

PelletSolar - Leistungsanalyse und Optimierung eines Pellet-Solarkombinierten Systems für Heizung und Warmwasser

Lars Konersmann, Michel Haller*, Elimar Frank
SPF Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik Rapperswil HSR
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil, Schweiz
+41 (55) 222 4823, fax +41 (55) 222 4844
lars.konersmann@solarenergy.ch
www.solarenergy.ch

* Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz
Inffeldgasse 25B, A-8010 Graz, Österreich

Einleitung

Sowohl Pelletheizungen als auch solarthermische Systeme haben über die letzten Jahre stark an Bedeutung gewonnen. Die Kombination dieser beiden Technologien in einem Pellet-Solar-System für die Raumheizung und Warmwasseraufbereitung bietet grosses Potential für die Einsparung von fossilen Energieträgern, die verbesserte Ausnutzung der Biomasse und die Reduktion von Emissionen. In der Schweiz können längerfristig ca. 10 - 12% des Wärmeenergieverbrauchs mit einheimischer Holzenergie gedeckt werden [1]. Durch Effizienzverbesserungen sowie durch die Kombination mit einer Solaranlage kann der Holzverbrauch einer Anlage erheblich reduziert, und das Potential auf rund 17% gesteigert werden. Aufgrund des sich verbessernden Gebäudestandards dürfte sich das Potential bis ins Jahr 2035 auf 25% erhöhen [2].

In diesem Beitrag wird die energetische Optimierung von Pellet-Solar-Systemen beschrieben. Die detaillierten Ergebnisse des entsprechenden Forschungsprojektes sind im offiziellen Abschlussbericht dokumentiert [3]

Durchführung

Der Ablauf und die gewählte Methodik zur Durchführung der hier vorgestellten Untersuchungen wird in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Zunächst wurden im Laboraufbau die Wirkungsgrade eines 10 kW Pelletkessels bei Volllast, Teillast und im Taktbetrieb bestimmt (1. Schritt). In einem zweiten Schritt wurde der Kessel mit einer Solaranlage kombiniert (Pellet-Solar-System). Dabei wurden drei 12-tägige Systemtests unter realistischen Lastbedingungen bei unterschiedlichen Systemkonfigurationen nach dem CCT-Verfahren [4][5][6][7] durchgeführt. Für diesen Test werden im Teststand Puffer-/Trinkwasserspeicher und Pelletkessel sowie die Regelung „real“ installiert.

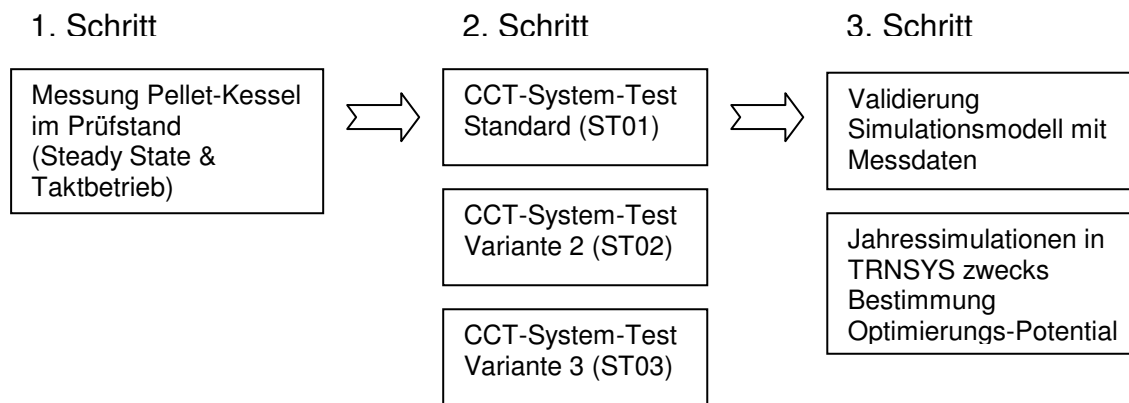


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Methodik und des Ablaufs der durchgeführten Arbeiten.

