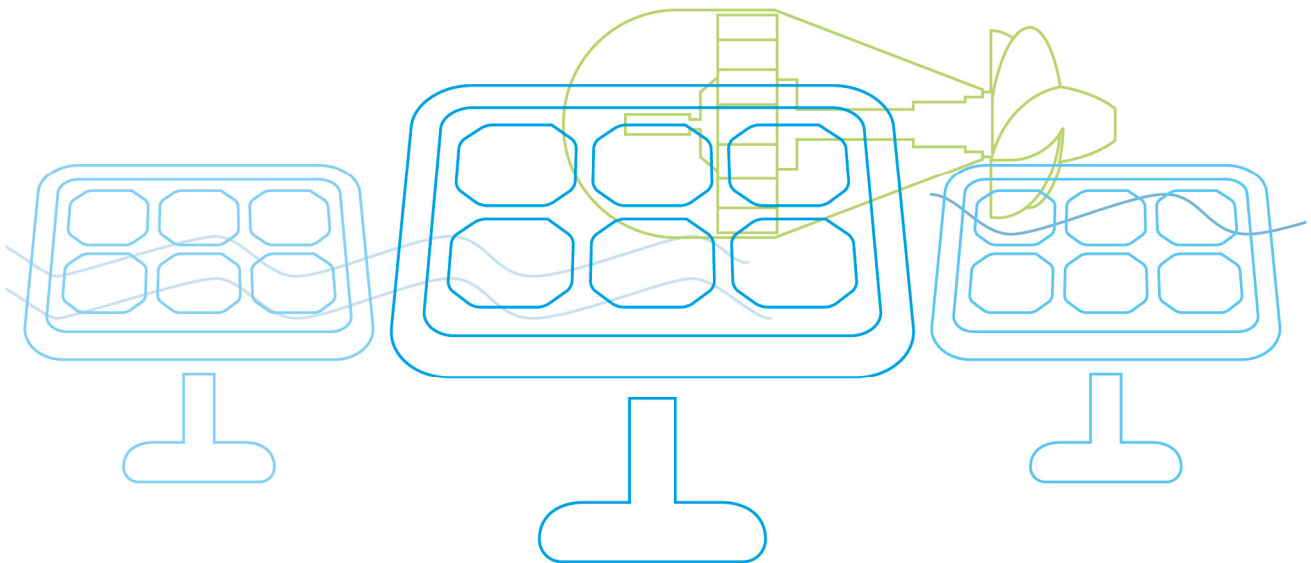




SmartResidentialHeat

Entwicklung von hocheffizienten
Heizungssystemen mit Biomasse-
Kleinfeuerungsanlagen



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „e!Mission.at“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several sweeping, connected strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, written in a cursive style that clearly reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

SmartResidentialHeat

Entwicklung von hocheffizienten Heizungssystemen mit Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen

AutorInnen:

Ingwald Obernberger - BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH (BIOS);
Technische Universität Graz, Institut für Prozess- und Partikeltechnik (IPPT)

Klaus Supancic - BIOS

Christian Ramerstorfer - BIOS

Stefan Friedl - GUNTAMATIC Heiztechnik GmbH (GUNTAMATIC)

Christoph Rosenberger - Österreichischer Biomasseverband (ÖBMV)

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	7
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	15
5	Ausblick und Empfehlungen	34
6	Literaturverzeichnis	38
7	Kontaktdaten	39

2 Einleitung

Moderne Biomassekleinfeuerungsanlagen (BMKF) weisen Wirkungsgrade (Nutzwärmeleistung bezogen auf Brennstoffwärmeinputleistung) im Voll- und Teillastbereich von über 90%, bezogen auf den Heizwert (H_u), auf. Diese Werte werden am Teststand unter stationären Bedingungen (konstante Last) erreicht und sind Teil der technischen Spezifikation jeder am Markt erhältlichen Biomassekleinfeuerung.

Für die Anwendung bei Kunden in der Praxis ist hingegen der Jahresnutzungsgrad der BMKF (jährlich produzierte Wärmeenergie bezogen auf den jährlichen Primärenergieeinsatz) von größerer Relevanz, da dieser Wert die Effizienz der BMKF unter Realbedingungen wiedergibt. Jahresnutzungsgrade werden in den technischen Spezifikationen aber nicht angegeben, da sie von den Lastbedingungen, unter denen die Feuerung betrieben wird, abhängig sind.

Auch in der Literatur sind nur wenige Veröffentlichungen verfügbar, die sich mit dem Jahresnutzungsgrad von BMKF in der Praxis beschäftigen. Anhand von Literaturdaten ([1], [2]) sowie aus von BIOS untersuchten Betriebsdaten verschiedener Heizungssysteme zeigt sich, dass der Jahresnutzungsgrad der untersuchten Anlagen deutlich unter den am Teststand ermittelten Wirkungsgraden liegt. Bei üblichen Wirkungsgraden moderner BMKF von über 90% weisen dieselben Fabrikate in der Praxis nur Jahresnutzungsgrade im Bereich zwischen 70 und 84% auf. Darüber hinaus treten auch bei der Wärmeverteilung (Verteiler, Rohrleitungen) und Wärmespeicherung (Pufferspeicher) erhebliche Verluste auf. Damit ergeben sich Jahresnutzungsgrade für das gesamte Heizungssystem von nur 57 bis 72% bezogen auf den Heizwert (H_u) des eingesetzten Brennstoffs und der Wärmeproduktion der Solaranlage (falls vorhanden). Somit besteht ein erhebliches Potenzial, die Effizienz von BMKF zu verbessern.

Zielsetzung/Schwerpunkte des Projektes

Ziel dieses Projektes war es daher, den Jahresnutzungsgrad (JNG) von BMKF auf über 85% und den JNG des gesamten Heizungssystems (BMKF inkl. Wärmeverteilung und Speicherung) auf über 80% zu steigern.

Da die einzelnen Einflussfaktoren auf den JNG stark von den Rahmenbedingungen (Wärmebedarf, Lastverlauf/Benutzerverhalten, notwendige Vorlauftemperaturen bei den Verbrauchern, Systemkonfigurationen) abhängen und sich auch gegenseitig beeinflussen können, war zur Erreichung dieser Ziele eine Kombination aus theoretischen (TRNSYS-Simulationen, CFD-Simulationen) und praktischen Untersuchungen (umfassende Testläufe mit 2 Versuchsanlagen) notwendig.

Das beantragte Projekt erstreckte sich über 2 Jahre (Projektabschnitt 1 vom 01.04.2013 – 31.03.2014, Projektabschnitt 2 vom 01.04.2014 – 31.03.2015) und umfasste folgende Arbeiten, welche in die jeweils in Klammern angegebenen Arbeitspakete (AP) aufgeteilt wurden:

- I. Vorauswahl der technisch und wirtschaftlich sinnvollsten Optimierungsmaßnahmen zur Steigerung des Jahresnutzungsgrades einer ausgewählten Pelletkesselanlage mittels TRNSYS-Simulationen und einer technischen und wirtschaftlichen Bewertung (AP1, Projektabschnitt 1)
- II. CFD-gestützte Optimierung von Feuerung und Kessel unter Berücksichtigung von instationären Betriebszuständen und anschließende Prüfung des optimierten Gesamtkonzeptes mittels TRNSYS-Simulationen (AP2 und AP3, Projektabschnitt 1)

- III. Detailkonzeption, Bau und Inbetriebnahme von Versuchsanlagen mit der optimierten Anlagentechnik (AP4 und AP5, Projektabschnitt 1 und 2)
- IV. Umfassende Testläufe zur Erstbeurteilung der neuen Technologie samt begleitenden Messungen und Analysen sowie Definition und schrittweise Umsetzung von Änderungs-/ Optimierungsmaßnahmen (AP6, Projektabschnitt 2)
- V. Erarbeitung von Empfehlungen für die JNG-Optimierung von Biomassekleinfeuerungsanlagen und Verbreitung der Ergebnisse (AP7 und AP8, Projektabschnitt 2)
- VI. Deutliche Reduktion des Brennstoffverbrauchs und der umweltrelevanten Emissionen (CO₂, CO, TOC, Gesamtstaub, PM1) sowie der Wärmegestehungskosten durch Erhöhung des JNG von BMKF und damit verbundenen Heizungssystemen (AP-übergreifend, Projektabschnitt 1 und 2)
- VII. Definition eines neuen technologischen Meilensteins (Standard) bzgl. nutzungsgradoptimierter Anlagen- und Systemtechnik für BMKF (AP-übergreifend, Projektabschnitt 1 und 2)

Einordnung in das Förderprogramm

Das Projekt SmartResidentialHeat wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen der 1. Ausschreibung des Programms „Energy Mission Austria“ (e!MISSION.at) innerhalb des Ausschreibungsschwerpunkts 2 „Erneuerbare Energien“ – Subschwerpunkt „Bioenergie“ durchgeführt.

3 Inhaltliche Darstellung

Im Folgenden sind die im Projekt SmartResidentialHeat durchgeführten Tätigkeiten in der Untergliederung der Arbeitspakete laut Förderantrag (AP1 bis AP8) dargestellt.

AP1: Vorauswahl der technisch und wirtschaftlich sinnvollsten Optimierungsmaßnahmen zur Nutzungsgradsteigerung von Pelletkessel und Heizungssystem mittels TRNSYS-Simulationen und deren technische und wirtschaftliche Bewertung

Zu Beginn der Arbeiten zu AP1 wurde das im Rahmen eines Vorprojektes von BIOS in Kooperation mit IPPT/TU Graz entwickelte Basismodell zur Simulation von Kleinfeuerungsanlagen mit Pufferspeicher und Solaranlage in TRNSYS an die Anforderungen des Projektes angepasst. Für die Simulation eines Jahresbetriebs wurden folgende Basisvarianten definiert:

- a) Anlage mit Pelletkessel, externem Pufferspeicher und Solaranlage (Variante A):
Jahreswärmebedarf 15.000 kWh (Kesselleistung 10 kW) bzw. 25.000 kWh (Kesselleistung 15 kW); Niedertemperatursystem (VL 30°C/RL 25°C) oder Hochtemperatursystem (VL 65°C/RL 55°C); Warmwasserbereitung (VL 45°C/RL 17°C, für alle Varianten gleich)
- b) Anlage mit Pelletkessel und externem Pufferspeicher (Variante B):
Jahreswärmebedarf 15.000 und 25.000 kWh (Kesselleistung 10 bzw. 15 kW) jeweils mit Nieder- und Hochtemperatursystem und Warmwasserbereitung
- c) Anlage mit Pelletkessel und separatem Elektro-Boiler (Variante C):
Jahreswärmebedarf 15.000 und 25.000 kWh (Kesselleistung 10 bzw. 15 kW) jeweils mit Nieder- und Hochtemperatursystem und Warmwasserbereitung

Die Parametrierung der Komponenten, insbesondere von BMKF und Pufferspeicher, erfolgte auf Basis der Angaben von GUNTAMATIC. Dabei wurde auch der Taktbetrieb der Feuerung, eine Entwicklung von GUNTAMATIC, berücksichtigt. Der Taktbetrieb dient zur Überbrückung von Schwachlastphasen, bei denen im Normalfall die Feuerung abgestellt werden müsste. Dabei wird die Brennstoffzufuhr basierend auf den Einstellungen für minimale Teillast getaktet, das heißt, dass sich Perioden mit Brennstoffzufuhr und ohne Brennstoffzufuhr abwechseln. Somit kann die Leistung während des Taktbetriebes noch weiter gesenkt werden.

Zur Plausibilitätsprüfung wurde der Kessel in TRNSYS unter Prüfstandbedingungen (laut Prüfbericht für das Vorgängermodell) betrieben. Ein Vergleich zwischen Prüfbericht und Ergebnissen der TRNSYS-Simulationen zeigte nur minimale Abweichungen bzgl. Wirkungsgrads bei Volllast und Teillast, das eingesetzte Kesselmodell zeigt somit plausible Ergebnisse.

Nach Abschluss der Plausibilitätsprüfung wurde für alle Basisvarianten der Betrieb über ein Jahr mittels TRNSYS simuliert.

Im zweiten Teil der Arbeiten wurde mittels Sensitivitätsanalyse der Einfluss einzelner Parameter auf den Jahresnutzungsgrad gezielt ermittelt und bewertet, wodurch es möglich war, die wesentlichen Optimierungspotenziale zu identifizieren und die weiteren Forschungsarbeiten auf diese zu konzentrieren.

Folgende Parameter wurden variiert:

- Kesselbetriebsweise: mit/ohne Taktbetrieb, mit/ohne regelmäßiger automatischer Kesselabschaltung
- Kessel: Rauchgasaustrittstemperatur, O₂-Gehalt im Rauchgas, Reduktion der Stillstandsverluste, Reduktion thermische Kesselmasse
- Regelung: Kesselvorlauftemperatur, Kesselfreigabe und Abschaltung, Solaranlagenfreigabe und Abschaltung
- Dämmung und Dimensionierung: Dämmung der Rohrleitungen, erhöhte Pufferspeicherdämmstärke, Installation einer größeren Solaranlage, Reduktion der Rohrleitungslängen, Installation eines kleineren Kessels (wenn möglich)

Auf Basis der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse wurden schließlich die in Bezug auf technische Machbarkeit und Kosten-/Nutzenverhältnis sinnvollsten Optimierungsmaßnahmen gebündelt und für jede der Basisvarianten (A, B, C) eine optimierte Variante simuliert und bewertet. Diese Arbeiten, die ursprünglich für AP3 vorgesehen waren, wurden vorgezogen, um eine vollständige Basis für die wirtschaftliche Bewertung verfügbar zu haben.

Die optimierten Varianten wurden abschließend einer wirtschaftlichen Bewertung mittels Vollkostenrechnung unterzogen. Dabei wurden die spezifischen Wärmegestehungskosten (jährliche Gesamtkosten bezogen auf den Nutzwärmeverbrauch pro Jahr) für jede Anlage berechnet. Sie setzen sich aus den spezifischen kapitalgebundenen Kosten (Investitionskosten sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten auf Basis Angaben Guntamatic bzw. Erfahrungswerten), den spezifischen verbrauchsgebundenen Kosten (Brennstoff- und Stromkosten laut aktuellen Marktpreisen Herbst 2013), den spezifischen betriebsgebundenen Kosten (Kaminkehrer, Betreuung der Anlage) und den spezifischen sonstigen Kosten (Versicherungen, Abgaben etc.) zusammen.

AP2: CFD-gestützte Optimierung von Feuerung und Kessel für eine ausgewählte Technologie (Baureihe) unter Berücksichtigung von instationären Betriebszuständen

Folgende Arbeiten wurden im Rahmen von AP2 durchgeführt:

Ist-Analyse und Voroptimierung der Feuerung und des Kessels

Aufbauend auf der von GUNTAMATIC entwickelten Basisgeometrie wurden in einem ersten Schritt stationäre CFD-Simulationen zur Voroptimierung von Feuerung und Kessel (Simulation der Rauchgas- und Wasserseite) bzgl. Teillastfähigkeit, rauchgasseitigen Verluste (O₂-Gehalt und Rauchgastemperatur nach Kessel) und Emissionen durchgeführt. Die folgende Abbildung zeigt die Basisgeometrie für die durchgeführten CFD-Simulationen. Es handelt sich dabei um eine Pelletfeuerung mit Kipprost und nachgeschalteter Zyklonbrennkammer. Die Brennkammer wird dabei durch das von oben nach unten strömende Kesselwasser gekühlt.

Im Zuge der Optimierung konnten zahlreiche Verbesserungen beim Betriebsverhalten erzielt werden, die in Kapitel 4 angeführt sind.

