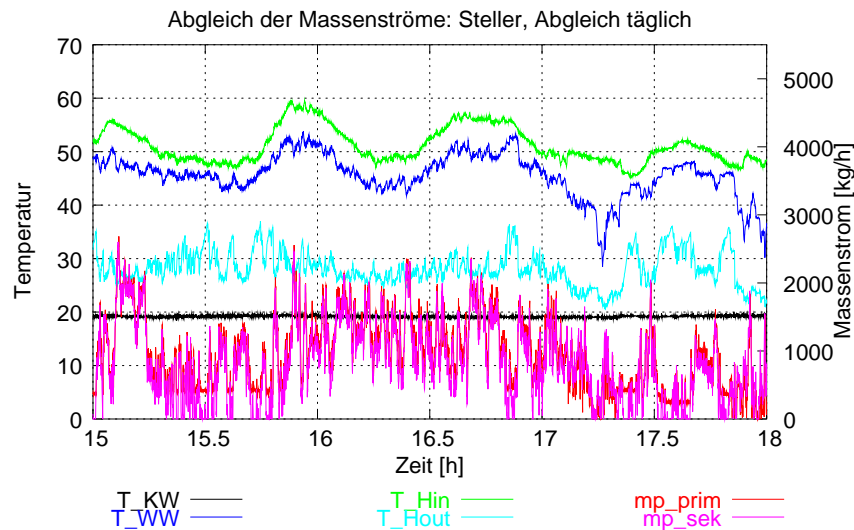
Abbildung 4: Schema der ST2000 Anlage des Studentenwohnheims Vauban der Subregelungssysteme wird festgelegt. Im Bereich thermischer



Abbildung 5: Kompakteinheiten mit integrierten vernetzten Emedded Systems

Systeme werden vormontierte Kompakteinheiten immer üblicher, die eine Integration eines vernetzten Regelungssystems erlauben. Abb.4 zeigt ein Schema einer Solaranlage, die über eine sog. Be- und eine Entladeeinheit verfügt. Das Fraunhofer ISE hat im Forschungsprogramm SolarThermie2000 Kompakteinheiten in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt, die über Embedded Systems verfügen. Die Struktur erlaubt die sternförmige Verdrahtung mit den integrierten Sensoren und Aktoren und reduziert die Verkabelung zu ferngelegenen Sensoren durch die Möglichkeit der Vernetzung via Ethernet. Das Regelungssystem verfügt seinerseits über ein Betriebssystem (schlankes embedded linux system), das die Kommunikation nach aussen gestattet. Das Regelungssystem verfügt somit über Klima- bzw. Strahlungsdaten, die für den Regelungsprozess von Bedeutung sind. Die externen Informationen können einerseits zur "Einsparung" von Sensorik genutzt werden, andererseits gestatten sie den Einsatz von prädiktiver Regelungsmethodik, um den fossilen (Nachheiz-) Energieeinsatz zu minimieren.

Die Solaranlage und die Kompaktbaugruppen wurden in ColSim einschließlich der Be- und Entladeregulierung modelliert, wobei den Regelungsmodulen die Ein- und Ausgangsgrößen aus der Simulation zur Verfügung stehen. Die Regelungsroutinen wurden nach der Simulationsoptimierung auf die Zielplattform übertragen und lassen sich auch derzeit noch über den Internet Zugriff verändern. Abb. 6 zeigt den dynamischen Verlauf der Volumenströme in Primär- und Sekundärkreis der Entladegruppe, der mit der realisierten Regelung auf dem Embedded System erfasst wurde.



**Abbildung 6:** Aufzeichnung der Entladeregulierung, die mit Hilfe von ColSim Simulationen entwickelt wurde. Dabei wurde ein Abgleich zwischen Primär- und Sekundärkreisvolumenstrom mittels adaptivem Kennfeldregler eingesetzt.

### Ausblick

Die vernetzten Regelungssysteme, die auf Basis der Simulationsmodelle entwickelt werden, sollen künftig die gesamte Energieflussanalyse des Gebäudes realisieren, wobei eine transparente Darstellung des Systemverhaltens auf Basis einer Internet Visualisierung erfolgt. Der Betreiber und Nutzer wird unmittelbar durch die Online Dienste (SMS, Email, Fax) über das (fehlerhafte) Anlagenverhalten informiert. Gerade die sensitiven regenerativen Systeme neigen durch ihre Komplexität zu Störungen, die oftmals nicht erkannt werden, weil die konventionellen Teilsysteme (z.B. Ergasbrenner) den Ausfall in der Regel "kompensieren". Die modellbasierte Regelung kann als Basis einer "intelligenten" Systemregelung betrachtet werden, da der (dynamische) innere Zustand des Systems erfasst und kontrolliert wird. Die Störungsanalyse ermöglicht in diesem Falle eine weit aus schnellere Detektion von Betriebs- und Anlagenfehlern, die im Falle der Vernetzung schnell erfasst werden können. Auch die Reduktion des Primärenergieeinsatzes lässt sich über die Erfassung der äußeren Randbedingungen (Klima und Nutzer) deutlich optimieren.

## Literatur

- [1] Wittwer, C.; Lustig, K.; Rommel, M.: ConCheck - Der Simulationsgestützte Regelungsentwurf von Solarthermie2000 Anlagen. Tagungsband zum 12. Symposium Thermische Solarenergie. Staffelstein, 2002.
- [2] Buschmann, S.; Lustig, K.; Becker, R.; Rommel, M., Wittwer, C.; Heizungsunterstützung mit solarthermischen Großanlagen ; Tagungsband zum 13. Symposium Thermische Solarenergie, 2003
- [3] C. Wittwer. ColSim - Simulation von Regelungssystemen in aktiven solarthermischen Anlagen. Dissertation Universität Karlsruhe (TH) 1999. <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de>,<http://www.colsim.de>
- [4] C.Wittwer, W.Hube, P.Schossig, A.Wagner, C.Kettner, M.Mertins, K.Rittenhofer. ColSim - A new simulation environment for complex system analysis and controllers. Building simulation, Rio de Janeiro - Brazil, 13-15.8.2001.
- [5] Croy R.: Tagungsband 10. Symp. Thermische Solarenergie OTTI 2000; Erfahrungen mit Regelungen für thermische Solaranlagen im Programm Solarthermie-2000, Teilprogramm 2