Im CCT-Verfahren wird dann das installierte System unter Randbedingungen von Klima und Last, die während eines Jahres auftreten, getestet. Dabei werden Solarteil, das Gebäude und der Warmwasserverbrauch in TRNSYS [8] in Interaktion mit dem realen Systemteil emuliert. Diese emulierte Peripherie reagiert realitätsnah in Reaktion auf das Verhalten bzw. den Energieeintrag der installierten und real geprüften Anlagenteile (Speicher, Zusatzwärmeerzeuger, Regelungen). In Abbildung 2 ist der Systemtestaufbau schematisch dargestellt.

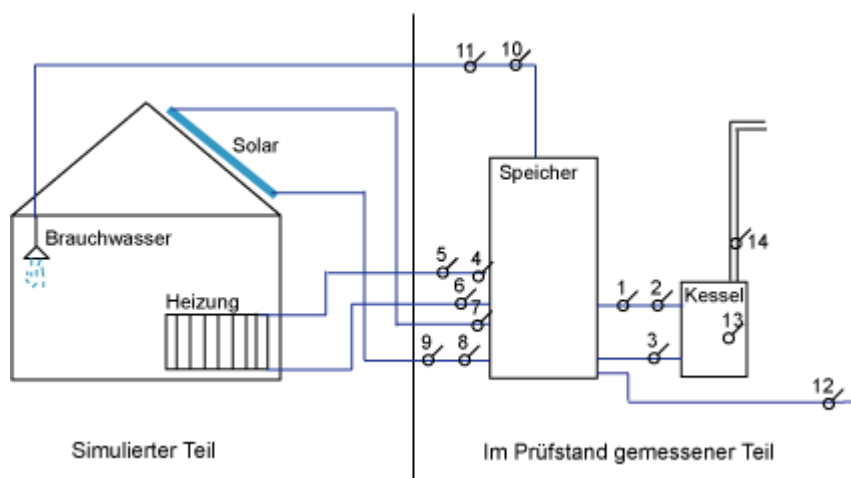


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Prüfumfangs mit Messstellen. Das Haus mit Heizverteilung (Fussbodenheizung) und die Kollektoren sind simuliert bzw. emuliert. Kessel und Speicher, sowie alle Regel- und Steuergeräte sind installiert und werden geprüft.

Basierend auf den Messresultaten (Kesselmessungen und CCT-Tests) erfolgte in einem dritten Schritt die Erstellung eines Simulationsmodells. Analog zum realen Messaufbau des 12-Tages-Systemtests sind im Simulationsmodell Kessel, Solaranlage und Speicher enthalten. Das Modell wurde anhand der Messdaten validiert und diente dazu, Jahressimulationen mit realistischen Last-Bedingungen für Raumheizung und Warmwasser durchzuführen und durch die Veränderung von Parametern deren Einfluss auf die Leistung des Systems zu evaluieren (wie beispielsweise die hydraulische Einbindung oder Regelungseinstellungen).

Für die Simulation des Kessels wurde in Zusammenarbeit mit der TU Graz ein neues Kesselmodell entwickelt [9]. Im Unterschied zu bestehenden Kesselmodellen wird darin der

Elektrizitätsverbrauch des Kessels oder auch die Abhängigkeit der Kesseffizienz von der Modulationsstufe berücksichtigt. Diese Abhängigkeiten haben teilweise starken Einfluss auf die saisonale Effizienz des Gesamtsystems. Auf diese Weise kann die Interaktion des Brenners mit dem solarthermischen System zuverlässig evaluiert werden.