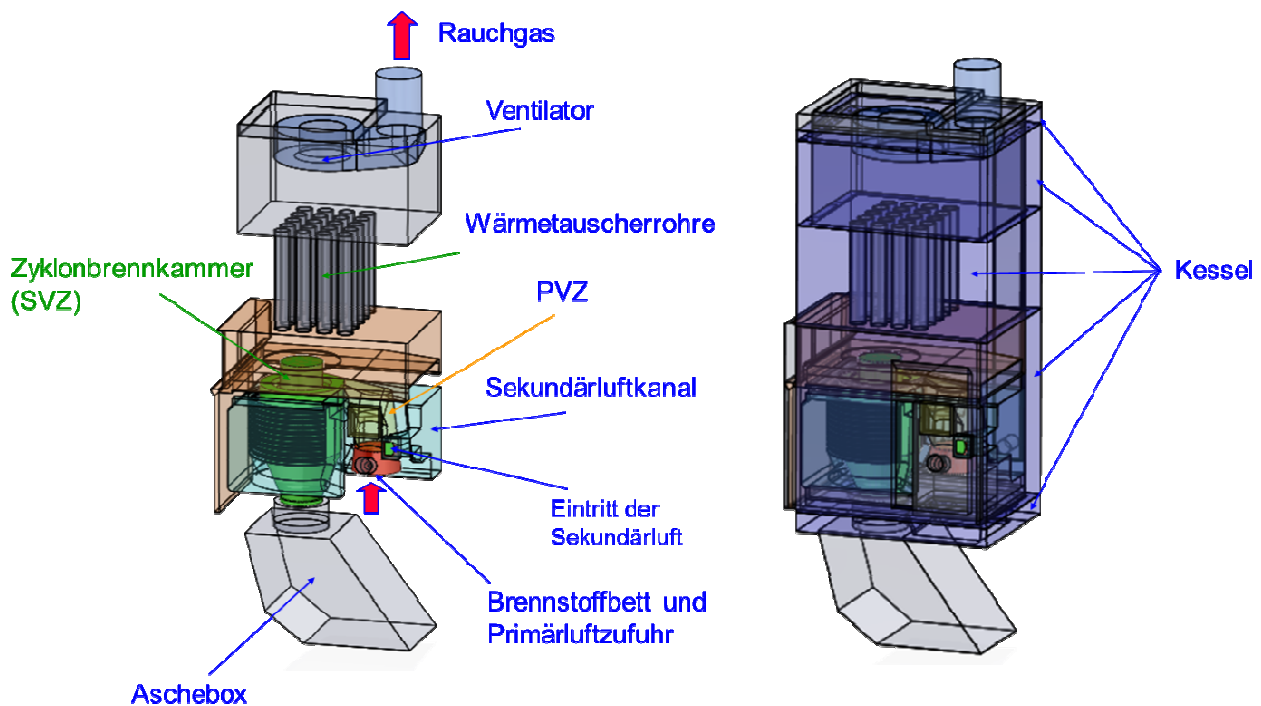


Abbildung 1: Basisgeometrie des Feuerraumes und des Kessels

Erläuterungen: PVZ ... Primärverbrennungszone; SVZ ... Sekundärverbrennungszone

Instationäre Simulationen zur detaillierten Untersuchung des Taktbetriebs und des Abschalt- und Abkühlvorgangs

Als nachfolgender Schritt erfolgten instationäre Simulationen mit dem voroptimierten System, um die Temperaturverläufe und Temperaturgradienten der thermischen Massen während des Taktbetriebs, beim Abfahren und im Stillstand zu berechnen und zu bewerten. Zunächst wurden der Taktbetrieb sowie das Abschalten aus dem Taktbetrieb und die nachfolgende Abkühlung über 24 h simuliert. Dabei wurde auch die 6-minütige Spülphase nach Abschaltung der Brennstoffzufuhr vor der eigentlichen Abkühlphase berücksichtigt. Ein Vergleich zwischen Messwerten aus Testläufen mit einer ähnlichen Baureihe zeigte, dass die Taktung zwischen Perioden mit und ohne Brennstoffzufuhr sehr gut mittels instationärer CFD-Simulationen nachgebildet werden kann. Parallel dazu wurde auch die Abschaltung aus der minimalen modulierbaren Teillast und die nachfolgende Abkühlung über 24 h simuliert. Beide Varianten wurden mit offenen Luftklappen im Stillstand simuliert. Dies entspricht der üblichen Einstellung bei Pelletfeuerungsanlagen. Dabei gehen aber während der Anlagenstillstände beträchtliche Wärmemengen über den natürlichen Kaminzug verloren.

Als Optimierungsmaßnahme wurde daher auch die Abkühlung über 24 h bei geschlossenen Luftklappen für beide Varianten (Abschaltung aus Taktbetrieb und minimaler Teillast) simuliert. Diese Ergebnisse der instationären CFD-Simulationen wurden für eine gezielte Parametrierung des TRNSYS-Kesselmoduls bzgl. Verlusten durch Abkühlen der thermischen Masse (dynamisches Verhalten des betrachteten Biomassekessels) herangezogen.

AP3: Prüfung des optimierten Gesamtkonzeptes für verschiedene Anlagenverschaltungen mittels TRNSYS-Simulation zur Festlegung der umzusetzenden Optimierungsmaßnahmen

Die Ergebnisse aus den instationären CFD-Simulationen wurden in die Parametrierung des Kesselmodells in TRNSYS implementiert. Auf Basis der genauen Kenntnisse über den Taktbetrieb sowie das Abkühlverhalten (Stillstandsverluste durch Kaminzug/Wärmeabgabe an die Umgebung) der neukonzipierten Anlage wurde die Sensitivitätsanalyse um die Varianten mit/ohne Taktbetrieb und mit offenen/geschlossenen Luftklappen während der Stillstandsperioden erweitert, um zusätzlich zu den geplanten Arbeiten zu prüfen, welchen Einfluss der von GUNTAMATIC entwickelte Taktbetrieb sowie das Schließen der Luftklappen nach Abschalten der Anlage auf den Jahresnutzungsgrad haben.

Dabei wurden alle drei möglichen Standardverschaltungen (Pelletkessel im Stand-alone-Betrieb, Kessel mit Pufferspeicher, Kessel mit Pufferspeicher und Solaranlage) sowohl als Basisvarianten als auch als optimierte Varianten im Jahresbetrieb neu durchgerechnet.

AP4: Entwicklung der Regelung und Detailkonzeption der voroptimierten Versuchsanlagen (Biomassekessel und Systemkomponenten)

Im Rahmen von AP4 wurde das mittels CFD- und TRNSYS-Simulationen voroptimierte Konzept des Pelletkessels inklusive aller erforderlichen Anlagenkomponenten konzipiert und im Detail dimensioniert und konstruiert. Die Versuchsanlagen (VA) erreichen eine Kesselnennleistung von 15 kW_{th}.

Da es sich bei den Entwicklungen teilweise um wesentliche Änderungen zu bisherigen Baureihen von GUNTAMATIC handelt, wurde bereits während der Detailkonzeptionsphase eine erste Testanlage gebaut, bei der die neuentwickelten Komponenten vorgetestet und anhand der daraus erhaltenen Ergebnisse noch weiter optimiert wurden. Somit konnte gewährleistet werden, dass nur vorgeprüfte Komponenten in den Versuchsanlagen zum Einsatz kamen, wodurch Beeinträchtigungen des Testbetriebs durch fehlerhaft konzipierte Teile weitgehend ausgeschlossen werden und auch fertigungstechnisch relevante Aspekte frühzeitig berücksichtigt werden konnten.

Parallel erfolgten die Regelungsentwicklung und die Definition des dafür erforderlichen Pflichtenheftes auf Basis der Ergebnisse aus AP1 bis AP3. Die Arbeiten dazu wurden zu Beginn des 2. Projektabschnitts (April/Mai 2014) abgeschlossen.

AP5: Bau und Inbetriebnahme der Versuchsanlagen

Im Rahmen von AP5 wurden zwei Versuchsanlagen (Leistung 15 kW_{th}) mit optimierter Regelung auf Basis der in AP4 erstellten Konstruktionspläne und Fertigungszeichnungen gebaut und anschließend in Betrieb genommen. Durch den effizienten Einsatz von TRNSYS- und CFD-Simulationen bei der Entwicklung und Konzeption der Versuchsanlagen konnte bereits im März 2014 mit dem Bau der ersten Versuchsanlage bei GUNTAMATIC begonnen werden. Die zweite Versuchsanlage (VA) wurde im April/Mai 2014 gefertigt. Nach der Fertigstellung wurde eine VA auf einem Teststand bei GUNTAMATIC und eine VA auf dem Teststand von BIOS aufgebaut. Die Versuchsanlagen wurden anschließend nacheinander (zuerst bei GUNTAMATIC, dann bei BIOS) in Betrieb genommen.

AP6: Umfassende Testläufe zur Erstbeurteilung der neuen Technologie samt begleitenden Messungen und Analysen sowie schrittweise Integration von Verbesserungsmaßnahmen

Im Zeitraum von Mai bis September 2014 wurden am Teststand bei BIOS umfangreiche Testläufe mit einem Prototyp des neu entwickelten Pelletkessels durchgeführt. Folgendes Testlaufprogramm wurde dabei bei BIOS abgearbeitet:

16.05.2014	Anlieferung der Versuchsanlage bei BIOS
KW 21-23	Aufbau des Messequipments, Inbetriebnahme
KW 24	Nennlast- und Teillasttestläufe
KW 25	Teillasttestläufe und Testlauf Taktbetrieb
KW 26	Testläufe Taktbetrieb und mit neuem Tauchrohr
KW 28	Lastzyklus-Testläufe (mit und ohne Taktbetrieb)
KW 29	Auskühl-Tests (mit offenen/geschlossenen Zuluft-Klappen)
KW 30-36	Langzeittestläufe (Lastprofile über jeweils 96 Stunden) <ul style="list-style-type: none">• Winterwoche ohne Puffer• Winterwoche mit Puffer (Lastprofil lt. TRNSYS-Simulation)• Märzwoche ohne Puffer• Märzwoche mit Puffer - Pufferladeleistung ca. 9 kW• Märzwoche mit Puffer - Pufferladeleistung ca. 12 kW

Auf Basis der Testlaufergebnisse wurden bereits während der Testlaufserie mehrere Adaptionen bei den Einstellungen der Regelungsparameter der Versuchsanlage zur Optimierung des Betriebs (insbesondere hinsichtlich der Emissionen) vorgenommen. Außerdem wurde im Zuge der Testläufe ein neues (verlängertes) Tauchrohr für den Zyklon der Zyklonbrennkammer zur Reduktion der Emissionen positiv getestet. Sämtliche Testläufe ab KW 26 wurden nur mehr mit diesem neuen Tauchrohr durchgeführt.

Nach Abschluss der Testläufe zur Untersuchung des Verhaltens bei stationärem Betrieb (Nenn- und Teillasttestläufe) wurden bei BIOS auch zahlreiche Testläufe zur Untersuchung des instationären Betriebsverhaltens durchgeführt. Dabei wurden einerseits der Taktbetrieb und das Auskühlverhalten der Anlage bei offenen bzw. geschlossenen Zuluftklappen im Anlagenstillstand untersucht. Andererseits wurden auch Langzeittestläufe auf Basis eines standardisierten Lastzyklus, sowie mit verschiedenen Lastprofilen zur Untersuchung des Betriebs unter realen Betriebsbedingungen mit Hilfe eines speziell dafür entwickelten Hydraulikprüfstands, welcher es ermöglicht, dem Kessel beliebige Lastprofile vorzugeben, durchgeführt.

Die Lastzyklus-Testläufe (mit und ohne Taktbetrieb) wurden entsprechend den Vorgaben gemäß ISEB-Leitfaden [4] mit dem vom TFZ basierend auf VDI-Richtlinien entwickelten Tageslastzyklus durchgeführt. Bei den Langzeittestläufen erfolgte der Kesselbetrieb über 96 Stunden. Dabei wurden Lastprofile aus Feldmessdaten für eine typische Winterwoche und Märzwoche (Übergangszeit) für den Stand-alone-Betrieb des Pelletkessels herangezogen. Zusätzlich wurden die Auswirkungen eines vorhandenen Pufferspeichers (Lastausgleichspeicher) hinsichtlich Effizienz und Emissionen der Pelletkesselanlage untersucht. Für die Winterwoche wurde dazu dem Kessel ein Lastprofil eines Kessels mit Pufferspeicher lt. TRNSYS-Simulation (mit gleicher bereitgestellter Wärmemenge wie für die Winterwoche ohne Puffer) vorgegeben. Im Vergleich zum Stand-alone-Betrieb des Kessels in der Übergangswoche wurden für den Betrieb mit Pufferspeicher zwei Lastprofile (mit wiederum jeweils gleicher Wärmemenge wie ohne Puffer) untersucht. Dabei wurde der Kessel einmal mit 8,9 kW und einmal mit 12 kW Ladeleistung betrieben.

Am Teststand bei GUNTAMATIC wurden von April bis Dezember 2014 ebenfalls umfangreiche Testläufe mit einem Prototyp des neu entwickelten Pelletkessels durchgeführt. Folgendes Testlaufprogramm wurde dabei bei GUNTAMATIC abgearbeitet:

07.04.2014	Inbetriebnahme der Versuchsanlage bei GUNTAMATIC
------------	--

KW 15-20	Testläufe: Nennlast, Teillast, Emissionen
KW 20-29	Testläufe: Laufende Optimierungen durch Detailverbesserungen
KW 33-39	Testläufe: Weitere Verbesserungen am seriennahen Prototyp
KW 39-44	Testläufe: Sicherheitstests, Softwaretests, Serieneinstellungen
KW 39-48	Testläufe: Dauertest

Während der Testlaufphase bei GUNTAMATIC wurde das Anlagenkonzept mit zahlreichen Detailoptimierungen schrittweise verbessert. Dabei wurde die Feuerung bestehend aus Primärverbrennungszone und nachgeschalteter Sekundärverbrennungszone (Zyklonbrennkammer) hinsichtlich Temperaturverteilung und Luftvorwärmung sowie Durchmischung und Druckverlust optimiert. Es wurde versucht, einerseits die auftretenden Temperaturspitzen in der Zyklonbrennkammer während des Nennlastbetriebs möglichst auf die Belastungsgrenzen des Brennkammermaterials abzustimmen und andererseits im Teillastbetrieb ein ausreichend hohes Temperaturniveau für emissionsarme Verbrennung sicherzustellen. Auf Basis der CFD-Optimierung konnte hier bereits eine gute Vorabstimmung der Feuerung erzielt werden.

Bei der Konstruktion des Wärmetauschers wurde versucht, die Vorteile der bisherigen Seriengeräte beizubehalten. Dabei stand eine kompakte Bauweise mit geringen Wassermengen und bei gleichzeitig geringen Rauchgastemperaturen im Vordergrund.

Ein weiterer Abschnitt war eine Verbesserung (Vergleichmäßigung) der Brennstoffdosierung, welche hinsichtlich der Emissionsverläufe von Bedeutung sind.

Ein wesentlicher Schwerpunkt während der Testlaufphase war auch die Optimierung der Konstruktion hinsichtlich einer geeigneten Bauteil- und Materialwahl.

AP7: Erarbeitung von Richtlinien für die Nutzungsgradoptimierung von Biomassekleinfeuerungssystemen und damit verbundenen Heizungssystemen für verschiedene Brennstoffe (Pellets, Hackgut, Scheitholz) und Rahmenbedingungen auf Basis TRNSYS-Simulationen

Nach Abschluss der Langzeittestläufe mit dem (voroptimierten) Prototyp des neu entwickelten Pelletkessels am Teststand von BIOS, wurde das in TRNSYS für die Simulationen des neuen Kessels verwendete Kesselmodell anhand der Testlaufergebnisse validiert. Dabei wurden alle Testläufe mit einer einheitlichen Parametrierung (auf Basis von Herstellerdaten zum Kesselprototyp von Guntamatic, Ergebnissen aus den instationären CFD-Simulationen bzgl. Stillstandsverluste sowie entsprechend den Ergebnissen der Testläufe) des Kesselmodells nachsimuliert. Diese Nachsimulationen zeigen sehr gute Übereinstimmung zu den Testlaufergebnissen (siehe Kapitel 4). In einem zweiten Schritt wurde die Parametrierung des Kesselmodells weiter an die bis hin zum endgültigen Serienmodell von Guntamatic vorgenommenen Adaptierungen (z.B. verbesserte Dämmung, optimierte Rauchgasaustrittstemperatur, geschlossene Zuluftklappen im Stillstand) angepasst.

Mit diesem, dem serienreifen Pelletkessel entsprechenden Kesselmodell, wurden dann Jahresimulationen zur Untersuchung der erreichbaren Jahresnutzungsgrade für Heizsysteme mit dem optimierten Pelletkessel in den bereits in AP1 bzw. AP3 untersuchten Standardverschaltungen (Kessel im Stand-alone-Betrieb, Kessel mit Pufferspeicher, Kessel mit Pufferspeicher und Solaranlage) durchgeführt.

Analog dazu wurden TRNSYS-Simulationen für entsprechende Heizsysteme mit Hackgut- oder Scheitholzkesseln durchgeführt. Für diese Simulationen wurden dabei ein Hackgut- und ein

Scheitholzessel (kleinster von Guntamatic verfügbarer Hackgutkessel mit 30 kW Nennleistung, bzw. Scheitholzessel mit 21kW Nennleistung) im etwa vergleichbaren Leistungsbereich wie der entwickelte (und mittels der Jahressimulationen untersuchte) Pelletkessel mit 15 kW Nennleistung herangezogen. Die Kesselparametrierungen in TRNSYS erfolgten dabei in einem ersten Schritt auf Basis aktueller Herstellerdaten zu diesen derzeit am Markt erhältlichen Hackgut- und Scheitholzesseln von Guntamatic. Im Zuge der Simulationen wurden darauf aufbauend sinnvolle Optimierungspotentiale zur Jahresnutzungsgradsteigerung bei Hackgut- und Scheitholzesseln, ausgehend vom derzeitigen Stand der Technik, durch Maßnahmen zur Optimierung (Reduktion) der Rauchgasaustrittstemperatur und zusätzlich geschlossenen Zuluftklappen im Anlagenstillstand (bei Hackgutesseln – diese Technologie ist bei Scheitholzesseln bereits derzeit am Markt verfügbar und wurde deshalb für den Scheitholzessel als Basisvariante gewählt) untersucht und hinsichtlich der für optimierte Heizsysteme mit Hackgut- oder Scheitholzesseln erreichbaren Jahresnutzungsgrade berücksichtigt. Darüber hinaus wurden die Einflüsse der Pufferspeicherdimensionierung, des Wassergehalts im Brennstoff (Qualitätsschwankungen des Brennstoffs bei Hackgut) und des Vorlauftemperaturniveaus (bei Scheitholzesseln) auf die erreichbaren Jahresnutzungsgrade des Kessels und der Gesamtanlage im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht.

