

Solarhaus Gundelfingen – Digitales Durchflusskonzept für minimalen Energieverbrauch

Dipl.–Ing. Michael Hermann, Dr.–Ing. Christof Wittwer,
Dipl.–Ing. Werner Hube, cand. biol. Stefan Gschwander, Dipl.–Ing. Anke Pfistner

Fraunhofer–Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg
Tel.: 0761/4588–5409, Fax: 0761/4588–9409
hermann@ise.fhg.de, <http://www.ise.fhg.de>

Universität Karlsruhe (TH), Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau
<http://www.fbta.uni-karlsruhe.de>

Zusammenfassung

Der Heizenergiebedarf in Wohngebäuden konnte in den letzten Jahren durch einen hohen Dämmstandard sowie zunehmende Nutzung der Solarenergie deutlich gesenkt werden. Dem Einsparpotenzial beim Verteilen der gespeicherten Wärme in die Wohnungen wurde bislang jedoch wenig Beachtung geschenkt. So wird durch eine Absenkung der Rücklauf­temperatur im Heizkreis der Solarenergieertrag gesteigert. Außerdem kann der Primärenergiebedarf für die Heizkreis­pumpe durch optimierte Reg­lungsstrategien gesenkt werden. In diesem Beitrag wird ein solches Konzept für ein Mehrfamilienhaus vorgestellt, welches auf einer getakteten Betriebsweise des Heizsystems basiert.

Das Projekt "DigiFlow"

Im Rahmen eines vom BMWi geförderten Forschungsprojektes untersuchen das Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau (Universität Karlsruhe) und das Fraunhofer ISE neue Regelungsstrategien für Heizsysteme in Niedrigenergiehäusern mit Solarenergienutzung. Diese sollen konkret am "Solarhaus Gundelfingen" – einem Mehrfamilienhaus, das bereits bei OTTI–Tagungen vorgestellt wurde [Hube 2000] – umgesetzt werden.

Zentrales Element des Heizsystems in diesem Haus ist der Schichtenpufferspeicher (1500 Liter), der sowohl den Heizkreis als auch über eine Umladung den Brauchwasserspeicher mit Wärme versorgt. Durch eine Absenkung der Rücklauf­temperatur im Heizkreis soll eine bessere Schichtung im Pufferspeicher erreicht werden, was zu niedrigeren Vorlauf­temperaturen im Kollektorkreis und damit aufgrund des besseren Wirkungsgrades zu einer Erhöhung des solaren Deckungsgrades führt. Um die größere Temperatur­spreizung im Heizkreis zu erreichen, muss der Volumenstrom deutlich reduziert werden, was bei dem geringen Wärmebedarf teilweise nur durch zeitweises Ausschalten der Pumpe, also einen getakteten Betrieb, möglich ist. Diese Tatsache wird bei dem "digitalen" Regelungskonzept ("DigiFlow") genutzt, indem einzelne Wohnungen bzw. Wohnungsgruppen nacheinander mit Heizwärme versorgt werden. So können die Heizkörper in einer Wohnungsgruppe beladen werden, während sie in den anderen gerade ihre Wärme abgeben. Die Pumpe kann dadurch in einem günstigeren Betriebsbereich mit höherem Wirkungsgrad betrieben werden, so dass hier eine weitere Möglichkeit zur Primärenergieeinsparung besteht.

In Niedrigenergiehäusern stellt die Wärmemengenmessung aufgrund der geringen Volumenströme und Temperaturspreizungen ein Problem dar, weil damit Messgeräte meist außerhalb der Normspezifikation betrieben werden. Das "DigiFlow"-Konzept ermöglicht hier eine Reduzierung der Messfehler durch Erhöhung der Temperaturspreizung und der momentanen Volumenströme während der Beladung. Gleichzeitig soll die Wärmemengenmessung in den Wohnungen genauer werden, indem Ultraschall-Wärmemengenzähler installiert werden, die speziell für geringe Volumenströme geeignet sind. Des weiteren soll durch Vergleichsmessungen mit Heizkostenverteilern an den Heizkörpern (sowohl elektronisch als auch nach dem Verdunstungsprinzip) untersucht werden, inwiefern mit diesen wesentlich kostengünstigeren Geräten eine Wärmemengenabrechnung in Niedrigenergiehäusern möglich ist. Das Forschungsprojekt wird von den Industriepartnern MINOL Messtechnik (Wärmemengenmessgeräte) sowie WILO (Pumpen) unterstützt.