Ergebnisse

Kesselmessungen (erster Schritt)

Die Messungen am 10 kW Pellet-Kessel und die darauf basierenden Simulationen haben gezeigt, dass der Einfluss von Abstrahl- und Konvektionsverlusten auf den Kesselwirkungsgrad bedeutend ist. Dieser Einfluss steigt mit abnehmender Last. Im realen Einsatz in einem Einfamilienhaus im Schweizer Mittelland können die Abstrahl- und Konvektionsverluste die feuerungstechnischen Verluste deutlich übertreffen. Dies insbesondere dann, wenn die durchschnittlich geforderte Leistung wesentlich tiefer ist als die Nennleistung des Kessels. Der stationäre Betrieb des Kessels schneidet bei gleicher mittlerer Last gegenüber dem taktenden Betrieb vor allem aufgrund des verminderten Bedarfs an elektrischer Hilfsenergie energetisch besser ab [3]. Die Messergebnisse am Pelletkessel für den stationären Betrieb werden in Abbildung 3 dargestellt.

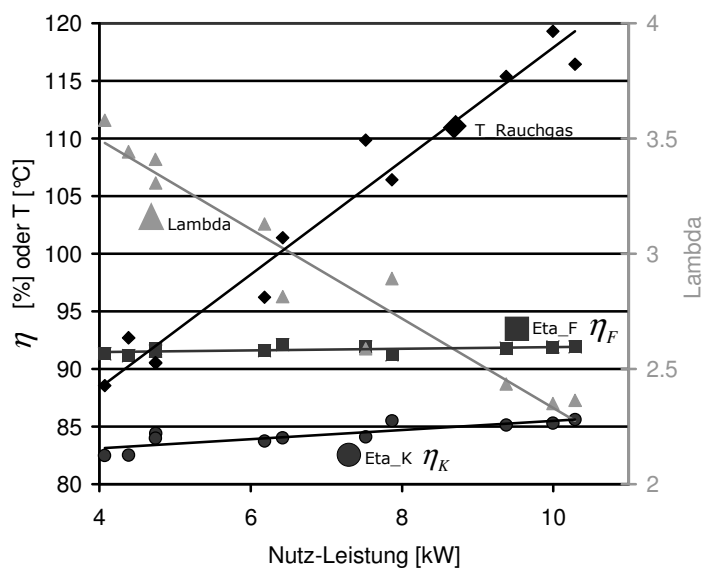


Abbildung 3: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad (η_F), Kesselwirkungsgrad (η_K), Rauchgastemperatur (T_{Rauchgas}) und Luftüberschuss (Λ) bei verschiedenen Modulationsstufen des Kessels im stationären Zustand.

CCT-System-Messungen (2. Schritt)

Insgesamt wurden drei 12-Tages-Systemtests durchgeführt. Ausgewählte Ergebnisse werden in Tabelle 1 zusammengefasst wiedergegeben. Der Ausgangstest (ST01) konnte die Funktion und die gute Leistung des Pellet-Solar-Systems belegen. In einem zweiten CCT-Test (ST02) wurde eine hydraulisch-regeltechnischen Optimierung eingebaut. Diese bestand darin, dass neu der Durchfluss im Kessel-Speicher-Kreis über die Last im Gebäudekreis geregelt wurde, um die gesamte Modulationsbreite des Kessels besser ausnutzen zu können. Dadurch wurden die Start-Stop-Zyklen des Kessels um ein Drittel reduziert. Eine

deutliche Verminderung des Pelletverbrauchs stellte sich dadurch jedoch nicht ein. Dennoch wird die Massnahme vom projektbeteiligten Kesselhersteller beim Bau der nächsten Kesselserie implementiert werden. Man geht davon aus, damit die Betriebsweise des Pelletkessels emissionsärmer gestalten zu können.