Abschließend wurden anhand eines Systemvergleichs die Gründe für die Unterschiede zwischen den mit (optimierten) Hackgut- und Scheitholzesseln und dem neu entwickelten optimierten Pelletkessel erreichbaren Jahresnutzungsgraden ermittelt und hinsichtlich der Auswirkungen auf die Höhe des erreichbaren Jahresnutzungsgrades quantifiziert.

Aufbauend auf den Ergebnissen der TRNSYS-Simulationen erfolgten darüber hinaus Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu den Heizsystemen mit Pellet-, Hackgut- oder Scheitholzesseln. Dabei wurden auch Sensitivitätsanalysen hinsichtlich des Einflusses folgender Parameter auf die Wärmegebungskosten durchgeführt:

- Kessel- und Pufferspeichergröße (Anlagendimensionierung),
- Brennstoffwassergehalt (Qualität des Brennstoffs),
- Strom- und Biomassepreise,
- Investitionskosten.

Auf Basis der im Rahmen des Projektes erarbeiteten Ergebnisse und Erfahrungen wurden schließlich in Zusammenarbeit aller Projektpartner und unter Einbeziehung des ExpertInnenwissens des ÖBMV „Empfehlungen zur Nutzungsgradsteigerung von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen“ erarbeitet, in denen die wesentlichen Schlussfolgerungen und daraus abgeleiteten Empfehlungen für Maßnahmen zur Nutzungsgradoptimierung von Heizsystemen mit Pellet-, Hackgut- oder Scheitholzesseln dargestellt sind.

AP 8: Ergebnisverbreitung und Schulungsmaßnahmen

Für die Verbreitung der Forschungsergebnisse wurden seitens des ÖBMV Workshops im Zuge der Energiesparmesse Wels 2014 (1. Workshop) und 2015 (2. Workshop) organisiert. Für die Ergebnisse und Details zu diesen Workshops, sowie einer Veröffentlichung zum Projekt in der Zeitung Ökoenergie siehe Erläuterungen zu AP8 in Kapitel 4.

Darüber hinaus wird es Veröffentlichungen zu den Projektergebnissen in den Fachzeitschriften „Euro Heat & Power“ und „Der österreichische Installateur“ geben. Die im Projekt erarbeiteten Empfehlungen

e!MISSION.at - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

zur Nutzungsgradsteigerung von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen werden über den ÖBMV und BIOS allen interessierten Personen zur Verfügung gestellt.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen sind im Folgenden entsprechend der Logik des Aufbaus der Darstellung der durchgeführten Tätigkeiten in Kapitel 3 ebenfalls in der Untergliederung der Arbeitspakete laut Förderantrag (AP1 bis AP8) dargestellt.

AP1: Vorauswahl der technisch und wirtschaftlich sinnvollsten Optimierungsmaßnahmen zur Nutzungsgradsteigerung von Pelletkessel und Heizungssystem mittels TRNSYS-Simulationen und einer technischen und wirtschaftlichen Bewertung

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse aus AP1 zu den Untersuchungen der Basisvarianten bzw. der optimierten Varianten von Heizsystemen mit Pelletkessel beziehen sich auf Simulationen (auf Basis von Feldmessdaten) mit einem Kesselmodell eines zum Zeitpunkt vor der Neuentwicklung des optimierten Pelletkessels am Markt erhältlichen Pelletkessels von Guntamatic. Die endgültigen Projektergebnisse für den im Projekt neu entwickelten, bezüglich JNG optimierten Pelletkessel sind unter AP7 dargestellt.

Die Ergebnisse der Simulation der Basisvarianten zeigen bereits einige wesentliche Unterschiede zwischen den Varianten:

- Die Niedertemperaturvarianten weisen aufgrund der geringeren Umgebungsverluste in allen Fällen deutlich höhere Jahresnutzungsgrade (für Kessel und Gesamtanlage) auf als die Hochtemperaturvarianten.
- Die Varianten mit Solaranlage und Pufferspeicher (Variante A) sowie die Varianten mit Pelletkessel im Stand-alone-Betrieb und Elektro-Boiler zur Warmwasserbereitung (Variante C) zeigen höhere JNG für den Kessel als die Varianten mit Pufferspeicher/Lastausgleichsspeicher (Variante B). Der Grund dafür liegt im Schwachlastbetrieb des Kessels über die Sommermonate bei Variante B, während bei den Varianten A und C im Sommer der Pelletkessel außer Betrieb ist.
- Variante C zeigt aufgrund der deutlich geringeren Verluste des Hydrauliksystems (kein externer Pufferspeicher) den höchsten Gesamtanlagennutzungsgrad (bis zu 81% bei den Niedertemperaturvarianten, bis zu knapp 70% bei den Hochtemperaturvarianten).

Insgesamt liegen die Jahresnutzungsgrade der Kessel im NT-Betrieb bereits relativ nahe bei den am Prüfstand gemessenen Wirkungsgraden (JNG 85 bis 89%). Dies liegt daran, dass es kaum Wirkungsgradschwankungen über den Modulationsbereich (mit Ausnahme des Taktbetriebs) gibt, sodass relativ unabhängig von der Auslastung ein hoher JNG erreicht werden kann. Weitere Gründe für den hohen Jahresnutzungsgrad sind die niedrigen Kesselvorlauftemperaturen sowie die nur sehr kurze Startphase mit voller Leistung, wodurch bei geringer Lastanforderung ein ungünstiger Stop-and-Go-Betrieb vermieden werden kann. Darüber hinaus kann durch den Taktbetrieb der Stop-and-Go-Betrieb weiter minimiert werden. Bei den HT-Varianten liegen die Kesseljahresnutzungsgrade zwischen 83 und 86%.

Auf Basis der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse konnten die effizientesten Optimierungsmaßnahmen bzgl. Jahresnutzungsgrad identifiziert werden:

- Minimierung der Rauchgasverluste durch Absenkung des O₂-Gehalts im Rauchgas sowie der Rauchgasaustrittstemperaturen aus dem Kessel

- Minimierung der Stillstandsverluste durch Schließen der Luftklappen bei Stillstand und Reduktion der thermischen Masse
- Minimierung der Umgebungsverluste für Kessel und Gesamtsystem durch Absenkung der Kesselvorlauftemperatur bzw. Minimierung der Systemtemperaturen
- Verbessertes Einsatz der Solaranlage durch Optimierung der Setpoints für die Solaranlagenfreigabe/Abschaltung
- Ausreichende Dämmung aller Systemkomponenten (Rohrleitungen und Pufferspeicher)
- Optimale Abstimmung der einzelnen Systemkomponenten untereinander (Kessel, Pufferspeicher und Solaranlage) → bei Heizungssystemen mit Pufferspeicher kann die Nennleistung des Kessels um bis zu ein Drittel gegenüber Anlagen ohne Pufferspeicher reduziert werden, wodurch häufige Stillstände und Stop-and-Go-Betrieb vermieden bzw. minimiert werden können. Bei den optimierten Varianten A und B wurde daher auch bei den Varianten mit 25 MWh Gesamtwärmeverbrauch ein 10 kW Kessel eingesetzt.

Durch Bündelung der Optimierungsmaßnahmen beim untersuchten neuentwickelten Konzept können beträchtliche Steigerungen bei den Jahresnutzungsgraden erzielt werden. Der Einfluss weiterer Maßnahmen (Taktbetrieb, Schließen der Luftklappen bei Stillstand) auf den Kesseljahresnutzungsgrad wurde im Rahmen von AP3 untersucht.

Es können allerdings nicht alle Maßnahmen bei jeder Anlage umgesetzt werden, sodass zwischen bestehenden Anlagen und Neuanlagen unterschieden werden muss. Das Optimierungspotenzial bei bestehenden Anlagen beschränkt sich auf Optimierungen bei der Anlagenregelung und einer ausreichenden Dämmung aller Rohrleitungen und des Pufferspeichers. Bei Neuanlagen können nach Möglichkeit alle sinnvollen Optimierungsmöglichkeiten umgesetzt werden.

AP2: CFD-gestützte Optimierung von Feuerung und Kessel für eine ausgewählte Technologie (Baureihe) unter Berücksichtigung von instationären Betriebszuständen

Ist-Analyse und Voroptimierung der Feuerung und des Kessels

Die wesentlichsten erreichten Verbesserungen durch Voroptimierung mittels CFD-Simulationen waren:

- Verbesserung der Durchmischung der Sekundärluft mit dem Rauchgas durch Optimierung der Düsengeometrie → Verbesserung des Ausbrands und Reduktion des O₂-Gehalts im Rauchgas
- Verbesserte Staubabscheidung durch eine Optimierung der Zyklonbrennkammer
- Optimierung der Luftstufung für Nenn- und Teillast zur Reduktion von CO-Emissionen
- Optimierung der Wärmetauscherbündel für einen effizienten Wärmetausch.

In Abbildung 2 sind beispielhaft die Ergebnisse bzgl. CO-Emissionen dargestellt. Daraus ist deutlich ersichtlich, dass der Ausbrand durch die gute Vermischung von Sekundärluft und Rauchgas in der Zyklonbrennkammer im Wesentlichen beim Austritt aus der Zyklonbrennkammer abgeschlossen ist und somit niedrige CO-Emissionen erreichbar sind.

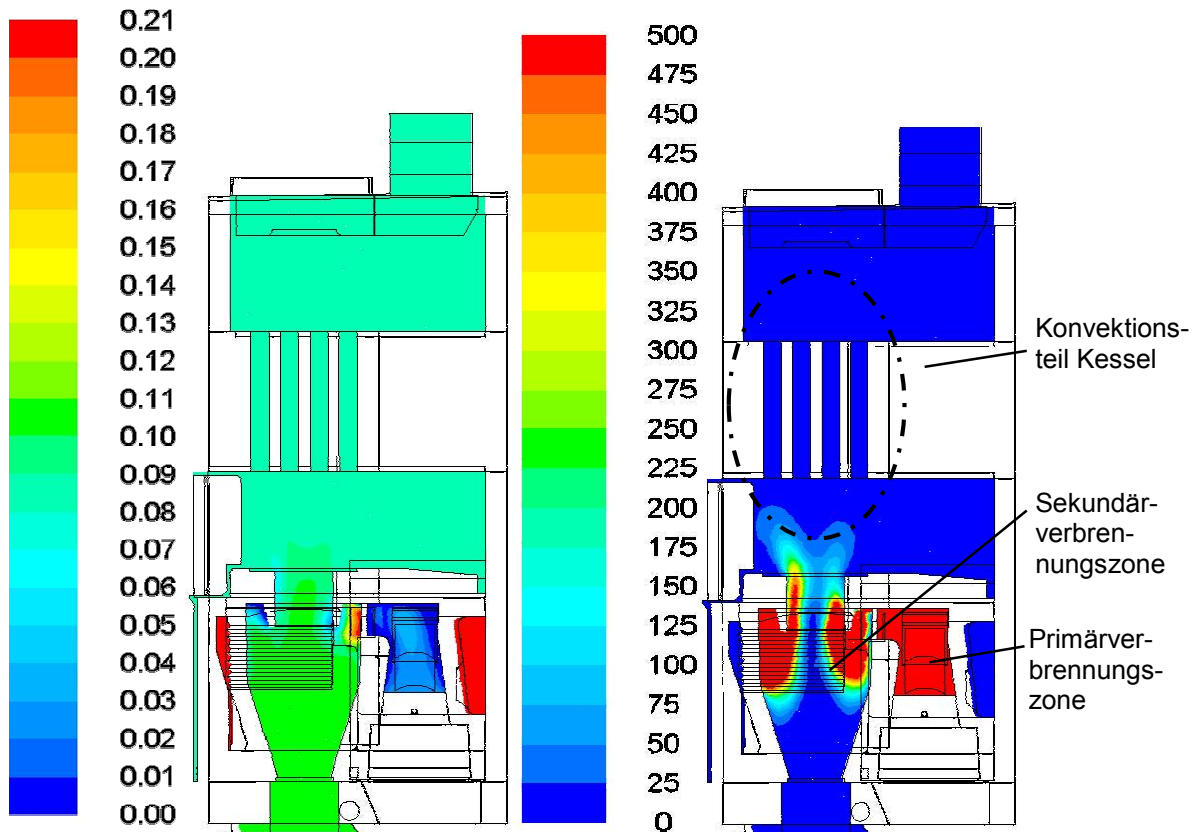


Abbildung 2: Isoflächen der O₂-Konzentration [m³ O₂/ m³ RGf] im Längsschnitt durch die Feuerung (links) sowie Isoflächen der CO-Konzentration [ppmv] im Längsschnitt durch die Feuerung (rechts)

Erläuterungen: Daten für stationären Betrieb bei 15 kW Nennlast.

Instationäre Simulationen zur detaillierten Untersuchung des Taktbetriebs und des Abschalt- und Abkühlvorgangs

Der Taktbetrieb dient zur Überbrückung von Schwachlastphasen und verhindert, dass die Feuerung ausgeschaltet und in den Gluterhaltungsmodus übergeht. Dabei wird die Brennstoffzufuhr zyklisch unterbrochen, wodurch die durchschnittliche Leistung im Vergleich zur minimalen Teillast nochmals abgesenkt werden kann. Die Untersuchung des Taktbetriebs zeigte allerdings, dass dieser aufgrund der erhöhten CO-Emissionen nicht für eine längere Überbrückung von Stillstandszeiten geeignet ist. Der Taktbetrieb ist daher aus emissions-technischer Sicht nicht zu empfehlen. Stattdessen sollten moderne Kessel eine möglichst hohe Modulationsfähigkeit im kontinuierlichen Betrieb aufweisen.

Ein Schwerpunkt der instationären CFD-Simulationen lag bei der Simulation der Auskühlverluste des Kessels nach dem Abschalten. Hierbei wurde untersucht, inwieweit durch Schließen der Frischluftklappen bei Anlagenstillstand die Stillstandsverluste minimiert und somit der Jahresnutzungsgrad erhöht werden kann (siehe Abbildung 3).

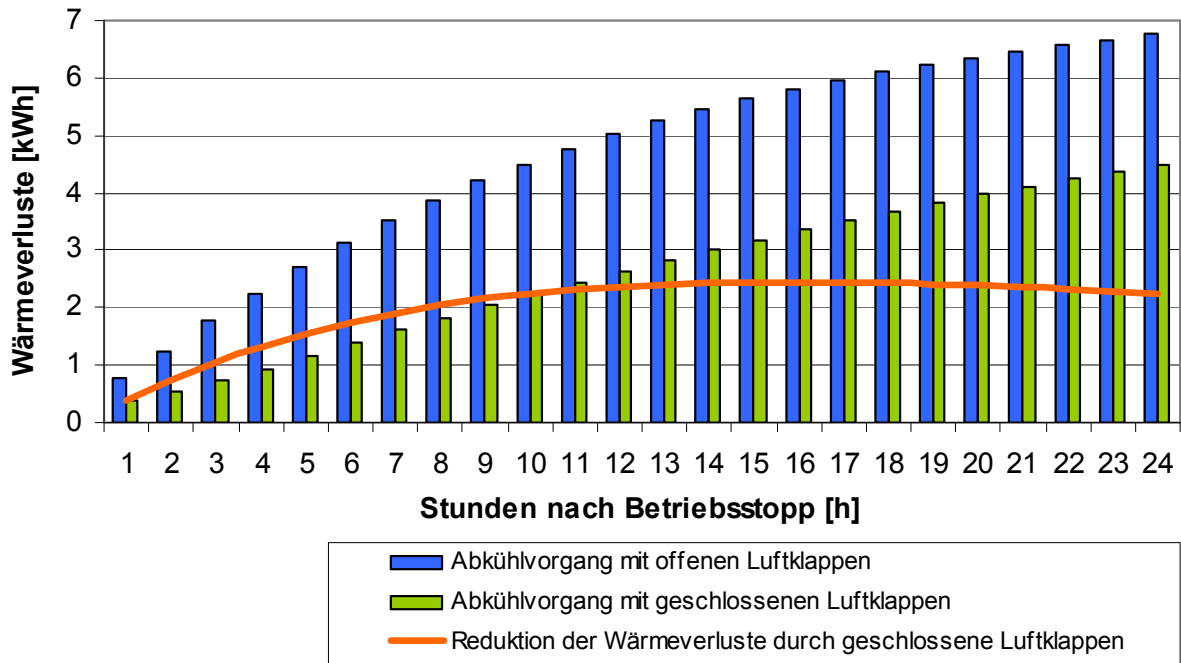


Abbildung 3: Reduktion der Stillstandsverluste durch Schließen der Frischluftklappen bei Anlagenstillstand auf Basis der Ergebnisse von instationären CFD-Simulationen

Erläuterung: Kesselnennleistung: 15 kW; Die Abschaltung erfolgte in der Simulation nach einem einstündigen Betrieb bei minimaler Teillast von 4 kW.

