

Jahresbericht 2001, 4. Dezember 2001

Projekt

Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen – Phase 2

Autor und Koautoren	H. R. Gabathuler, H. Mayer, E. Shafai, R. Wimmer
beauftragte Institution	ARGE Gabathuler/ETHZ
Adresse	c/o Gabathuler AG, Kirchgasse 23, 8253 Diessenhofen
Telefon, E-mail	052 654 16 50, gabathuler.ag@bluewin.ch
BFE-Nummern	Projekt: 38848; Verfügung: 78644
Dauer des Projekts	vom 01.08.00 bis 30.06.02

ZUSAMMENFASSUNG

Die Referenzanlage Winterthur-Seen wurde bereits in Phase 2a (Heizsaison 2000/2001) saniert und instrumentiert. Sie steht somit in der laufenden Phase 2b (Heizsaison 2001/2002) dem Projekt vollumfänglich zur Erprobung der folgenden vier Regler zur Verfügung:

- Witterungsgeführter Rücklaufftemperaturregler von Satag (Originalregler)
- Modellbasierter Satag-Regler
- Energiekennlinienbasierter Siemens-Regler
- Energiekennlinienbasierter Satag-Regler

In Phase 2b werden die folgenden zusätzlichen Erkenntnisse erwartet:

- Messresultate der vier Regler über eine vollständige Heizsaison
- Einfluss der Trägheit des Wärmeabgabesystems
- Zusätzliche Gewinnung von Datensätzen für den ETHZ-Prüfstand zur Emulation eines fiktiven Sanierungsobjekts (= Phase 3)

Bis Ende 2001 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Neue Einregulierung der Referenzanlage auf einen grösseren Anteil Heizkörperheizung
- Parameteridentifikation mit dem witterungsgeführten Rücklaufftemperaturregler von Satag (Originalregler)
- Erprobung des modellbasierten Satag-Reglers
- Erstellen einer Schnittstelle Satag-Wärmepumpe/Siemens-Regler

Im Januar 2002 erfolgt die Erprobung des energiekenlinienbasierten Siemens-Reglers und im Februar 2002 die Erprobung des energiekenlinienbasierten Satag-Reglers.

Projektziele

Die Referenzanlage Winterthur-Seen wurde bereits in Phase 2a (Heizsaison 2000/2001) entsprechend den Wünschen der Projektbeteiligten saniert und mit einer vollständig anlageunabhängigen Instrumentierung zur Messung und Auswertung der Betriebsdaten ausgerüstet (vgl. [1]). Die Referenzanlage steht somit in der laufenden Phase 2b (Heizsaison 2001/2002) vollumfänglich dem Projekt zur Erprobung der folgenden vier Regler zur Verfügung:

- Witterungsgeführter Rücklaufftemperaturregler von Satag (Originalregler)
- Modellbasierter Satag-Regler
- Energiekennlinienbasierter Siemens-Regler
- Energiekennlinienbasierter Satag-Regler

In Phase 2b werden die folgenden zusätzlichen Erkenntnisse erwartet:

- Messresultate der vier Regler über eine vollständige Heizsaison mit der vollen Variabilität der Witterung eines «normal» kalten Winters (der Winter 2000/2001 war gegenüber dem langjährigen Mittel viel zu warm)
- Einfluss der Trägheit des Wärmeabgabesystems bei konstanter Gebäudeträgheit (die Referenzanlage verfügt über eine flinke Heizkörperheizung und eine träge Fussbodenheizung, deren Leistungsanteile verändert werden können)
- Zusätzliche Gewinnung von Datensätzen für den ETHZ-Prüfstand zur Emulation eines fiktiven Sanierungsobjekts (= Phase 3), insbesondere auch für ein flinkeres Wärmeabgabesystem

Bis Ende 2001 sollten folgende Arbeiten durchgeführt werden:

- Neue Einregulierung der Referenzanlage auf einen grösseren Anteil Heizkörperheizung
- Parameteridentifikation mit dem witterungsgeführten Rücklaufftemperaturregler von Satag (Originalregler)
- Erprobung des modellbasierten Satag-Reglers
- Erstellen einer Schnittstelle Satag-Wärmepumpe/Siemens-Regler