Im dritten CCT-System-Test (ST03) wurde der Pelletkessel direkt auf den Heizkreis des Gebäudes gefahren. Der Pufferspeicher wurde hierbei nur durch die Solaranlage beladen. Diese Abänderung der hydraulischen Einbindung vermochte die Anzahl Start-Stop-Zyklen wie zuvor im ST02 deutlich zu reduzieren (von 36 zu 28, vgl. Tabelle 1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der direkten Beladung des Heizkreises die Kesselregelung eine direktere Rückmeldung aus dem Gebäudekreis erhält und dadurch die Modulationsstufe besser an die Last anpassen kann. Hauptsächlich aufgrund der reduzierten Zwischenspeicherverluste konnte bei dieser Versuchsanordnung zudem der Systemnutzungsgrad sogar leicht verbessert werden. Vor dem Hintergrund der aktuell geführten Diskussion, ob Pelletsysteme (ohne Solaranlage) ausschliesslich mit einem Pufferspeicher betrieben werden sollten, lassen die Resultate vermuten, dass die Variante „mit Pufferspeicher“ nicht in jedem Fall zu bevorzugen ist. Die Verwendung eines Pufferspeichers scheint vor allem dann sinnvoll, wenn die Last des Gebäudes über das Jahr verteilt häufig kleiner als die minimale Leistungsstufe des Brenners ist. In diesem Falle kann der Pufferspeicher dazu dienen, Laufzeiten zu verlängern, Taktzyklen zu reduzieren und damit gleichzeitig einen effizienteren und emissionsärmeren Betrieb zu gewährleisten. Die Implementierung einer optimierten Brennerregelung (z.B. mit einer Wärmezählung im Gebäudekreis) könnte zudem dazu beitragen, die Modulationsregelung zu verbessern und somit Taktraten und Speicherverluste auch mit Pufferspeicher tief zu halten.

Tabelle 1: Darstellung der Ergebnisse aus den drei unterschiedlichen CCT-System-Tests. Die Definition der 4 darin ausgewiesenen Wirkungsgrade ist nachstehend aufgeführt (Formeln 5-8).

	ST01 - Base Case	ST02 – Durchflussregelung	ST03 - Kessel direkter Heizkreis
Anzahl Starts	36	24	28
Systemnutzungsgrad $\eta_{S,pe+so+el}$	65.8%	66.1%	67.4%
Systemnutzungsgrad $\eta_{S,pe+so}$	75.1%	74.8%	76.6%
Systemnutzungsgrad $\eta_{S,pe+el}$	85.8%	85.1%	87.3%
Systemnutzungsgrad $\eta_{S,pe}$	102.1%	100.0%	103.5%
Speicher Durchschnittstemperatur [°C]	47.9	50.1	45.2

Formel 1:
$$\eta_{S,pe} = \frac{Q_{Heiz} + Q_{WW}}{Q_{Pellet}}$$

Formel 2:
$$\eta_{S,pe+so} = \frac{Q_{Heiz} + Q_{WW}}{Q_{Pellet} + Q_{Solar}}$$

Formel 3:
$$\eta_{S,pe+el} = \frac{Q_{Heiz} + Q_{WW}}{Q_{Pellet} + F_{el} \cdot E_{el}}$$

Formel 4:
$$\eta_{S,pe+so+el} = \frac{Q_{Heiz} + Q_{WW}}{Q_{Pellet} + Q_{Solar} + F_{el} \cdot E_{el}}$$

F_{el} : Faktor für die Gewichtung von Elektrizität. $F_{el} = 3$ in dieser Studie [3]

Simulation (3. Schritt)