"Digitale" Beladung von Heizkörpern

An einem Heizkreisteststand am Fraunhofer ISE wurde das Heizkörperverhalten bei unzeitigem Volumenstrom mit Variation der Belade- und Auskühlzeiten untersucht [Gschwander 2001]. Dabei wurden die Heizleistung, Vor- und Rücklauftemperaturen sowie die elektrische Leistung für Pumpe und Ventile ermittelt und mit den Daten des konventionellen, kontinuierlichen Betriebes verglichen. Der Vergleich zeigt, dass sich die Rücklauftemperaturen bei gleichen Heizleistungen kaum unterscheiden, während die zeitlich gemittelte Pumpenleistung – insbesondere bei kleinen Heizleistungen – bei "digitalem" Betrieb¹ deutlich geringer ist (Abbildung 1). Die Vorlauftemperatur sowie der Beladevolumenstrom waren während der Experimente konstant.

Das Verhältnis des während einer Beladung einströmenden Heizwasservolumens zum Gesamtvolumen des Heizkörpers wird als "Befüllungsgrad" bezeichnet. Die Heizleistung wird somit bei "digitalem" Betrieb durch den Befüllungsgrad und die Auskühlzeit t_{off} bestimmt. Aus dem Befüllungsgrad ergibt sich mit dem mittleren Beladevolumenstrom die Beladezeit t_{on} .

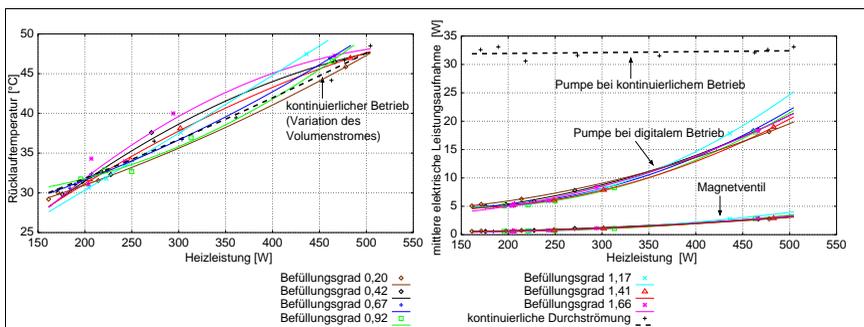


Abbildung 1: Rücklauftemperaturen und elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe und des Magnetventils als Funktion der Heizleistung – Vergleich zwischen kontinuierlichem und getaktetem Betrieb bei Variation des Befüllungsgrades

¹ Die elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe wurde an einem Heizkreis mit nur einem Heizkörper ermittelt; die Anlagenkennlinie war dementsprechend steil.

Da die Pumpleistung bei gegebener Anlagenkennlinie mit dem Volumenstrom überproportional ansteigt, ist hier eine weitere Energieeinsparung durch Verringerung des Beladevolumenstromes (d. h. Erhöhung von t_{on}) zu erwarten.

Hydrauliksimulationen in CoISim

Um hydraulische Berechnungen des komplexen Heizungsnetzes durchführen zu können, wurde die Simulationsumgebung *CoISim* [Wittwer 1999] erweitert (Abbildung 2). So können nun Pumpen- und Ventilkennlinien eingelesen und die Druckverluste und Volumenströme der einzelnen hydraulischen Komponenten ermittelt werden. Mit dem Zusatzprogramm *PumpPlot* können während der Simulation der momentane Pumpenbetriebspunkt auf der entsprechenden Kennlinie sowie die Wahrscheinlichkeitsverteilung aller bisher aufgetretenen Betriebspunkte dargestellt werden. Außerdem ist der Wirkungsgrad durch den Farbverlauf auf der jeweiligen Kennlinie ablesbar.

Ein weiteres Programm – *NetTopPlot* – ermöglicht eine dimensionslose Visualisierung der Netztopologie und die Darstellung des Druckverlaufs sowie der Volumenstromverteilung.