Die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich, dass durch das Schließen der Zuluftklappen während des Kesselstillstands die Stillstandsverluste deutlich reduziert werden können (durch das Schließen wird der natürliche Kaminzug durch den abgeschalteten Kessel unterbunden und somit kühlt der Kessel nicht so rasch ab), wodurch der Jahresnutzungsgrad gesteigert werden kann. Diese Erkenntnisse wurden auch bei der Parametrierung des TRNSYS-Simulationsmodells berücksichtigt, um den Einfluss der geschlossenen Zuluftklappen auf den Jahresnutzungsgrad entsprechend quantifizieren zu können.

AP3: Prüfung des optimierten Gesamtkonzeptes für verschiedene Anlagenverschaltungen mittels TRNSYS-Simulation zur Festlegung der umzusetzenden Optimierungsmaßnahmen

Auf Basis der Ergebnisse der CFD-Simulationen wurde die Parametrierung des TRNSYS-Modells angepasst und die unterschiedlichen Verschaltungsvarianten erneut simuliert und ausgewertet.

Bei allen untersuchten Varianten konnte mit geschlossenen Klappen im Stillstand ein höherer JNG erzielt werden als mit offenen Klappen. Das Ausmaß der Verbesserung des Jahresnutzungsgrads durch Schließen der Luftklappen im Stillstand ist dabei von der Anzahl der Stopps (je mehr Stopps pro Jahr, desto größer ist die JNG-Verbesserung durch Schließen der Luftklappen im Stillstand) abhängig. Es wird jedenfalls empfohlen, die Luftklappen nach Abschluss der Spülphase während des Stillstands geschlossen zu halten.

AP4: Entwicklung der Regelung und Detailkonzeption der voroptimierten Versuchsanlagen (Biomassekessel und Systemkomponenten)

Folgende Maßnahmen wurden im Rahmen der Detailkonzeption der neuentwickelten Anlage getroffen:

- Neuentwicklung Primärverbrennungszone (möglichst kleiner Rost und kleine Primärverbrennungszone, um einen emissionsarmen Teillastbetrieb zu ermöglichen)
- Neuentwicklung Sekundärverbrennungszone (verbesserte Sekundärlufteindüsung, verbesserte Staubabscheidung durch Anpassung der Zyklongeometrie)
- Optimierung der Fördergeometrie sowie Optimierung der Leistungsanpassung mittels Pelletsdosierung über ein Fallsystem, um auch bei minimaler Teillast exakt dosieren zu können
- Adaption der Verbrennungsluftklappen, um ein Verschließen bei Stillstand zu ermöglichen
- Optimierung des konvektiven Kesselteils, um möglichst niedrige Kesselvorlauftemperaturen und Rauchgasaustrittstemperaturen erreichen zu können
- Optimierung der Hilfsantriebe zur Minimierung der elektrischen Anschlussleistung bzw. des Eigenbedarfs der Anlage

Die Entwicklung des Regelungskonzeptes konzentrierte sich auf folgende Schwerpunkte:

- Anpassung der Kennlinie für die Regelung des Restsauerstoffgehaltes im Zusammenhang mit der verbesserten Durchmischung in der Teillast der Feuerung.
- Durch eine Anpassung der Parametereinstellungen des Leistungsreglers konnte eine bessere Lastanpassung bei schnellen Lastübergängen erreicht werden.
- Die Ansteuerung des Reinigungsantriebes wurde in der Software dahingehend angepasst, dass man nun über einen neuen Parameter in der Software das Schließen der Verbrennungsluftklappen in den Abstellphasen der Anlage aktivieren kann.
- Anhand der Ergebnisse aus dem Projekt wurde ein neues Konzept zur besseren Anpassung des Anlagenbetriebs an den Tagesbedarf abgeleitet. So wurden die Anzahl der Uhrenprogramme pro Heizkreis von ursprünglich ein auf zukünftig drei Uhrenprogramme mit je 3 einstellbaren Heizzeitbereichen erweitert. Die Umschaltung zwischen den einzelnen Uhrenprogrammen erfolgt automatisch über für jeden Heizkreis unabhängig einstellbare Außentemperaturgrenzen. Mit dieser Maßnahme können Taktbetriebszustände und Stop-and-Go-Betriebsphasen insbesondere in der Übergangszeit reduziert werden.
- Um einer bedarfsgerechten Pufferladung gerecht zu werden, wurde eine möglichst geringe Stütztemperatur für den Pufferspeicher festgelegt. Wird aufgrund von kälteren Außentemperaturen von den Heizkreisen ein höherer Temperatur-Sollwert angefordert, wird der Puffer automatisch auf ein höheres Temperaturniveau geladen.

Für die Ansteuerung von Energiesparantrieben (EC-Technik) wurde eine entsprechende Anpassung der Steuerungshard- und -software vorgenommen. Damit wurden die Grundvoraussetzungen für den Umstieg auf EC-Antriebe geschaffen.

AP5: Bau und Inbetriebnahme der Versuchsanlagen

In Abbildung 4 ist die Versuchsanlage, die am Teststand von BIOS aufgebaut wurde, dargestellt.



Abbildung 4: Foto der zweiten Versuchsanlage (Prototyp des neu entwickelten Pelletkessels) am Teststand bei BIOS

Die Montage der ersten Versuchsanlage (VA) wurde mit Ende des ersten Projektabschnitts weitgehend fertig gestellt. Zu Beginn des zweiten Projektabschnitts wurde die Anlage hydraulisch und elektrisch am Teststand von GUNTAMATIC angeschlossen und in Betrieb genommen.

Die zweite Versuchsanlage wurde im April/Mai 2014 gefertigt und anschließend nach Graz überstellt. Danach erfolgte die Inbetriebnahme der zweiten VA am Teststand bei BIOS. Bei der Konstruktion beider Anlagen sind die Erkenntnisse aus den bis dahin durchgeführten CFD- und TRNSYS-Simulationen eingeflossen. Die VA wurde im Zuge der Testläufe schrittweise optimiert und dienen als Basis für die finale Konzeption einer serienreifen Anlage.

AP6: Umfassende Testläufe zur Erstbeurteilung der neuen Technologie samt begleitenden Messungen und Analysen sowie schrittweise Integration von Verbesserungsmaßnahmen

Das durchgeführte Testlaufprogramm wurde bereits in Kapitel 3 beschrieben.

Stationäre Testläufe

Die stationären Testläufe bei Nenn- und Teillast dienen zur Charakterisierung der neuen Technologie und wurden auch sukzessive zur Überprüfung der im Rahmen des Projektes durchgeführten Entwicklungsschritte eingesetzt. Im Folgenden sind nur die wesentlichen Ergebnisse der Testläufe durch Guntamatic mit der serienreifen Anlage (unter Berücksichtigung aller Optimierungsmaßnahmen) im Überblick dargestellt:

- Nennlast:
 - Kesselleistung 17 kW
 - Vorlauftemperatur 70°C
 - Rauchgastemperatur nach Kessel 145°C
 - CO₂-Gehalt im Rauchgas 12%
 - O₂-Gehalt im trockenen Rauchgas 8,5%

- CO-Gehalt im Rauchgas bis zu 20 mg/Nm³ (13 Vol.-% O₂) bzw. 14 mg/MJ
- NO_x-Gehalt im Rauchgas 100 bis 150 mg/Nm³ (13 Vol.-% O₂, als NO₂ angegeben) bzw. 64 bis 97 mg/MJ
- Gesamtstaub 10 bis 15 mg/Nm³ (13 Vol.-% O₂) bzw. 6 bis 10 mg/MJ
- Teillast:
 - Kesselleistung 4 kW (23,5% der Nennlast)
 - Vorlauftemperatur 70°C
 - Rauchgastemperatur nach Kessel 95°C
 - CO₂-Gehalt im Rauchgas 10,5%
 - O₂-Gehalt im trockenen Rauchgas 10,0%
 - CO-Gehalt im Rauchgas 30 bis 200 mg/Nm³ (13 Vol.-% O₂) bzw. 19 bis 130 mg/MJ - im Mittel etwa 84 mg/Nm³ (13 Vol.-% O₂) bzw. 54 mg/MJ
 - NO_x-Gehalt im Rauchgas 85 bis 130 mg/Nm³ (13 Vol.-% O₂, als NO₂ angegeben) bzw. 55 bis 84 mg/MJ
 - Gesamtstaub 5 bis 10 mg/Nm³ (13 Vol.-% O₂) bzw. 3 bis 6 mg/MJ

Die oben dargestellten Messwerte basieren auf Einstellungen für den Dauerbetrieb und können somit auch im Feldbetrieb erwartet werden.

Auskühlversuche (BIOS)

Die Ergebnisse der durchgeführten Auskühlversuche zeigen für geöffnete Klappen gute Übereinstimmung der Temperaturverläufe laut Messung und CFD-Simulation. Die Ergebnisse der Testläufe konnten somit das Schließen der Zuluftklappen als effiziente Maßnahme zur Minimierung der Stillstandsverluste bestätigen. Für die Bewertung des Effekts geschlossener Zuluftklappen im Anlagenstillstand auf die Nutzungsgrade lt. Langzeittestläufen bzw. für die Jahressimulationen von Heizsystemen mit dem serienreifen Pelletkessel sowie (im Rahmen von AP7) von Hackgut- und Scheitholzkesseleln wurden die aus den Ergebnissen der Auskühlversuche ermittelten Rauchgasverlusteinsparpotentiale herangezogen.

Bestimmung des Nutzungsgrades im Rahmen von Lastzyklus- und Langzeittestläufen (BIOS)

Zur Ermittlung des Nutzungsgrades der neuentwickelten Pelletskesseltechnologie wurden Lastzyklus-Testläufe (mit dem standardisierten Tageslastzyklus lt. [4]), welche das Verhalten des Kessels im Jahresbetrieb repräsentieren sollen, sowie Testläufe über 96 Stunden mit realen Lastprofilen aus der Winterzeit (kälteste Woche im Winter) sowie der Übergangszeit (Märzwoche) durchgeführt. Die Lastprofile der 96-Stunden-Testläufe sind in **Abbildung 5** dargestellt.

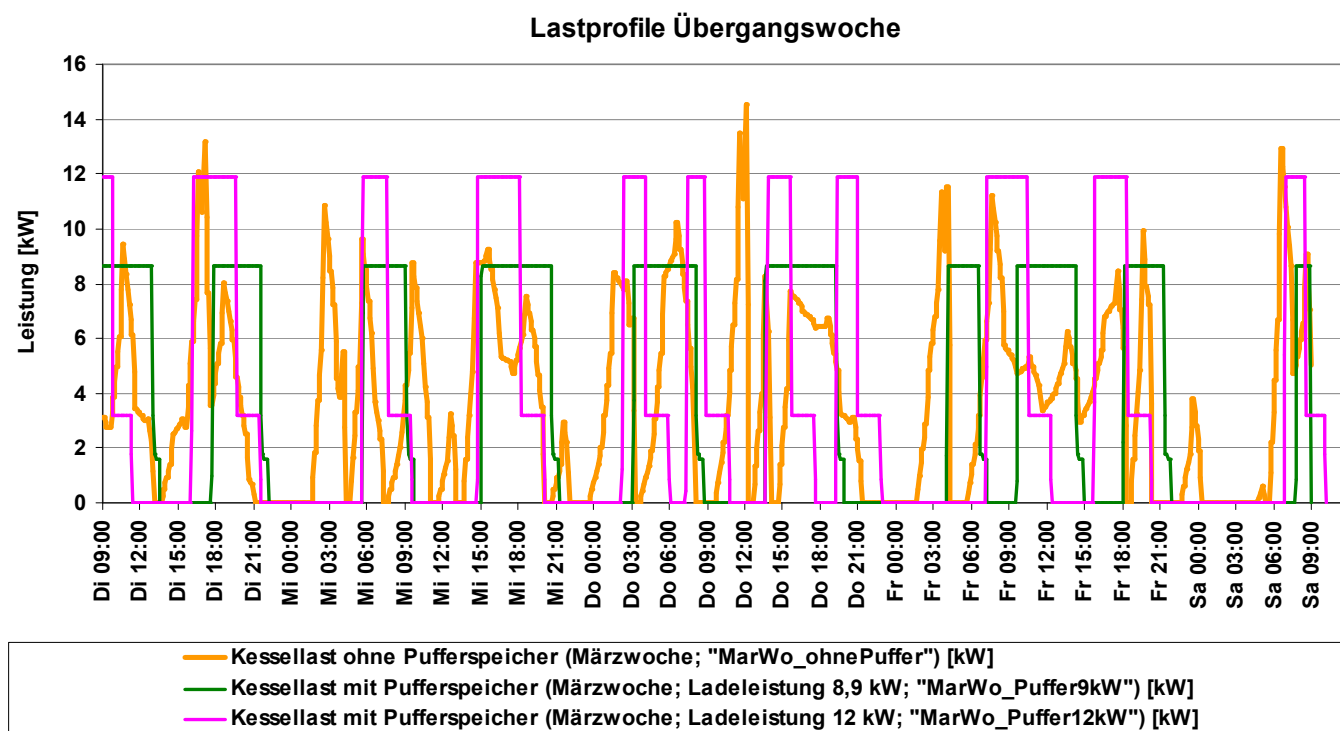
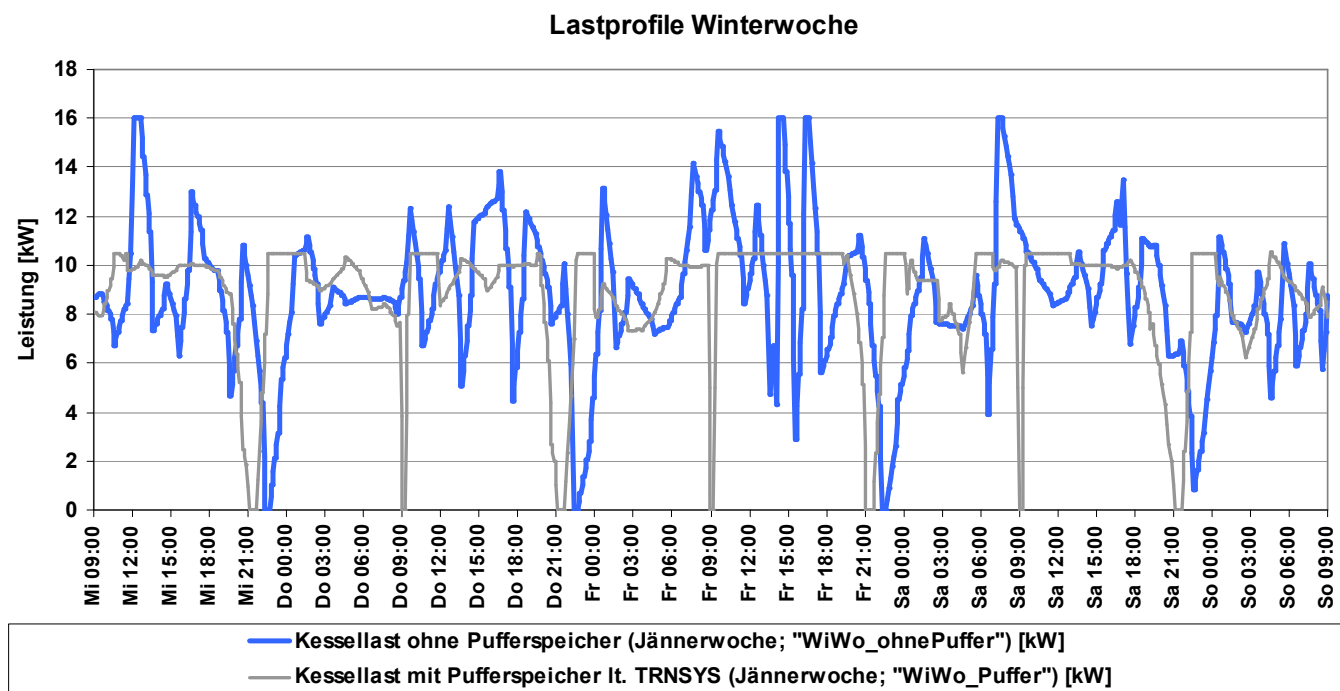


Abbildung 5: Lastprofile der bei BIOS durchgeführten Langzeittestläufe

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Bilanzierungsergebnisse bezüglich Kesselnutzungsgrad der Langzeit- und Lastzyklus-Testläufe bei BIOS mit dem (noch nicht vollständig optimierten bzw. noch nicht serienreifen) Prototyp des neu entwickelten Pelletkessels dargestellt.