Die Jahresertragsrechnung mit dem Simulationsmodell ergab für das geprüfte Pellet-Solar-System eine Brennstoff-Einsparung von 27% gegenüber einer Pellet-Heizung ohne Solaranlage und ohne Pufferspeicher. Weitere Simulationsrechnungen zeigten, dass eine optimierte Pellet-Solar-Anlage (15 m² Kollektorfeld, 900 Liter Speicher) unter den angenommenen Rahmenbedingungen nicht nur den Pelletverbrauch um rund ein Drittel senkt, sondern auch einen deutlich positiven Effekt auf den Bedarf an elektrischer Energie (-17%), auf die Start-Stop-Zyklen des Kessels (-52%) und auf den Kesselnutzungsgrad (+5% absolut) hat. Diese Werte wurden erreicht, indem ausgehend vom Simulationsmodell Hydraulik und Regeltechnik für die geprüfte Anlage optimiert und die Wärmedämmung von Leitungen, Kessel und Speicher verbessert wurden. Beim untersuchten System lag der jährliche Raumwärmebedarf bei 15'500 kWh/a (bzw. 103 kWh/a*m²EBF) und Energiebedarf für Trinkwarmwasser bei 2800 kWh/a (vgl. hierzu auch [7]). In Abbildung 4 werden Simulationsergebnisse für drei ausgewählte Varianten dargestellt.

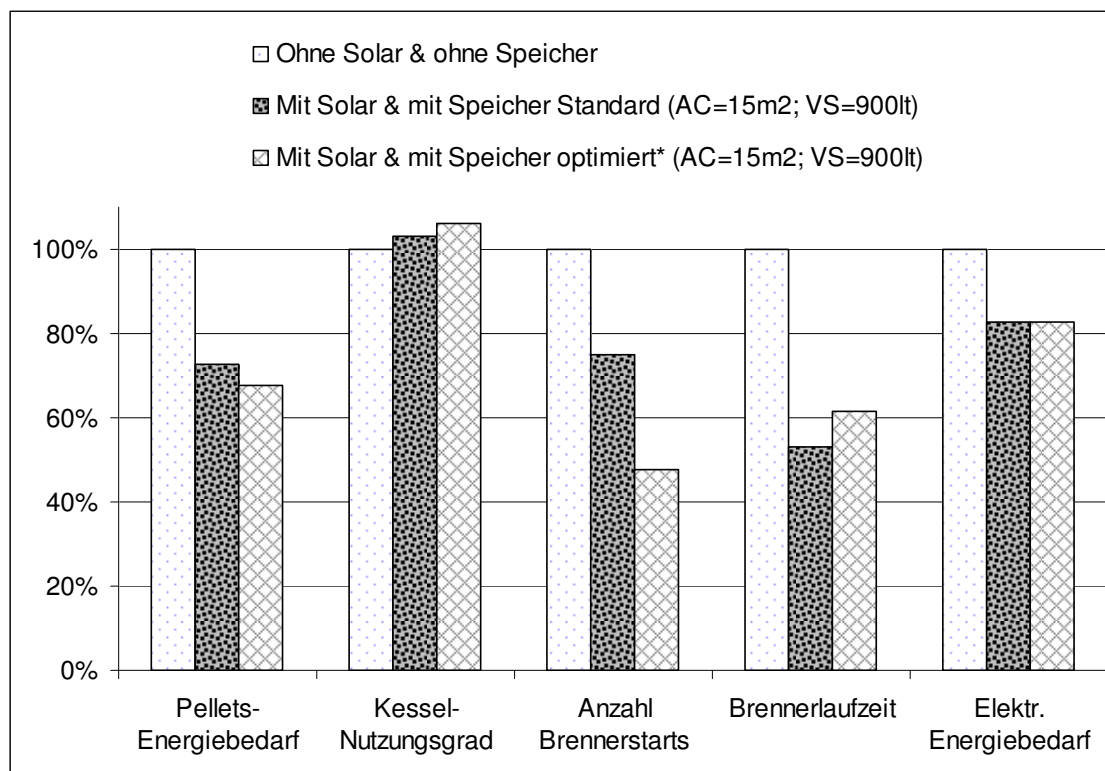


Abbildung 4: Relative Darstellung der Simulationsergebnisse für 3 verschiedene Varianten. Die Optimierung der dritten Variante besteht darin, dass der Kessel mit einer Lambdaeregelung betrieben und Kessel, Speicher und Leitungen besser isoliert werden.