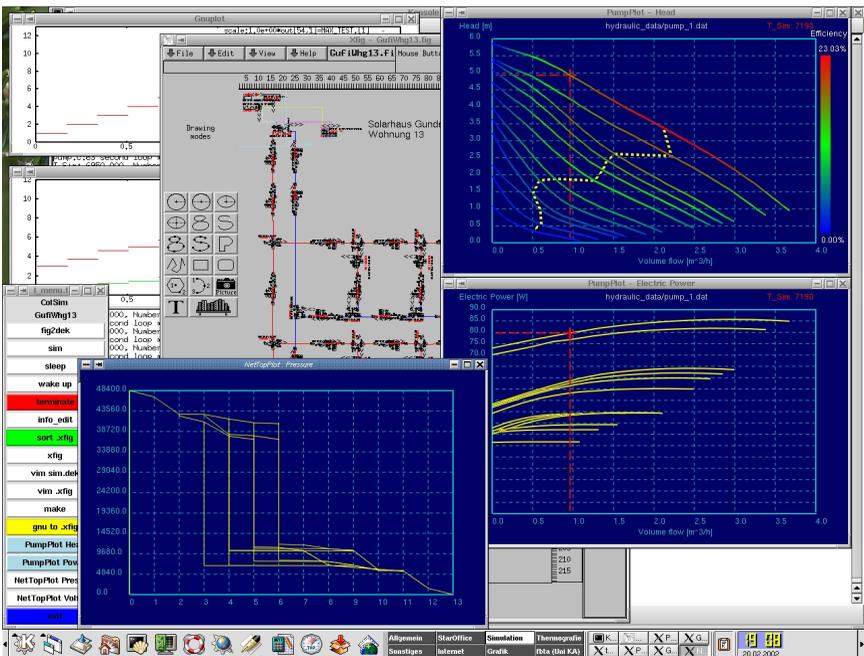


Abbildung 2: Beispiel einer Hydrauliksimulation in CoISim

Mit diesen Hilfsmitteln können auch sehr komplexe hydraulische Systeme analysiert werden; beispielsweise kann der Druckverlust an Teilkomponenten durch "Hineinzoomen" in die "NetTopPlot"-Darstellung sehr gut sichtbar gemacht werden.

Umsetzung im "Solarhaus Gundelfingen"

Im "Solarhaus Gundelfingen" soll durch den Einbau eines M-Bus-Systems eine zentrale Ansteuerung der Zonenventile in den Wohnungen sowie eine Auslesung der Wärmemengenmessgeräte ermöglicht werden. Hierzu wurden die in Abbildung 3 dargestellten Komponenten ausgewählt: ein Ultraschall-Wärmemengenzähler mit M-Bus-Rechenwerk, ein M-Bus-Relais zur Ansteuerung des Zonenventils sowie die am Fraunhofer ISE entwickelte Elektronik.

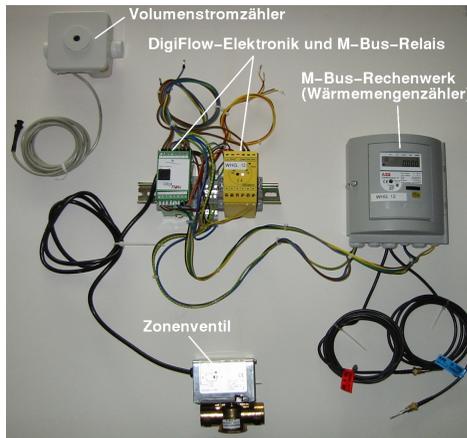


Abbildung 3: Komponenten zum Einbau in die Verteilerkästen der Wohnungen

Bisher wurde das Heizsystem außentemperaturgeführt über die Einstellung der Vorlauftemperatur geregelt. Das Zonenventil wurde über den Wohnungsregler über ein Zeitprogramm bzw. den Sollwert einer Referenztemperatur geschaltet. Beim DigiFlow-Konzept wird dagegen die maximal verfügbare Vorlauftemperatur (ca. 65 °C) genutzt und das Ventil in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur angesteuert.