Tabelle 1: Bilanzierungsergebnisse der Langzeittestläufe mit der Versuchsanlage am Teststand bei BIOS

SmartResidentialHeat - Anlage Graz		WiWo_ohnePuffer	WiWo_Puffer	MarWo_ohnePuffer	MarWo_Puffer_9kW	MarWo_Puffer_12kW	Lastzyklus I (ohne Taktbetrieb)
Energiebilanz							
von		22.07 15:15:00	29.07 10:30:00	18.08 12:09:00	25.08 15:37:00	01.09 11:45:00	11.07 08:18:00
bis		26.07 22:15:00	02.08 18:39:00	23.08 07:10:00	29.08 15:39:00	06.09 02:04:00	12.07 00:48:00
Anlagendaten							
Kesselleistung	[kW]	8,1	8,1	2,9	3,4	2,9	2,6
Abstrahlverluste Kessel und Rohrleitungen	[kW]	0,70	0,69	0,66	0,64	0,48	0,50
O2-Gehalt im RG	[Vol% RGr]	11,4	11,4	16,4	16,4	18,2	17,0
Temperatur Verbrennungsluft	[°C]	28,5	28,4	23,8	23,8	25,4	27,0
Abgastemperatur nach Kessel	[°C]	143,3	152,9	102,4	115,8	103,7	87,4
O2-Gehalt im RG	[Vol% RGr]	10,3	10,4	15,6	15,5	17,5	16,1
Bilanzierungsergebnisse							
Brennstoffmenge im Intervall	[kg FS]	212,9	216,5	99,9	96,7	94,3	12,0
Zugeführte Brennstoffenergie	[MJ]	3.676	3.738	1.725	1.669	1.628	206,6
Zugeführte Brennstoffenergie	[kWh]	1.021	1.038	479,2	463,5	452,2	57,4
Nutzenergie (Wasserkreis)	[kWh]	839	848	338,4	326,8	315,7	43,0
Nutzungsgrad Basis Brennstoffbilanz	[%]	82,2	81,6	70,6	70,5	69,8	75,0
Nutzungsgrad ohne Rohrleitungsverluste	[%]	82,5	82,0	71,7	71,6	70,8	76,0
Nutzungsgrad mit reduzierten Abstrahlverlusten Kessel	[%]	87,3	86,4	82,1	81,0	78,3	85,5
Nutzungsgrad mit reduzierten RG-Verlusten im Stillstand (Frischluff-Klappen geschlossen)	[%]	87,9	87,1	86,3	85,4	87,1	87,1

Die direkt aus den Testlaufdaten ermittelten Nutzungsgrade (im Bereich von 69,8 bis 82,2%) zeigten im Vergleich zu den bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführten TRNSYS-Simulationen vergleichsweise niedrigere Werte. Hauptgrund dafür waren die hohen Abstrahlverluste des Kessel-Prototypen, bei dem unter anderem die Kesseldämmung schlecht an der Kesselwand anlag. Die aus den Langzeit- und Lastzyklen-Testläufen ermittelten Nutzungsgrade (auf Basis Brennstoffbilanz) wurden daher mit folgenden Korrekturen bewertet, um die im späteren Anlagenbetrieb tatsächlich zu erwartenden Nutzungsgrade im Unterschied zu den direkten Ergebnissen aus den Testläufen darzustellen:

- Nutzungsgrad ohne Rohrleitungsverluste: (geringfügige) Korrektur um ungedämmte Rohrstücke zwischen Kessel und Messstellen der Vor- und Rücklauftemperatur
- Nutzungsgrad mit reduzierten Abstrahlverlusten Kessel: Korrektur des Nutzungsgrads ohne Rohrleitungsverluste hinsichtlich reduzierter Abstrahlverluste bei verbesserter Dämmung des Endprodukts
- Nutzungsgrad mit reduzierten RG-Verlusten im Stillstand: Bewertung des Effekts der Nutzungsgradsteigerung von geschlossenen Frischluft-Klappen im Stillstand (aufbauend auf den Nutzungsgrad mit reduzierten Abstrahlverlusten des Kessels) - für die Langzeittestläufe wurden die aus den Auskühltests ermittelten Reduktionen und für die Lastzyklen-Testläufe die lt. TRNSYS-Simulationen für den Jahresbetrieb (kumulierter, mittlerer Effekt über ein gesamtes Jahr) zu erwartenden Reduktionen angesetzt

Aus den in Tabelle 1 dargestellten Ergebnissen ist deutlich ersichtlich, dass durch das Schließen der Frischluftklappen die Unterschiede im Nutzungsgrad zwischen Winter- und Übergangszeit zum Großteil ausgeglichen werden können. Dies kann dadurch erklärt werden, dass in der Übergangszeit häufiger Stillstände auftreten und somit das Schließen der Frischluftklappen effektiver ist als in der Winterzeit mit vergleichsweise wenigen Stillständen.

Die Testläufe mit Pufferspeicher zeigten tendenziell etwas niedrigere Nutzungsgrade, da der Kessel mit Pufferspeicher etwas höhere Stillstandsverluste aufweist – jedoch bei gleichzeitig deutlich niedrigeren Emissionen.

Die für den Lastzyklus-Testlauf ohne Taktbetrieb bilanzierten (bzw. mit Korrekturen bewerteten) Nutzungsgrade liegen jeweils zwischen den Werten für die Übergangswochen und Winterwochen (ohne Puffer). Damit erscheint der für den Lastzyklus-Testlauf ohne Taktbetrieb bilanzierte Wert grundsätzlich als für einen im Jahresbetrieb zu erwartenden Nutzungsgrad plausibel.

Anhand der Ergebnisse der Langzeittestläufe konnten die TRNSYS-Simulationen verifiziert werden, wobei die Ergebnisse der Nachsimulationen der Testläufe mit einer einheitlichen Parametrierung des Kesselmodells sehr gute Übereinstimmung mit den Testlaufdaten zeigen (Abweichungen zwischen Testlaufdaten und Simulationsergebnissen bezüglich JNG < +/- 1 %).

Entwicklung zum serienreifen Pelletkessel – Bewertung des Jahresnutzungsgrades mittels TRNSYS-Simulationen

Nach Abschluss der Langzeittestläufe wurde die Anlage von GUNTAMATIC hinsichtlich Feuerungs-/Kesselgeometrie (Verbesserung der Zyklonbrennkammerkühlung, Optimierung der Sekundärluftvorwärmung, Reduktion der thermischen Masse, Verlängerung des Tauchrohres in der Zyklonbrennkammer) und Anlagendämmung in Kooperation mit BIOS weiter optimiert und zur Serienreife weiterentwickelt.

Ziel der Optimierungsmaßnahmen war es, in allen Lastbereichen hohe Rauchgastemperaturen in der Primärverbrennungszone zu erreichen (für geringe CO-Emissionen), sowie für eine gute Grobstaubabscheidung und gute Durchmischung (Ausbrand) die Rotationsströmung und Sekundärlufteinmischung im Zyklon möglichst für alle Betriebszustände (besonders bei niedriger Last) mit akzeptabler Intensität aufrechtzuerhalten.

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung des Jahresnutzungsgrades des im Zuge des Projektes neu entwickelten Pelletkessels:

- Entwicklungsstufe 1: voroptimierter Prototyp (am Teststand bei BIOS vermessener Pelletkessel)
- Entwicklungsstufe 2: seriennaher Pelletkessel mit optimierter Feuerungs-/Kesselgeometrie und optimierter Anlagendämmung
- Entwicklungsstufe 3: serienreifer Pelletkessel mit geschlossenen Zuluftklappen im Stillstand

In der Abbildung ist nochmals deutlich der Einfluss der geschlossenen Klappen auf den Jahresnutzungsgrad ersichtlich. Entsprechend dem Ergebnis der Jahressimulation liegt der JNG des serienreifen Pelletkessels bei etwa 90%. Damit konnte das Projektziel, den JNG des Kessels auf über 85% zu steigern, deutlich übertroffen werden.

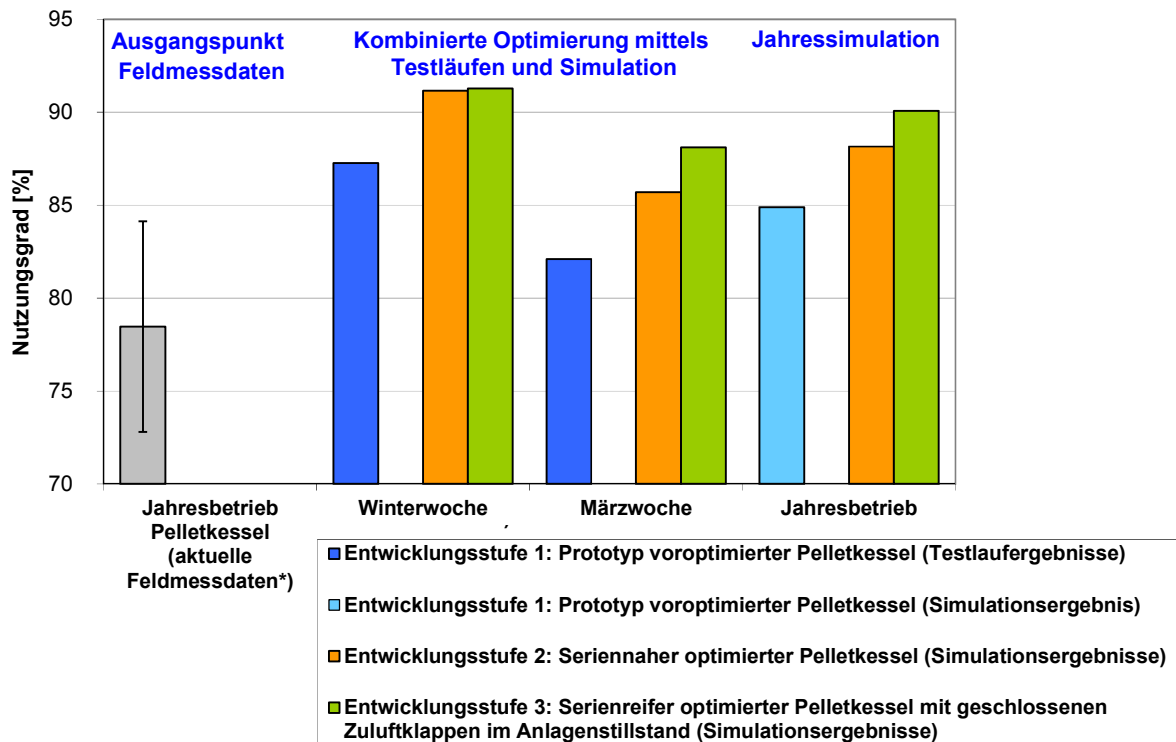


Abbildung 6: Nutzungsgrade des optimierten Pelletkessels laut Testlauf- und Simulationsergebnissen nach Entwicklungsstufen

Erläuterungen: * Literatur zu Feldmessdaten siehe [1], [2], [3]

Bewertung der Emissionen

Die Ergebnisse der Langzeittestläufe zeigen für die Übergangswochen ohne Puffer im Vergleich zur Winterwoche ohne Puffer deutlich höhere CO-Emissionen des Kessels. Die Gründe für diese erwartungsgemäß höheren CO-Emissionen der Übergangswochen liegen in der höheren Anzahl an Starts und Stopps (einhergehend mit CO-Spitzen) sowie dem höheren Anteil an Schwachlastbetriebsphasen (mit generell gegenüber dem Nennlastbetrieb höheren CO-Emissionen) im Vergleich zur Winterwoche. Der Einsatz eines Pufferspeichers wirkt sich positiv auf die Höhe der CO-Emissionen aus, da die Anzahl an Starts und Stopps bzw. Phasen des Betriebs bei sehr geringer Schwachlast der Anlage durch den Pufferspeicher deutlich reduziert werden können.

Das auf Basis der Testlaufergebnisse ermittelte Einsparungspotenzial bzgl. CO-Emissionen durch den Betrieb mit Puffer ist in **Abbildung 7** dargestellt.

Sowohl die Gesamt- als auch die Feinstaubemissionen lagen für die Winterwoche mit Puffer - bei höheren durchschnittlichen Kessellasten - höher als für die Übergangswochen (mit Puffer). Analog zu den Verhältnissen der CO-Emissionen mit und ohne Pufferspeicher, kann davon ausgegangen werden, dass durch den Betrieb mit Pufferspeicher die Staubemissionen (insbesondere die Feinstaubemissionen) niedriger liegen als ohne Pufferspeicher.

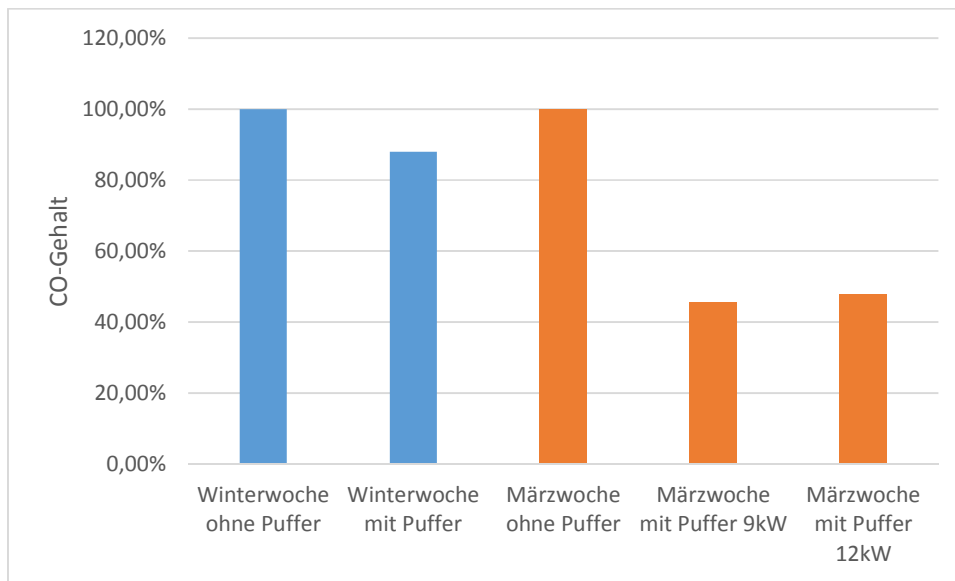


Abbildung 7: Mögliches Reduktionspotential der CO-Emissionen durch den Betrieb eines Pelletkessels mit Pufferspeicher

Erläuterungen: CO-Gehalte sind jeweils auf die Gehalte beim Betrieb ohne Pufferspeicher normiert

AP7: Erarbeitung von Richtlinien für die Nutzungsgradoptimierung von Biomassekleinfeuerungsanlagen und damit verbundenen Heizungssystemen für verschiedene Brennstoffe (Pellets, Hackgut, Scheitholz) und Rahmenbedingungen auf Basis TRNSYS-Simulationen

TRNSYS-Simulationen für Heizsysteme mit Pellet-, Hackgut- oder Scheitholzkesseln

Mit der Kesselparametrierung in TRNSYS für das serienreife Modell des neu entwickelten Pelletkessels wurden Jahressimulationen für Heizsysteme mit dem optimierten Pelletkessel in den bereits in AP1 bzw. AP3 untersuchten Standardverschaltungen (Kessel im Stand-alone-Betrieb, Kessel mit Pufferspeicher, Kessel mit Pufferspeicher und Solaranlage) bzw. aufbauend dazu Simulationen für entsprechende Heizsysteme mit Hackgut- oder Scheitholzkesseln (bezüglich der Vorgehensweise bei der Parametrierung dieser Kessel siehe Kapitel 3) durchgeführt.

Bei den Hackgut- und Scheitholzkesseln wurde vom jeweiligen Stand der Technik (aktuelle Serien von GUNTAMATIC) ausgegangen. Darauf aufbauend wurden mittels TRNSYS-Simulationen folgende Optimierungsmaßnahmen identifiziert und im Rahmen von weiterführenden Simulationen in den Anlagen implementiert:

- Absenkung der Rauchgasaustrittstemperaturen
- Schließen der Zuluftklappen im Anlagenstillstand (Optimierung für Hackgutkessel, bei Scheitholzkesseln ist dies bereits Stand der Technik)
- Möglichst niedrige Vorlauftemperaturen (gleitende Vorlauftemperaturregelung in Abhängigkeit von der Außentemperatur und vom Pufferladezustand)
- Optimierung der Freigabeparameter für Kessel und Solaranlage (falls vorhanden)

In Abbildung 8 sind die Endergebnisse der TRNSYS-Simulationen zu den Jahresnutzungsgraden optimierter Heizsysteme mit Pellet-, Hackgut- oder Scheitholzkesseln im Stand-alone-Betrieb (mit

Warmwasserbereitstellung mittels vom Kessel unabhängigem Elektroboiler bzw. mittels vom Kessel beheiztem Warmwasserspeicher), mit Pufferspeicher, oder Pufferspeicher und Solaranlage dargestellt. Die optimierten Heizsysteme mit Hackgut- oder Scheitholzkessel inkludieren die untersuchten Maßnahmen zur JNG-Steigerung beim Kessel (reduzierte Rauchgasaustrittstemperaturen und geschlossenen Zuluftklappen im Anlagenstillstand), d. h. gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik weiterentwickelte, bezüglich JNG optimierte Hackgut- oder Scheitholzkessel.