Im Januar 2002 erfolgt die Erprobung des energiekenlinienbasierten Siemens-Reglers und im Februar 2002 die Erprobung des energiekenlinienbasierten Satag-Reglers.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

NEUE EINREGULIERUNG DER REFERENZANLAGE

Die Referenzanlage wurde seinerzeit auf 50% Leistungsabgabe über die Fussbodenheizung und 50% Leistungsabgabe über die Heizkörperheizung ausgelegt. Dazu hätte die Fussbodenheizung mit höheren Vorlauf-/Rücklaufftemperaturen (Auslegung: 45/35°C) und die Heizkörperheizung mit niedrigeren Vorlauf-/Rücklaufftemperaturen (Auslegung: 38/28°C) betrieben werden müssen. Diese Betriebsart wurde nie benutzt.

Die Anlage wurde seit 1986 mit der gleichen Vorlaufftemperatur für Fussboden- und Heizkörperheizung betrieben (Variante 1 in Tabelle 1). Damit ergab sich eine Leistungsaufteilung von etwa 33% für die Heizkörperheizung und 67% für die Fussbodenheizung. In Phase 2a (Heizsaison 2000/2001) wurde die Anlage mit dieser Einstellung gefahren.

Während Phase 2b sollte nun die Leistungsaufteilung zugunsten der Heizkörperheizung geändert werden. Dazu wurden die Messwerte aus Phase 2a auf andere Betriebsarten hochgerechnet. (Pos. 2 und 3 in Tabelle 1). Eine Diskussion ergab folgendes Ergebnis:

Variante 2 mit 100 % Heizkörperheizung: Ein Raum hat nur Heizkörperheizung und einige Nebenräume haben nur Fussbodenheizung. Dadurch hätten sich Komfortprobleme ergeben, die den Bewohnern nicht zuzumuten gewesen wären. Ausserdem wäre die Vorlaufftemperatur mit

51°C bei -10°C Aussentemperatur knapp über der Einsatzgrenze der Wärmepumpe (45°C bis -15°C bzw. 55°C bis -5°C) gelegen. Diese Variante wurde deshalb verworfen.

Variante 3 mit 67% Heizkörperheizung und 33% Fussbodenheizung: Diese Variante bringt, gegenüber bisher, immerhin eine Verdoppelung des Anteils der Heizkörperheizung bei einer Halbierung des Anteils der Fussbodenheizung. Diese Variante erwies sich als machbar. Allerdings musste dazu die Fussbodenheizung stark heruntergemischt werden, was mit dem bereits 1986 eingebauten Hand-Mischhahnen nicht ganz einfach war.

Variante	Bezeichnung	Heizkörperheizung			Fussbodenheizung		
		Leistung	Durchfluss	VL/RL-Temp. 24-h-Mittelwert	Leistung	Durchfluss	VL/RL-Temp. 24-h-Mittelwert
1	Messung 2000/2001 33% HKH 67% FBH	2,8 kW	0,9 m³/h	33/30,3°C	5,7 kW	0,9 m³/h	33/27,5°C
2	Verworfen Variante 100% HKH	8,5 kW	0,9 m³/h	51/42,9°C	–	–	–
3	Messung 2001/2002 67% HKH 33% FBH	5,7 kW	1,14 m³/h	42/37,7°C	2,8 kW	0,16 m³/h 1,3 m³/h	42/26,9°C 28,7/26,9°C

Tabelle 1: Varianten unterschiedlicher Betriebsarten; alle Angaben beziehen sich auf einen Auslegepunkt von -10°C Aussentemperatur

Die Referenzanlage wurde anfangs Oktober 2001 neu abgeglichen und mit dem witterungsgeführten Rücklauftemperaturregler von Satag (Originalregler) seit dem 11. Oktober 2001 mit folgenden Einstellungen betrieben:

- Parallelverschiebung Heizkurve bei 0°C Aussentemperatur 35°C (bisher 28°C)
- Heizkurven-Steilheit bei $\geq 0^\circ\text{C}$ Aussentemperatur -0,8 (bisher -0,45)
- Heizkurven-Steilheit bei $< 0^\circ\text{C}$ Aussentemperatur -0,4 (bisher -0,225)
- Hysterese $\pm 4\text{ K}$ (bisher $\pm 2\text{ K}$)

PARAMETERIDENTIFIKATION MIT ORIGINALREGLER VON SATAG

Zum Betrieb des modellbasierten PBM-Reglers von Satag musste als erstes die Parameteridentifikation mit dem neu eingestellten Wärmeabgabesystem durchgeführt werden. Seit dem 11. Oktober standen zwar die Messdaten der neuen Betriebsart zur Verfügung, aber diese Messdaten lagen bis Ende Oktober knapp an der Heizgrenze. Deshalb konnte die Parameteridentifikation und die Neuprogrammierung des modellbasierten Satag-Reglers erst im November durchgeführt werden.

Bei den neu ermittelten Parametern ist eine eindeutige Änderung der Wärmeabgabeparameter zu erkennen. Die Simulation zeigt jedoch beim Einschalten der Wärmepumpe die einzelnen Temperaturspitzen in der Raumtemperatur nicht auf.

ERPROBUNG DES MODELLBASIERTEN PBM-REGLERS VON SATAG

Der Regler wurde mit den neuen Parametern aufgesetzt. Gleichzeitig erfolgte eine Reduktion der Periodendauer von drei auf zwei Stunden, da dies einen ökonomischeren Betrieb der Wärmepumpe gewährleistet. Der im letzten Frühling festgestellte Fehler bei der Ausgabe von Kontrollwerten auf den Reglermonitor wurde behoben.

Abklärungen ergaben, dass eine Online-Änderung verschiedener Parameter direkt am Regler nach einigen Programmanpassungen und -erweiterungen möglich ist. Dies betrifft die Eingabe der Modellparameter, der Periodendauer, der Sperr- und Niedertarifzeiten sowie der Wahl, ob der Regler die Betriebskosten oder den Energieverbrauch optimieren soll. Weiter könnten die Daten der eingesetzten Wärmepumpe aus der von Satag implementierten, reglerinternen Datenbank übernommen werden. Die Erprobung des modellbasierten PBM-Reglers von Satag läuft den ganzen Dezember 2001.

ERPROBUNG DES ENERGIEKENNNLINIENBASierten PBM-REGLERS VON SIEMENS

Der energiekennnlinienbasierte PBM-Regler von Siemens erlaubt eine neuartige Eingabe über die Laufzeit. Er unterscheidet sich hauptsächlich dadurch vom energiekennnlinienbasierten Regler von Satag.

Zur Erprobung des Siemens-Reglers wird die Referenzanlage noch im Dezember 2001 mit einer Schnittstelle «Satag-Wärmepumpe – Siemens-Regler» ausgerüstet. Die Abtauststeuerung ist im Siemens-Regler noch nicht realisiert, diese erfolgt deshalb weiterhin über den Originalregler von Satag.

Die Erprobung des energiekennnlinienbasierten PBM-Reglers von Siemens erfolgt im Januar 2002.

ERPROBUNG DES ENERGIEKENNNLINIENBASierten PBM-REGLERS VON SATAG

Die Erprobung des energiekennnlinienbasierten PBM-Reglers von Satag erfolgt im Februar 2002, sobald die Erprobung des Siemens-Reglers abgeschlossen ist.

Nationale Zusammenarbeit

Es besteht eine enge Zusammenarbeit mit den beiden Industriepartnern Satag Thermotechnik AG und Siemens Building Technologies (Europe) AG.