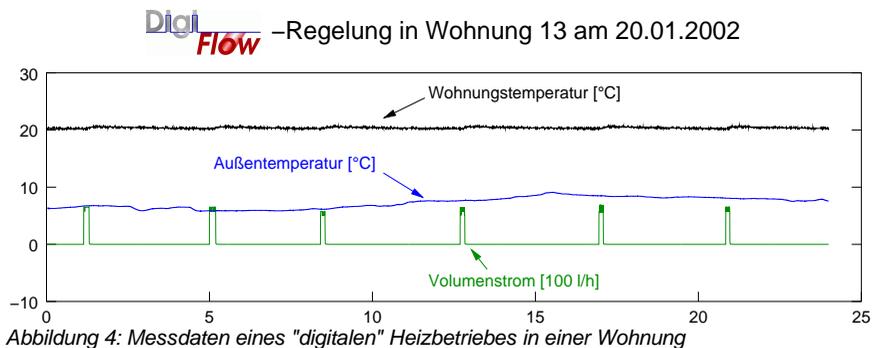


Abbildung 4: Messdaten eines "digitalen" Heizbetriebes in einer Wohnung

Das Zonenventil (motorisch betätigte Klappe) besitzt eine deutlich geringere Trägheit als das bisher verwendete (elektrothermisch), was für die Umsetzung des "DigiFlow"-Konzeptes eine wichtige Rolle spielt. Die Regelung kann den Status des Zonenventils und des Wohnungsreglers via M-Bus abfragen. Auf diese Weise ist ein zentraler Zugriff auf Sensorik und Aktorik mittels M-Bus möglich. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, auf die bisherige Standard-Regelung um- und damit die Zentralregelung auszuschalten. Dies erhöht die Akzeptanz innovativer Regelungsstrategien.

Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Messergebnisse einer "digitalen" Beladung der Heizkörper in einer der Wohnungen. Man erkennt, dass sich trotz des taktenden Betriebes aufgrund der Gebäudeträgheit eine quasi konstante Raumlufttemperatur einstellt.

Auch mit der 24-stufigen Heizkreispumpe WILO-Star STE 25/6 kann über KM-Bus kommuniziert werden, um den Arbeitspunkt genau einzustellen.

Ausblick

Zunächst werden alle Wohnungen sequenziell angesteuert und das Ventil in Abhängigkeit der Rücklaufemperatur gesteuert. Eine optimierte Regelung kann versuchen, zunächst die Anlagenkennlinien aller Wohnungen zu analysieren, um diese dann so zu gruppieren, dass die Kennlinie der parallel geschalteten Wohnungen im Bereich der besten Wirkungsgrade der Pumpe liegt. Die Wahl der Pumpenstufe muss sich an der daraus resultierenden Beladeweit t_{on} orientieren, denn innerhalb der Auskühlzeit t_{off} müssen die übrigen Wohnungen beladen werden können, so dass die Beladung nicht "beliebig langsam" erfolgen kann. Es handelt sich also um ein komplexes Optimierungsproblem, bei dem gleichzeitig für alle Wohnungen die Sicherung der Wärmebereitstellung, die Minimierung der Rücklaufemperatur und die Minimierung der elektrischen Leistungsaufnahme der Pumpe berücksichtigt werden müssen.

Derzeit werden in einer einzelnen Wohnung Versuche zum "digitalen" Durchflusskonzept und zur Bestimmung der Anlagenkennlinie bei unterschiedlichen Einstellungen der Thermostatventile an den Heizkörpern durchgeführt. Hiermit können die *CoSim*-Modelle validiert und neue Regelungsstrategien simuliert werden. Dabei interessiert auch die Frage, welches Einsparpotenzial theoretisch bei einer "idealen" Digitalisierung (d. h. Ansteuerung jedes einzelnen Heizkörpers) besteht, weil in diesem Fall die Thermostatventilunterteile für den hydraulischen Abgleich entfallen können.

Literatur

- [Gschwander 2001] Gschwander, Stefan (2001) *Thermohydraulische Untersuchungen zur Entwicklung von Regelungskonzepten für energieeffiziente Heizsysteme*. Diplomarbeit, Fraunhofer ISE. Nicht veröffentlicht
- [Hube 2000] Hube, Werner (2000) *Entwicklung von neuartigen Regelungskonzepten mit Hilfe der Simulationsumgebung CoSim und deren Validierung im Feldtest*. Tagungsband 10. Symposium Thermische Solarenergie OTTI 2000
- [Wittwer 1999] Wittwer, Christof (1999) *CoSim – Simulation von Regelungssystemen in aktiven solarthermischen Anlagen*. Dissertation, Fakultät für Architektur, Universität Karlsruhe (TH)