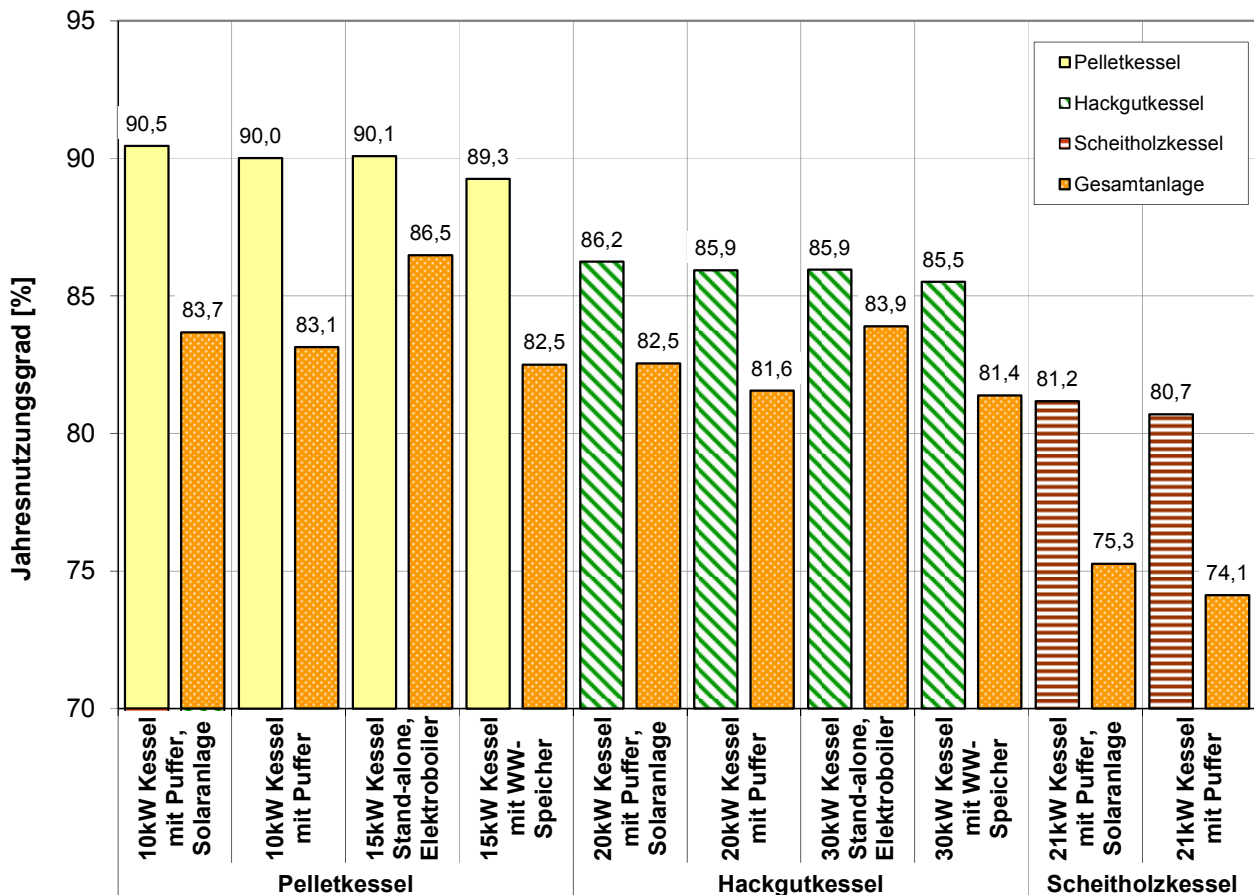


Abbildung 8: Optimierte Jahresnutzungsgrade für Heizsysteme mit Pellet-, Hackgut- oder Scheitholzkesseln im Stand-alone-Betrieb, mit Warmwasser- bzw. Pufferspeicher, oder Pufferspeicher und Solaranlage

Erläuterungen: Werte ohne Berücksichtigung der benötigten elektrischen Hilfsenergie; Leistungsangaben in kW: Nennleistung des Kessels; Elektroboiler: Warmwasserbereitung mit vom Kessel unabhängigem Elektroboiler; WW-Speicher: Warmwasserbereitung mit vom Kessel beheiztem Warmwasserspeicher; Vorlauf-/Rücklauftemperatur Heizkreise 65/55°C; Jahresnutzwärmebedarf 25 MWh.

Die in Abbildung 8 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass insbesondere optimierte Heizungssysteme mit Pelletkesseln sehr hohe Jahresnutzungsgrade, die beim Kessel bereits sehr nahe an den Wirkungsgraden laut Prüfstandsbetrieb liegen, erzielen können.

Der höchste Kessel-JNG kann bei Anlagen mit Pufferspeicher und Solaranlage erreicht werden. Durch den Betrieb der Solaranlage kann der Kessel während der Schwachlastphasen im Sommer abgeschaltet werden, und auch in der Übergangszeit können durch den Solarertrag die Betriebsstunden des Biomassekessels bei geringer Last reduziert werden, was sich positiv auf den JNG auswirkt. Die Varianten mit Kessel und Warmwasserspeicher weisen trotz des großen Modulationsbereichs der

Kessel den niedrigsten Kessel-JNG auf, da durch den Schwachlastbetrieb im Sommer die Kessel häufig ein- und ausgeschaltet werden müssen, wodurch die Stillstandsverluste steigen.

In Bezug auf den JNG der Gesamtanlage zeigen Anlagen mit Kesseln im Stand-alone-Betrieb (für Pellet- und Hackgutkessel) aufgrund signifikant reduzierter Umgebungsverluste (durch die einfachere hydraulische Verschaltung sowie des Fehlens eines Puffers), deutliche Vorteile gegenüber Anlagen mit Pufferspeicher (und Solaranlage).

Die Gründe für die etwas niedrigeren Jahresnutzungsgrade von Hackgutkesseln (etwa 6 bis 8%-Punkte niedriger) gegenüber jenen von Pelletkesseln liegen einerseits am höheren Wassergehalt von Hackgut (typischerweise 15 bis 25 Gew%) gegenüber Pellets (typischerweise 8 Gew%), andererseits an generell höheren Rauchgastemperaturen sowie höheren O₂-gehalten im Rauchgas im Teillastbetrieb im Vergleich zu Pelletkesseln (bedingt durch den höheren Wassergehalt sowie durch die größere Inhomogenität des eingesetzten Brennstoffs).

Scheitholzessel zeigen noch etwas niedrigere Jahresnutzungsgrade (etwa 8 bis 9%-Punkte). Im Vergleich zu Pelletkesseln sind auch hier der höhere Wassergehalt des Brennstoffs (typischerweise 15 bis 20 Gew% statt 8 Gew%), höhere Rauchgastemperaturen und etwas höhere O₂-Gehalte (bedingt durch den höheren Wassergehalt, die größere Inhomogenität des eingesetzten Brennstoffs und den inhomogenen Ausbrand aufgrund der großen Stückgröße des Brennstoffs) Gründe für den niedrigeren JNG. Darüber hinaus weisen Scheitholzessel aufgrund ihres Batchbetriebes und der begrenzten Teillastfähigkeit auch deutlich höhere Stillstandsverluste als Pelletkessel und Hackgutkessel auf, wodurch auch der gegenüber Hackgutkesseln niedrigere Jahresnutzungsgrad erklärt werden kann.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass mithilfe einer gezielten Optimierung (Reduktion der Rauchgasverluste durch Absenkung der Rauchgastemperaturen und O₂-Gehalte im Rauchgas bei Nenn- und Teillast, Reduktion der Stillstandsverluste durch Schließen der Zuluftklappen bei Stillstand, Minimierung der Systemtemperaturen, optimierte Anlagenregelung, Dämmung von Rohrleitungen und Armaturen) gegenüber dem derzeitigen in der Literatur beschriebenen Status-quo beträchtliche Steigerungen im Jahresnutzungsgrad erzielt werden können.

Darüber hinaus kann der Jahresnutzungsgrad durch Rauchgaskondensation noch weiter gesteigert werden. Für Pellet- und Hackgutkessel sind entsprechende Anlagen am Markt verfügbar. Durch die deutliche Absenkung der Rauchgastemperatur sowie der Nutzung der bei der Kondensation freiwerdenden latenten Wärme kann der Jahresnutzungsgrad deutlich erhöht werden (bis zu 9%-Punkte bei Pelletkesseln und bis zu 14%-Punkte bei Hackgutkesseln). Bei Scheitholzesseln ist die Integration einer Rauchgaskondensationsanlage aufgrund des Batchbetriebs nicht möglich bzw. schwierig.

Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Abbildung 9 zeigt eine Gegenüberstellung der Verhältnisse der spezifischen Wärmegestehungskosten (auf Basis einer Vollkostenrechnung unter Berücksichtigung der kapitalgebundenen, verbrauchsgebundenen, betriebsgebundenen und sonstigen Kosten) zur jeweils wirtschaftlich besten Variante der untersuchten Heizsysteme in Abhängigkeit der Anlagenverschaltung. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl bei Pellet- als auch bei Hackgutkesseln die Variante mit Warmwasserspeicher trotz des geringfügig niedrigeren Jahresnutzungsgrades der Gesamtanlage die niedrigsten Wärmegestehungskosten aufweist. Der Grund dafür liegt in den insgesamt niedrigen Investitionskosten im Vergleich zu Varianten mit Pufferspeicher oder Solaranlage und Pufferspeicher. Kessel im Stand-alone-Betrieb mit Warmwasserboiler weisen zwar sehr hohe Jahresnutzungsgrade für die Gesamtanlage und

vergleichsweise niedrige Investitionskosten auf, die wesentlich höheren Kosten für die Warmwasserbereitung (aufgrund des bezogen auf den Energieinhalt hohen Strompreises) führen aber zu insgesamt höheren Wärmegestehungskosten als für Anlagen mit Warmwasserbereitung mittels Kessel und Warmwasser- oder Pufferspeicher.

Systeme mit Solaranlagen weisen bei den im Rahmen des Projekts untersuchten Rahmenbedingungen aufgrund der Mehrinvestition für Solarkollektoren, Solarkreis und Wärmetauscher im Pufferspeicher höhere Wärmegestehungskosten auf, die üblicherweise auch durch Investitionsförderungen (in der Abbildung nicht dargestellt) nicht auf das Niveau von Kesselanlagen mit Warmwasserspeicher reduziert werden können. Der Grund dafür ist, dass die jährliche Kosteneinsparung beim Brennstoff durch den Solarertrag die erhöhten Kapitalkosten nicht kompensieren kann. Systeme mit Pufferspeicher und Solaranlage weisen aber deutliche Vorteile beim Ressourcenverbrauch und den Emissionen auf (siehe unten).

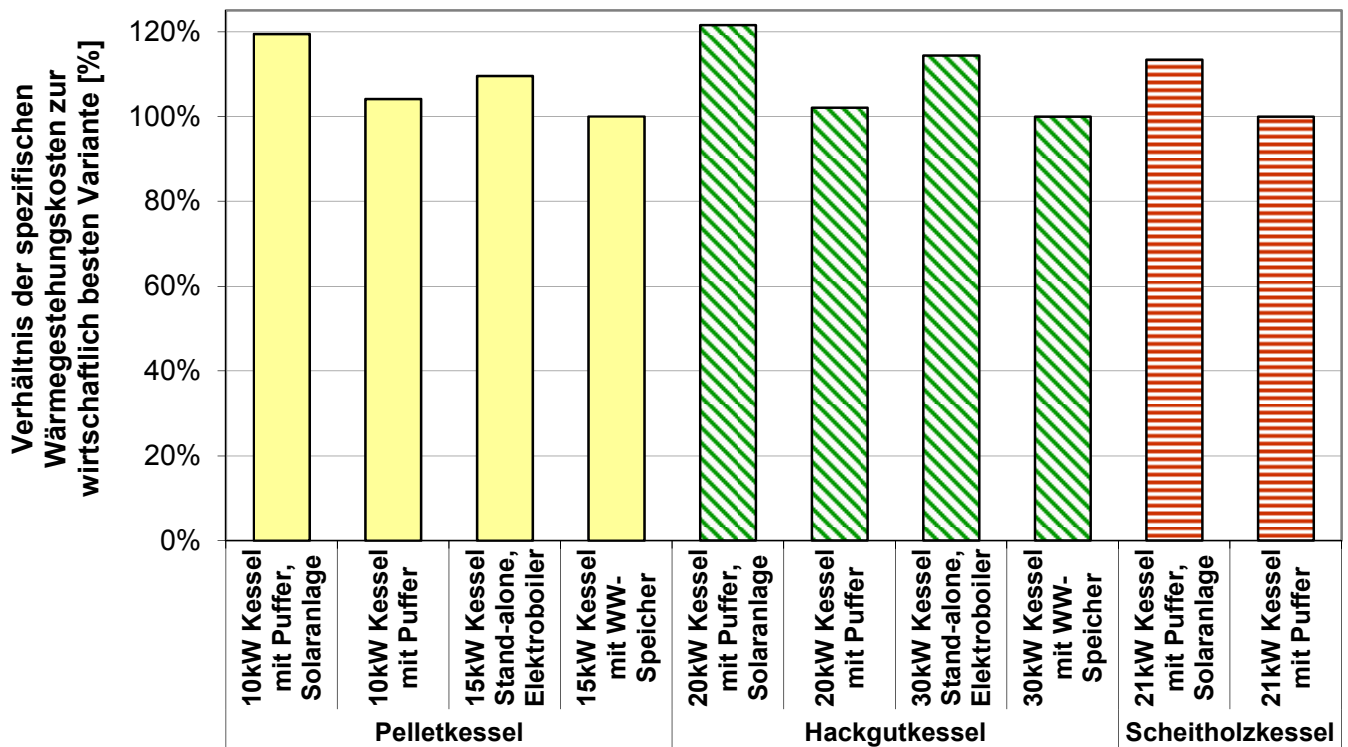


Abbildung 9: Verhältnis spezifischer Wärmegestehungskosten von Heizsystemen mit Pellet-, Hackgut- oder ScheitholzkesseIn in Abhängigkeit der Anlagenverschaltung

Erläuterungen: Leistungsangaben in kW: Nennleistung des Kessels; Elektroboiler: Warmwasserbereitung mit vom Kessel unabhängigen Elektroboiler; WW-Speicher: Warmwasserbereitung mit vom Kessel beheiztem Warmwasserspeicher; Vorlauf-/Rücklauftemperatur Heizkreise 65/55°C; Jahres-Nutzwärmebedarf 25 MWh.

Bezüglich der Integration einer Rauchgaskondensation zeigen die Ergebnisse von durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen, dass eine zusätzliche Rauchgaskondensation nur dann wirtschaftliche Vorteile (gegenüber der untersuchten Anlagenvariante mit den geringsten spezifischen Wärmegestehungskosten eines Kessels mit Warmwasserspeicher) bringt, wenn unter den im Rahmen des Projektes untersuchten Rahmenbedingungen die Mehrinvestitionskosten für die Rauchgaskondensation etwa **550 €** für Pelletkessel bzw. 2.000 € für Hackgutkessel nicht übersteigen. Derzeit am Markt

verfügbare Add-on-Systeme zur Rauchgaskondensation (dem Kessel separat nachgeschaltene Kondensator-Wärmeübertrager) weisen derzeit noch höhere Investitionskosten auf. Niedrigere Mehrinvestitionskosten sind mit neuen Systemen mit bereits in den Kessel integrierter Rauchgaskondensation (Ausführung des letzten Rauchrohr-Wärmeübertragerzugs als Kondensationsstufe), welche für Pelletkesselanlagen bereits derzeit am Markt verfügbar sind, erreichbar.

Bewertung hinsichtlich Ressourcenverbrauch

Die Ressourcenverbräuche (Brennstoff-, Strombedarfe und Solarertrag) der untersuchten Heizsysteme sind in Abbildung 10 (für Pelletkesselanlagen), Abbildung 11 (für Hackgutanlagen) und Abbildung 12 (für Scheitholzanlagen) dargestellt. Bezogen auf den Ressourcenverbrauch sind Anlagen mit Solarkollektoren vorteilhaft, da durch den Solarertrag Brennstoff eingespart werden kann. Die Höhe der Einsparungen gegenüber Anlagen ohne Solaranlage ist im Wesentlichen von der Größe, Effizienz und Aufstellung der Solarkollektoren abhängig, liegt aber üblicherweise über 10% des Jahresbedarfs.