Zu den nachfolgenden Projekten mit verwandter Zielsetzung wird die Kommunikation sichergestellt:

- D. Zogg und E. Shafai: Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen. Bern, Bundesamt für Energie. (Laufendes Projekt, vgl. [2])
- Th. Afjei et al.: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen bis 25 kW. Bern, Bundesamt für Energie. (Laufendes Projekt, vgl. [3])
- M. Erb et al.: Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen (FAWA). Bern, Bundesamt für Energie. (Laufendes Projekt)

Internationale Zusammenarbeit

ERWEITERTES LEHRKOLLOQUIUM AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT DRESDEN

Am 2. Februar 2001 fand das 36. erweiterte Lehrkolloquium an der Technischen Universität Dresden statt. Die Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Habil. Zschernig arbeitet ebenfalls auf dem Gebiet der Wärmepumpen. Das aktuelle Forschungsprojekt beschäftigte sich mit der Entwicklung von neuen, bedarfsgerechten Schaltungen. Der Abschluss dieses Projekts wurde zum Anlass genommen, um die Ergebnisse im Rahmen des erwähnten Kolloquiums der Fachwelt vorzustellen. Der Teilnehmerkreis setzte sich aus Vertretern von Forschung und Entwicklung, Herstellern, Planern und Installateuren zusammen. E. Shafai wurde eingeladen, um über das Prinzip der PBM, ihre Anwendung und erste Erfahrungen zu sprechen. Der Titel seines Vortrages lautete: «Die Revolution bei der Wärmepumpenregelung – Pulsbreitenmodulation – Prinzip und praktische Erfahrungen».

Aus Kostengründen wurde keinen Tagungsband zum Kolloquium produziert.

IASTED – INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL AND APPLICATIONS

Vom 28. bis 30. Juni 2001 fand in Banff, Kanada, die «IASTED – International Conference on Control and Applications» statt. R. Wimmer präsentierte dort das von E. Shafai, H. P. Geering und ihm eingereichte Paper mit dem Titel «Model Predictive Control for Heat Pump Heating Systems» [5]. Dieses Paper beschreibt den im März 2001 implementierten modellbasierten Regler und die Messresultate.

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Aus den Erprobungen des modellbasierten PBM-Reglers von Satag in diesem Jahr und den energiekenlinienbasierten PBM-Reglern von Siemens und Satag im nächsten Jahr werden wesentliche Erkenntnisse über die Praxistauglichkeit der neuen Regelstrategien erwartet. Der Schlussbericht wird Ende Juni 2002 vorliegen.

Im Rahmen des Projekts «Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen, Phase 5» [2] ist ein Wärmepumpenprüfstand für dynamische Untersuchungen an Sole/Wasser-Wärmepumpen im Labor des Instituts für Mess- und Regeltechnik der ETHZ aufgebaut. Der Prüfstand ist bereits im erwähnten Projekt für die Entwicklung von Algorithmen für Fehlerdiagnose an Wärmepumpen eingesetzt worden. Für den Vergleich der energiekenlinienbasierten und modellbasierten PBM-Regler in der geplanten Phase 3 unseres Projekts ist ein Konzept für die Regelung des Prüfstands als Basis für die Emulation von Quelle (Erdsonde) und Senke (Gebäude) mit Hilfe von Simulationen ausgearbeitet worden. Die Erprobung des Regelkonzepts und die Realisierung der Emulation werden ab 2002 im Rahmen einer Dissertation in Angriff genommen. Der Doktorand wird dann auch die Phase 3 bearbeiten.

Die beiden Industriepartner sind nach wie vor an einer späteren Umsetzung der neuen Regelstrategien in ihren Produkten sehr interessiert.

Referenzen

- [1] H. R. Gabathuler, H. Mayer, E. Shafai, R. Wimmer: Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen. Zwischenbericht Phase 2a. Bern, Bundesamt für Energie, Juni 2001.
- [2] D. Zogg und E. Shafai: Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen (A Short-Term Rating Method for Heat Pump Heating Systems). Phase 5: Test der Fehlerdiagnosesysteme an Prüfständen und mit Simulationen. Schlussbericht. Bern, Bundesamt für Energie, Oktober 2001.
- [3] Th. Afjei et al.: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen bis 25 kW (STASCH). Zwischenbericht. Bern, Bundesamt für Energie, Juli 2001.
- [4] R. Wimmer, E. Shafai, H. P. Geering: Model Predictive Control for Heat Pump Heating Systems. In: Proceedings of the IASTED International Conference on Control and Applications, Banff, Alberta, Canada, Juni 2001.