Schlussfolgerungen

Die dargestellten Untersuchungen konnten wichtige neue Erkenntnisse zur Betriebsweise von Pelletheizungssystemen liefern. Daraus wurden Empfehlungen für die Optimierung solcher Systeme entwickelt. Die gewählten Mittel zur Systemuntersuchung haben sich dabei als geeignet erwiesen und verfügen über Potential, darüber hinausreichende wichtige

Fragestellungen wie beispielsweise die Berücksichtigung von betriebsabhängigen Emissionen zu untersuchen. In einem nächsten Schritt muss jedoch zunächst die Übertragbarkeit der hier gesammelten Erkenntnisse auf weitere Pellet-Solar-Systeme überprüft werden. Hierzu werden derzeit neue Untersuchungen auf dem Prüfstand durchgeführt und die Simulations-Studien auf andere Last-Bedingungen (zum Beispiel geringerer Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasser, höheres Temperaturniveau des Heizsystems) ausgedehnt. Mit dem erfolgten Umbau des System-Prüfstands besteht nun erstmalig die Möglichkeit, die effektive Leistungsfähigkeit von auf dem Markt angebotenen Pelletanlagen mit und ohne Solaranlage zu quantifizieren. Bezüglich der Optimierung von Hydraulik und Regeltechnik kann das im Rahmen dieses Projektes entwickelte Simulationssystem dazu dienen, weiteres Verbesserungspotential aufzuzeigen. Zudem stellt sich die Frage, in welchem Ausmass und unter welchen Bedingungen eine Solaranlage durch Brennstoffeinsparung und zusätzliche Reduktion der Start-Stop-Zyklen eine Minderung der Schadstoffemissionen von Pellet-Heizungen bewirken kann [10][11].

Danksagung

Das SPF dankt dem Schweizerischen Bundesamt für Energie für die Unterstützung der dargestellten Forschungsaktivitäten.

Literatur

- [1] Ch. Rutschmann, Holzenergie Schweiz – Jahresbericht 2005, http://www.holzenergie.ch/fileadmin/pdf/2005_Jahresbericht_D.pdf, 2005
- [2] Prognos, P. Hofer, Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990 – 2035 Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer - http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_25219534.pdf, 2007
- [3] L. Konersmann, PelletSolar - Leistungsanalyse und Optimierung eines Pellet-solarkombinierten Systems für Heizung und Warmwasser – Schlussbericht BFE, <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=de>, 2007
- [4] SPF Institut für Solartechnik, Jahresleistungsermittlung von Solarsystemen mit der Concise Cycle Test (CCT) Methode, <http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/KombiPruefmethodecct.pdf>, 2004
- [5] P. Vogelsanger, M. Haller, Beitrag 15. Symposium Thermische Solarenergie (Bad Staffelstein), Kompakte Kombisysteme auf dem Prüfstand unter Einbezug der Zusatzheizung 27. 4. 2005
- [6] SPF Institut für Solartechnik, Das Pilot- und Demonstrationsprojekt Kombi-Kompakt+ , <http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/KombiKompakt.pdf>, 2004
- [7] SPF Institut für Solartechnik, Referenzbedingungen: Klima, Wärmelast, Kollektorfeldausrichtung und Referenzsystem zur Leistungsbestimmung von Heizsystemen für Raumheizung und Wassererwärmung, <http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/Referenzbedingungen.pdf>, 2004
- [8] S.A. Klein et al. TRNSYS 16, a transient system simulation program – reference manual. Solar Energy Laboratory University of Wisconsin – Madison, Madison, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>, USA, 2000
- [9] M. Haller, Type 869 Boiler Model, Version 3.00, 22.11.2006
- [10] F. Fiedler, T. Persson, Carbon monoxide emissions of combined pellet and solar heating systems, 3rd International Green Energy Conference, Västerås, Sweden, 2007
- [11] A. Heinz, Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik; Fortschrittliche Wärmespeicher zur Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad sowie Emissionsverringern durch verringertes Takten, Energiesysteme der Zukunft, 2006, Seiten 71-83