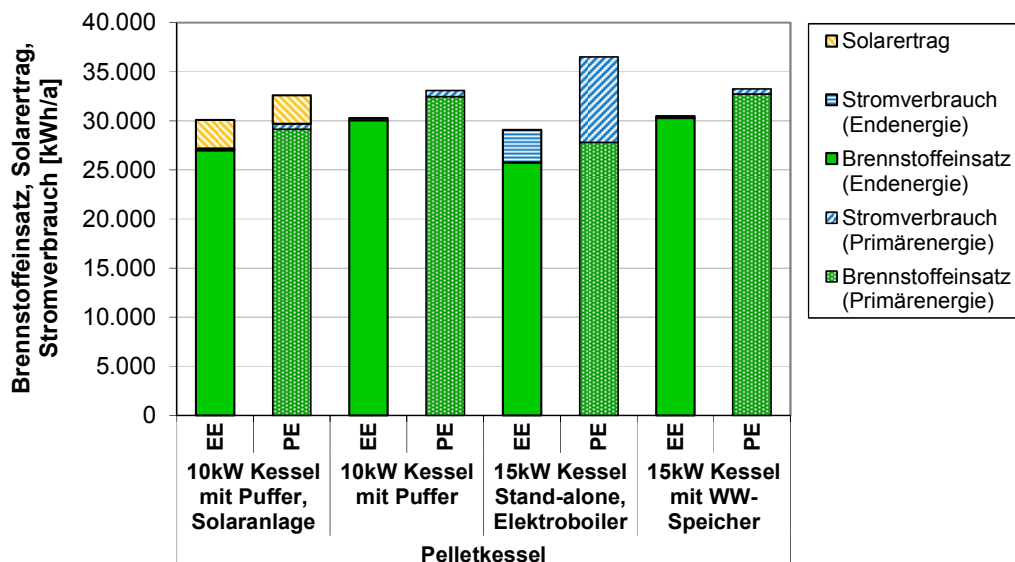


Abbildung 10: Ressourcenverbrauch der untersuchten Heizsysteme mit Pelletkesseln in Abhängigkeit der Anlagenverschaltung

Erläuterungen: EE: Endenergieeinsatz; PE: Primärenergieeinsatz - Konversionsfaktoren von EE auf PE lt. [5]: 1,08 für Biomasse und 2,62 für Strom (Österreich-Mix); Leistungsangaben in kW: Nennleistung des Kessels; Elektroboiler: Warmwasserbereitung mit vom Kessel unabhängigen Elektroboiler; WW-Speicher: Warmwasserbereitung mit vom Kessel beheiztem Warmwasserspeicher; Vorlauf-/Rücklauftemperatur Heizkreise 65/55°C; Jahres-Nutzwärmebedarf 25 MWh.

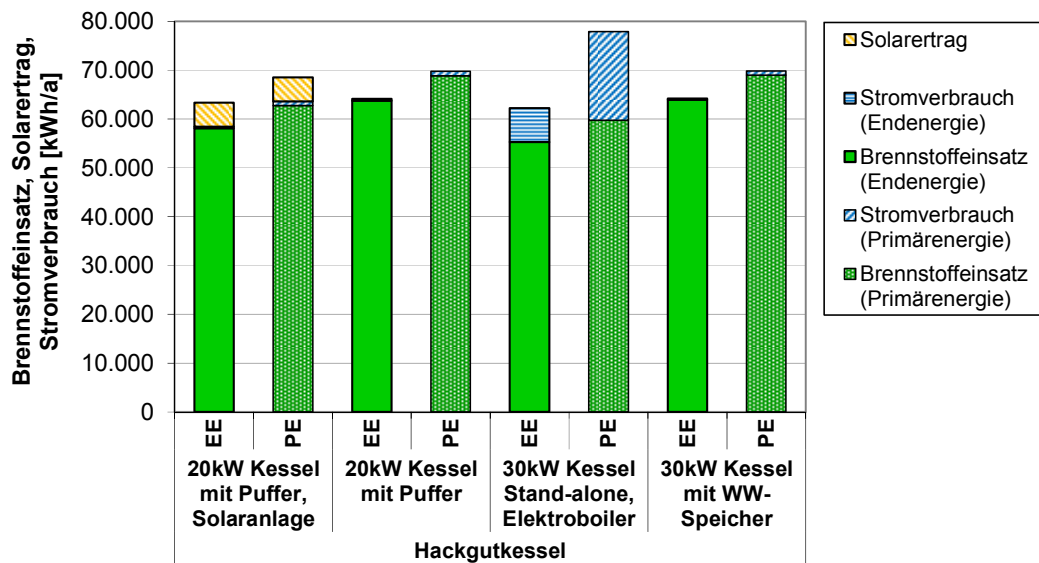


Abbildung 11: Ressourcenverbrauch der untersuchten Heizsysteme mit Hackgutkesseln in Abhängigkeit der Anlagenverschaltung

Erläuterungen: EE: Endenergieeinsatz; PE: Primärenergieeinsatz - Konversionsfaktoren von EE auf PE lt. [5]: 1,08 für Biomasse und 2,62 für Strom (Österreich-Mix); Leistungsangaben in kW: Nennleistung des Kessels; Elektroboiler: Warmwasserbereitung mit vom Kessel unabhängigen Elektroboiler; WW-Speicher: Warmwasserbereitung mit vom Kessel beheiztem Warmwasserspeicher; Vorlauf-/Rücklauftemperatur Heizkreise 65/55°C; Jahres-Nutzwärmebedarf 25 MWh.

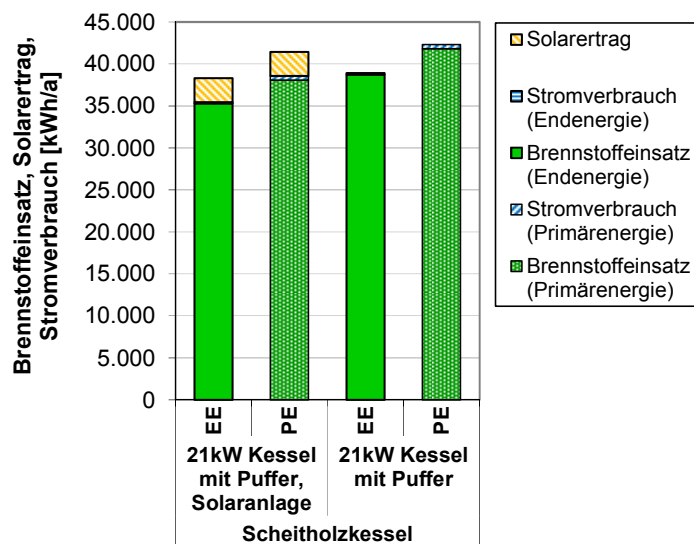


Abbildung 12: Ressourcenverbrauch der untersuchten Heizsysteme mit Scheitholzesseln in Abhängigkeit der Anlagenverschaltung

Erläuterungen: EE: Endenergieeinsatz; PE: Primärenergieeinsatz - Konversionsfaktoren von EE auf PE lt. [5]: 1,08 für Biomasse und 2,62 für Strom (Österreich-Mix); Leistungsangaben in kW: Nennleistung des Kessels; Vorlauf-/Rücklauftemperatur Heizkreise 65/55°C; Jahres-Nutzwärmebedarf 25 MWh.

Bewertung hinsichtlich Emissionen

Eine exakte Simulation der jährlichen Emissionen von Biomassekleinfeuerungen ist mit den zur Verfügung stehenden Simulationsprogrammen nicht möglich, da diese neben dem Brennstoffverbrauch (Ergebnissen der Jahressimulationen), der Brennstoffqualität (Annahme aus Erfahrungswerten) und der Qualität der Verbrennung (Emissionswerte bei Nenn- und minimaler Teillast lt. Herstellerangaben) auch vom Betriebsverhalten der Anlagen (und dabei neben der aktuellen Leistung der Feuerung auch von der Geschwindigkeit von Leistungsänderungen, der Anzahl der Starts und Stopps sowie der Dauer der Stillstände zwischen Stopps und Starts) abhängen.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Testläufe für Anlagen mit und ohne Pufferspeicher haben aber gezeigt, dass vor allem die CO-Emissionen bei Anlagen mit Pufferspeicher deutlich niedriger sind, weil Schwachlastphasen und Neustarts, bei denen CO-Emissionen üblicherweise am höchsten sind, reduziert werden können und generell weniger Lastwechsel stattfinden. Zusammenfassend führen abgesehen von einer als Stand der Technik angesehenen vollständigen Verbrennung folgende Maßnahmen zu Reduktion von CO-Emissionen:

- Reduktion des Brennstoffverbrauchs
- Möglichst gleichmäßiger Anlagenbetrieb
- Vermeidung von Schwachlastphasen
- Minimierung von Anlagenstarts und -stopps

Staubemissionen nehmen üblicherweise mit kleiner werdender Last ab, ansonsten sind die oben genannten Maßnahmen auch für die Reduktion von Staubemissionen gültig.

Anlagen mit Solaranlage und Pufferspeicher weisen die niedrigsten Emissionen auf. Anlagen mit Elektroboiler weisen zwar üblicherweise einen etwas niedrigeren Brennstoffbedarf auf, allerdings muss die Feuerung aufgrund des fehlenden Puffer-/Lastausgleichspeichers häufiger in Schwachlast betrieben und häufiger abgestellt und neu gestartet werden, wodurch höhere Emissionen als bei Anlagen mit Solarkollektoren zu erwarten sind. Darüber hinaus entstehen bei der Stromerzeugung ebenfalls Emissionen. Anlagen mit Pufferspeicher ohne Solaranlage weisen gegenüber Anlagen mit Solarkollektoren aufgrund des gesteigerten Brennstoffbedarfs höhere Emissionen auf. Die höchsten Emissionen sind bei Anlagen mit Warmwasserspeicher zu erwarten, da diese gemeinsam mit den Varianten mit Pufferspeicher den höchsten Brennstoffbedarf und aufgrund des fehlenden Pufferspeichers erhöhte Emissionen durch häufigen Schwachlastbetrieb und vermehrte Starts und Stopps aufweisen.

Empfehlungen zur Optimierung des Jahresnutzungsgrades

Die in AP7 erarbeiteten „Empfehlungen zur Nutzungsgradsteigerung von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen“ stellen (neben dem neu entwickelten optimierten Pelletkesselsystem) ein wesentliches Projektergebnis als Zusammenführung der Ergebnisse aus den vorhergehenden Arbeitspaketen dar. Diese Empfehlungen wurden dabei unter Einbeziehung des ExpertInnenwissens des ÖBMV bzgl. des österreichischen Markts für Biomassekleinfeuerungen möglichst praxisgerecht und an die Bedürfnisse des österreichischen Marktes angepasst formuliert.

Bei Einhaltung der vorliegenden Empfehlungen zur Optimierung des Jahresnutzungsgrades können bei Umsetzung gezielter Optimierungsmaßnahmen

- beim Kessel,
- bei der Systemregelung und

- bei der Dimensionierung und der Gestaltung des Gesamtsystems Jahresnutzungsgrade des Kessels von bis zu 90% und des Gesamtsystems von bis zu 86% erreicht werden. Das Verbesserungspotential ist bei Pelletkesseln am höchsten. Ein weiteres Steigerungspotential beim Jahresnutzungsgrad bestünde durch die Nachschaltung einer Rauchgaskondensation (bis zu 9%-Punkte bei Pellet- und bis zu 14%-Punkte bei Hackgutkesseln). Die Empfehlungen zur Nutzungsgradsteigerung von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen werden über den Österreichischen Biomasseverband und den Projektkoordinator BIOS veröffentlicht und allen Interessenten zur Verfügung gestellt (www.bios-bioenergy.at; www.biomasseverband.at/home/). Die Ergebnisse nach unterschiedlichen Bewertungskriterien zeigen, dass es keine Anlagenvariante gibt, die nach allen Kriterien zu empfehlen wäre. Vielmehr weist jede Variante Stärken und Schwächen auf, die oben erläutert wurden. Je nach Gewichtung der verschiedenen Vor- und Nachteile ergeben sich somit unterschiedliche Empfehlungen für die optimale Anlagenverschaltung.

AP 8: Ergebnisverbreitung und Schulungsmaßnahmen

1. Workshop im Rahmen der Energiesparmesse Wels 2014

Der erste Workshop zur Verbreitung der Forschungsergebnisse fand im Rahmen der Energiesparmesse Wels am 28. Februar 2014, von 10.00 bis 13.00 Uhr statt und kann mit 42 Teilnehmern als Erfolg betrachtet werden, zumal Vertreter und Stakeholder aus allen Bereichen (Wirtschaft, Techniker, Installateure, Ingenieure, Consulter und Wissenschaftler) vor Ort waren. Der Workshop verfolgte die Zielsetzung, die Bedeutung des Jahresnutzungsgrades von BMKF zu vermitteln und wesentliche Einflussparameter sowie die großen möglichen Verbesserungspotenziale deutlich zu machen. GUNTAMATIC referierte über die Bedeutung von Modulationsfähigkeit und Wärmespeicherung auf Nutzungsgrad und Jahresemissionen bei Biomasse-Kleinanlagen, IPPT präsentierte TRNSYS als Werkzeug zur Identifizierung und Definition von Maßnahmen zur Optimierung des Jahresnutzungsgrades von Biomassekleinfeuerungsanlagen, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH stellte konkrete Möglichkeiten zur Nutzungsgradoptimierung von Biomassekleinfeuerungsanlagen und damit verbundenen Heizungssystemen vor und der ÖBMV gab einen generellen Überblick über das Thema Wärme aus Holz, wobei der aktuelle Status Quo und die Potentiale bis 2020 diskutiert wurden. Beim abschließenden Come-together wurden die Ergebnisse diskutiert und wichtige Anmerkungen bzgl. der weiteren Arbeiten aufgenommen.

2. Workshop im Rahmen der Energiesparmesse Wels 2015

Der Österreichische Biomasse-Verband hat anlässlich der Energiesparmesse Wels 2015 zum Workshop „Smart Residential Heat“ geladen. Termin war der 26. Februar 2015, von 14.00 bis 17.00 Uhr mit anschließendem Come-together, wo wichtige und interessante Inputs der Teilnehmer gesammelt wurden. Über 50 Besucher folgten der Einladung, in Präsentationen von Prof. Obernberger bzw. DI Supancic von BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH sowie Ing. Prok. Huemer von GUNTAMATIC wurden Schwachstellen hinsichtlich des Nutzungsgrades identifiziert. Empfehlungen zur Optimierung wurden erstmals vorgestellt und konnten abschließend diskutiert werden.

TeilnehmerInnen des Workshops waren Vertreter aus: Energieconsulting(9), Installateure(14), Kesselproduzenten(8), öffentlichen Stellen(9), sowie sonstigen TeilnehmernInnen (13).

Link zu den Workshop-Unterlagen: <http://www.biomasseverband.at/veranstaltungen-und-bildung/tagungen-und-vortraege/workshop-smart-residential-heat/>

Beiträge in der Zeitung „Ökoenergie“

In der Ökoenergie Nr. 96, Europas auflagenstärkster Zeitung für erneuerbare Energien wurde im August 2014 ein 3/4 seitiger Bericht zum Projekt publiziert.

Die Reichweite der Zeitung ist österreichweit mit einer Standardauflage von 100.000 Exemplaren. Die Ökoenergie erreicht mit 62% Brancheninteressierte und die breite Öffentlichkeit, 23% der Energiebranche sowie 8% an Hochschulen und Interessensvertretungen bzw. 7% aus Politik, Verwaltung und Medien. Alle Bürgermeister Österreichs, Gemeindegemeindefunktionäre, Bezirkshauptleute, Bezirks- und Landesreferenten, Sektionschefs sowie sonstige themenrelevante Entscheidungsträger in der öffentlichen Verwaltung und Beratung; Funktionäre unter anderem in der Land- und Wirtschaftskammer; die gesamte Medienbranche: Tagesjournalisten und Fachredakteure, PR-Agenturen und relevante Presse- und Marketing-Leiter erhalten die Ökoenergie ebenso wie die gesamte Wertschöpfungskette Bioenergie samt Land- und Forstwirtschaft sowie Holz verarbeitende Industrie. Das sind Pelletshersteller bis zu Holzkessel-Produzenten und Biomasse-Anlagenbetreiber, Entscheidungsträger in Energieunternehmen sowie im Biogas-, Biotreibstoff-, Wind- und Solarbereich und die Abfallwirtschaft, Architekten sowie Baumeister, den Brennstoff-Handel, Raiffeisenorganisationen, Anlagenbauer und alle Installateure Österreichs inklusive Biowärme-Partner. Eine Verbreitung in diesem Medium ist somit für die Ergebnisverbreitung ideal.

Ein weiterer Beitrag ist für die Ausgabe Nr. 99, einer speziellen Auflage, welche auch bei der 23. Europäischen Biomassekonferenz im Juni 2015 in Wien aufliegen wird, geplant. Inhalt dieses Beitrages wird ein Kurzüberblick zu den Endergebnissen des Projektes sein.

Veröffentlichung in der Fachzeitschrift „Euro Heat&Power“

Eine Veröffentlichung der wesentlichen Projektergebnisse wird in Heft 6 (Erscheinungstermin 01.06.2015) der Fachzeitschrift „Euro Heat&Power“ erfolgen.

5 Ausblick und Empfehlungen

Die im Projekt gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass der entwickelte Simulationscode für Biomassekesselsysteme auf Basis von TRNSYS ein geeignetes Werkzeug für die Simulation, sowie die Aus- und Bewertung von Jahresnutzungsgraden für BMKF-Systemen darstellt. Die Simulationsergebnisse sind in die Praxis effizient umsetzbar und konnten durch Testlaufergebnisse verifiziert werden. Bei stationären Bedingungen liegen die Abweichungen zwischen Testlaufdaten und Simulationsergebnissen $< \pm 0,5 \%$, bei instationären Bedingungen $< \pm 1\%$.

Kombinierte TRNSYS- und CFD-Simulationen stellen bei der Feuerungssystementwicklung eine zielgerichtete und zeitsparende Methode dar, um Jahresnutzungsgrade von Heizsystemen mit Biomassekesselanlagen zu ermitteln, Schwachstellen zu identifizieren und mögliche Optimierungsmaßnahmen zur Steigerung des Jahresnutzungsgrads zu bewerten und auszuwählen.

JNG von BMKF - Schwachstellen und Optimierungspotentiale

Der Jahresnutzungsgrad wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, die auch wesentlich von der Art der Heizungsanlage und der Anlagenverschaltung (Kessel im Stand-alone-Betrieb oder in Kombination mit einem Pufferspeicher/Lastausgleichsspeicher oder mit Pufferspeicher und Solaranlage) abhängen. Dennoch lassen sich die wesentlichen Schwachstellen in drei verschiedene Kategorien einteilen:

- Schwachstellen beim Kessel
 - Kesselauslegung (z.B. Rauchgasaustrittstemperatur aus dem Kessel, Betrieb bei zu hohem Luftüberschuss, thermische Masse des Kessels, Verluste an die Umgebung bei Betrieb und Stillstand)
 - Feuerungsregelung (z.B. O₂-Gehalt im Rauchgas bei Voll- und Teillast, Modulationsbereich, Startleistung, Anfahrkurve, Kesselvorlauftemperatur, etc.)
- Schwachstellen bei der Anlagenregelung
 - Freischalt- und Abschaltbedingungen für Kessel und Solaranlage/ Puffermanagement
 - Rücklauftemperaturen der Verbraucher
- Schwachstellen bei der Anlagendimensionierung und Ausführung
 - Dimensionierung von Kessel, Pufferspeicher und Solaranlage
 - Dämmung von Rohrleitungen und Pufferspeicher

Aus den oben genannten Ergebnissen lassen sich Optimierungsmaßnahmen ableiten, die im Folgenden nochmals exemplarisch für Heizsysteme mit Pelletkessel zusammengefasst werden.

In Abbildung 13 sind Optimierungspotenziale für den Kessel und die Gesamtanlage am Beispiel einer Anlage mit Solaranlage, Pufferspeicher und Pelletkessel dargestellt. Dabei wird zwischen den beiden Fällen Bestandsanlagen und Neuanlagen unterschieden. Bei Bestandsanlagen (ohne Kesseltausch) bestehen gegenüber Neuanlagen bzw. gegenüber dem Kesseltausch bei Altanlagen (Sanierung) deutlich eingeschränkte Möglichkeiten zur JNG-Steigerung, während bei Neuanlagen alle Optimierungsmaßnahmen (hinsichtlich Kesseldesign, Anlagen-Auslegung und -Regelung) möglich sind. Folgende Optimierungspotentiale bestehen für Bestands- bzw. Neuanlagen (bei Heizsystemen mit Pelletkesseln):

- Optimierungspotentiale für Bestands- und Neuanlagen
 - Optimierung der Anlagenregelung – JNG-Steigerung für den Kessel und die Gesamtanlage um bis zu etwa 1,5 %-Punkte
 - Optimierte Anlagendämmung - JNG-Steigerung für die Gesamtanlage um bis zu etwa 10 %-Punkte
- Zusätzliche Optimierungspotentiale bei Neuanlagen
 - Optimiertes Kesseldesign - JNG-Steigerung für den Kessel und die Gesamtanlage um bis zu etwa 6 %-Punkte
 - Optimierte Anlagendimensionierung - JNG-Steigerung für den Kessel und die Gesamtanlage um bis zu etwa 4,5 %-Punkte
- Weitere Möglichkeiten zur Steigerung des Jahresnutzungsgrades bestehen in der Integration des Kessels in den Pufferspeicher und der Integration einer Rauchgaskondensationsanlage. Für Pellet- und Hackgutkessel sind entsprechende Anlagen am Markt verfügbar. Durch die deutliche Absenkung der Rauchgastemperatur sowie der Nutzung der bei der Kondensation freiwerdenden latenten Wärme kann der Jahresnutzungsgrad deutlich gesteigert werden (bis zu 9%-Punkte bei Pelletkesseln und bis zu 14%-Punkte bei Hackgutkesseln). Bei Scheitholzkesseleln ist die Integration einer Rauchgaskondensationsanlage aufgrund des Batchbetriebs nicht möglich.

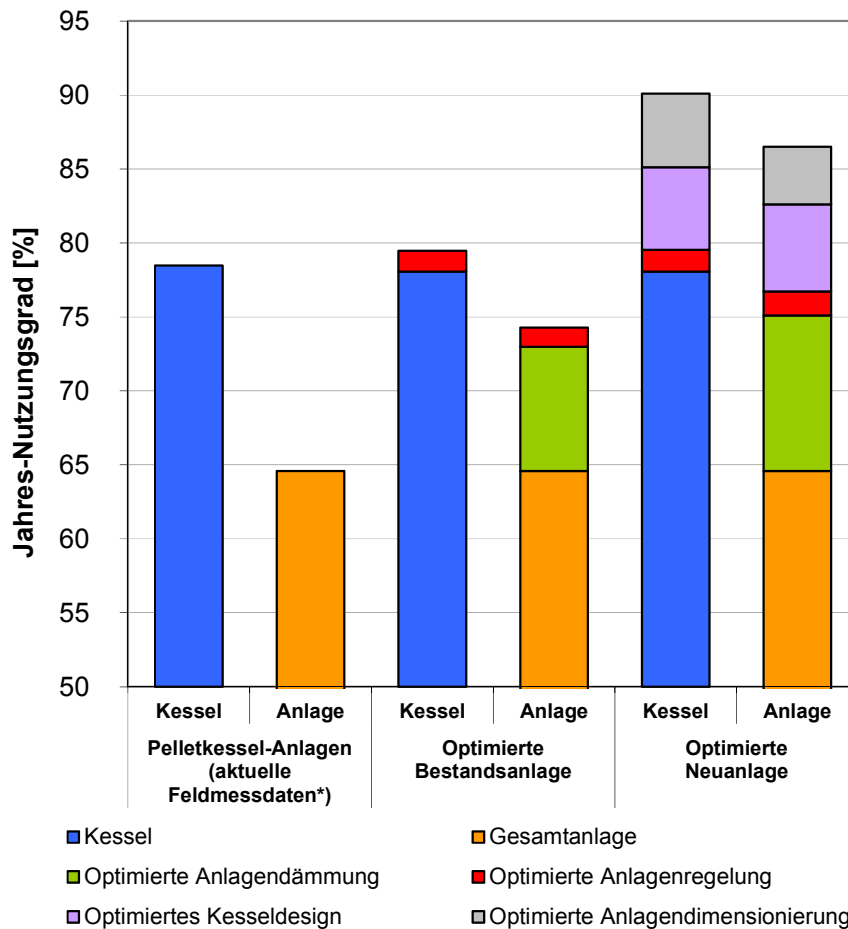


Abbildung 13: Optimierungspotentiale für Kessel und Gesamtanlage für Bestands- und Neuanlagen gegenüber Feldmessdaten am Beispiel von Heizsystemen mit Pelletkesseln

Erläuterungen: * Feldmessdaten laut [1]

Zusammenfassend zeigen die Projektergebnisse ein generelles Verbesserungspotential für die Jahresnutzungsgrade von Heizsystemen mit BMKF gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik (JNG-Steigerungspotential ausgehend von aktuellen Feldmessdaten bei Heizsystemen mit Pelletkesseln insgesamt bis zu ca. 22 %-Punkte für den JNG der Gesamtanlage). Die höchsten erzielbaren Jahresnutzungsgrade weisen optimierte Pelletkesselanlagen auf, welche mit bis zu 90% JNG des Kessels (ohne Integration einer Rauchgaskondensation) bereits in vergleichbarer Höhe zu den am Prüfstand gemessenen Wirkungsgraden liegen. Laut den Ergebnissen der mit TRNSYS durchgeführten Jahressimulationen haben darüber hinaus Feuerungssysteme mit hoher Modulationsfähigkeit große Vorteile hinsichtlich der Optimierung des Jahresnutzungsgrades des Kessels und in weiterer Folge der Gesamtanlage.

Die im Projekt erarbeiteten Empfehlungen zur JNG-Steigerung von BMKF dienen als Hilfestellung zur Ausschöpfung dieses Potentials und können von den wesentlichen Vertretern innerhalb der Branche (Kesselhersteller und Installateure) genutzt werden.

Wahl der Anlagenschaltung

Die Ergebnisse nach unterschiedlichen Bewertungskriterien (hinsichtlich JNG, Wirtschaftlichkeit, Ressourcenverbrauch und Emissionen - siehe Erläuterungen zu AP7 in Kapitel 4) zeigen, dass es keine

Anlagenvariante gibt, die nach allen Kriterien zu empfehlen wäre. Vielmehr weist jede Variante Stärken und Schwächen auf, die nachfolgend zusammengefasst sind:

Variante mit Solaranlage und Pufferspeicher:

- + Schonung von nachwachsenden Ressourcen
- + Geringe Emissionen
- Erhöhte Wärmegestehungskosten

Variante mit Pufferspeicher/Lastausgleichsspeicher:

- + Pufferspeicher notwendig bei Feuerungsanlagen mit kleinem Modulationsbereich (Scheitholzkessel oder schlecht modulierende Pellet- und Hackgutkessel)
- Höhere Wärmegestehungskosten als Anlagen mit Warmwasserspeicher
- Höhere Emissionen als Anlagen mit Solarkollektoren

Variante mit Warmwasserspeicher (nur bei Pellet- und Hackgutkesseln):

- + Geringe Wärmegestehungskosten
- Vergleichsweise hohe Emissionen
- Vergleichsweise hoher Ressourcenverbrauch

Variante mit Elektroboiler (nur bei Pellet- und Hackgutkesseln):

- + Höchster Jahresnutzungsgrad der Gesamtanlage
- + Geringer Gesamtenergieverbrauch
- Höhere Wärmegestehungskosten als Anlagen mit Pufferspeicher/Lastausgleichsspeicher
- Höhere Emissionen als Anlagen mit Solarkollektoren
- Erhöhter Ressourcenverbrauch (Stromerzeugung)

Welche Anlagenverschaltung letztendlich gewählt werden sollte, hängt stark von der Bewertung des Gesamtsystems aus den verschiedenen Gesichtspunkten hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Ressourcenverbrauch und Emissionen ab. Je nach Gewichtung der verschiedenen Vor- und Nachteile ergeben sich somit unterschiedliche Empfehlungen für die optimale Anlagenverschaltung.

Verwertung der Projektergebnisse

GUNTAMATIC wird die neue im Rahmen des Projektes entwickelte und optimierte Anlagentechnik schrittweise in den Markt einführen. Ziel von GUNTAMATIC ist es, nach Abschluss des Projektes 2015 Feldtests mit der nutzungsgradoptimierten Pelletkesseltechnologie bei ausgewählten Kunden durchzuführen und 2016/2017 mit der Markteinführung des neuen Produktes zu beginnen.

Darüber hinaus sind in diesem Zusammenhang die im Projekt von BIOS und IPPT erarbeiteten bzw. weiterentwickelten und validierten CFD- (BIOS) und TRNSYS-Berechnungsprogramme (BIOS und IPPT) zu erwähnen, welche für zukünftige Entwicklungen JNG-optimierter Systeme zur Verfügung stehen und auch entsprechend genutzt werden sollen.

Die Simulationen konnten zeigen, dass es möglich ist, einen Pelletkessel zu entwickeln, der zwischen 25 und 100% Last kontinuierlich modulieren kann (bei fast vollständigem Ausbrand und konstant niedrigem Luftüberschuss – d.h. bei niedrigen Rauchgasverlusten und gleichzeitig sehr niedrigen zu erwartenden Emissionen). Zukünftig noch genauer zu prüfende und zu entwickelnde Komponenten zur JNG-Steigerung von Biomassefeuerungen sind Rauchgaskondensatoren und eventuell direkt in den Kessel integrierte Warmwasserspeicher. Diesbezüglich ist Entwicklungspotential bezüglich intelligenten Lösungen und effizienten Konzeptansätzen gegeben, die nochmals JNG-Steigerungen um 10 bis 15 %-

Punkte bringen können. Wichtig dabei ist es, dass diese neuen Systemlösungen auch wirtschaftlich attraktiv sein und somit kostengünstige Lösungen darstellen müssen.

BIOS wird die im Rahmen des Projektes entwickelten und validierten Simulationsrechnungen zur Optimierung des Jahresnutzungsgrades in Zukunft für andere Hersteller von Biomassekleinkesselanlagen anbieten. Das IPPT will die Ergebnisse für weiterführende wissenschaftliche Arbeiten und zukünftige Projektbeteiligungen nutzen (Know-How-Vorsprung, der die Attraktivität als Forschungs- und Entwicklungspartner erhöht).

6 Literaturverzeichnis

- [1] SCHRAUBE C. et al, 2011: Small pellet boilers – Investigation of efficiencies from field measurements. Proceedings der 3. Mitteleuropäischen Biomassekonferenz 2011, Graz, Austria
- [2] KUNDE R. et al, 2009: Felduntersuchungen an Holzpellet-Zentralheizkesseln. BWK, Bd. 61 (2009), Nr. 1/2
- [3] SUPANCIC K., OBERNBERGER I. et al: Identification and evaluation of optimization measures to increase the annual utilization rate of residential biomass heating systems, Proceedings of the 4th Central European Biomass Conference, 2014, Graz
- [4] HECKMANN M., 2010: Leitfaden zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und Jahresnormemissionsfaktoren am Prüfstand. Bioenergy2020+ GmbH, Wieselburg
- [5] ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK, 2011: OIB-Richtlinie 6 – Einsparung und Wärmeschutz, Ausgabe Oktober 2011. Wien, Österreich

7 Kontaktdaten

Dipl.-Ing. Klaus Supancic

BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH
Inffeldgasse 21b, 8010 Graz, Austria
Tel.: +43 (316) 481300-17
Fax: +43 (316) 481300-4
E-Mail: supancic@bios-bioenergy.at
Webpage: www.bios-bioenergy.at

Prof. Univ.-Doz., Dipl.-Ing. Dr. techn. Ingwald Obernberger

Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz, Austria
Tel.: +43 (316) 481300
Fax: +43 (316) 481300-4
E-Mail: ingwald.obernberger@tugraz.at
Webpage: ippt.tugraz.at

Dipl.-Ing. Stefan Friedl

GUNTAMATIC Heiztechnik GmbH
Bruck 7, 4722 Peuerbach, Austria
Tel.: +43 (7276) 2441-0
Fax: +43 (7276) 3031
E-Mail: friedl@guntamatic.com
Webpage: www.guntamatic.com

Dr. Christoph Rosenberger

Österreichischer Biomasse-Verband
Franz Josefs-Kai 13, 1010 Wien, Austria
Tel.: +43 (1) 533 07 97-25
Fax: +43 (1) 533 07 97-90
E-Mail: rosenberger@biomasseverband.at
Webpage: www.biomasseverband.at

IMPRESSUM

Verfasser

BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH
Inffeldgasse 21b, 8010 Graz, Austria
Tel.: +43 (316) 481300-17
Fax: +43 (316) 481300-4
E-Mail: supancic@bios-bioenergy.at
Web: www.bios-bioenergy.at

Projektpartner und AutorInnen

Ingwald Obernberger - BIOS
BIOENERGIESYSTEME GmbH (BIOS);
Technische Universität Graz, Institut für
Prozess- und Partikeltechnik (IPPT)
Klaus Supancic - BIOS
Christian Ramerstorfer - BIOS
Stefan Friedl - GUNTAMATIC Heiztechnik
GmbH (GUNTAMATIC)
Christoph Rosenberger - Österreichischer
Biomasseverband (ÖBMV)

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch
die Forschungsförderungsgesellschaft
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier
enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH