



Abschlussbericht 27. Juli 2011

SimPel

Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgraden von Biomasse- Kleinfeuerungen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Biomasse und Holzenergie
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

SPF Institut für Solartechnik
Oberseestrasse 10
CH-8640 Rapperswil
www.solarenergy.ch

Autoren:

Lars Konersmann, SPF Institut für Solartechnik, lars.konersmann@solarenergy.ch
Robert Haberl, SPF Institut für Solartechnik, robert.haberl@solarenergy.ch
Dr. Elimar Frank, SPF Institut für Solartechnik, elimar.frank@solarenergy.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Programmleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153675 / 102864

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Executive Summary	5
1 Ausgangslage	6
1.1. Definition des Jahresnutzungsgrades	6
1.2. Standard-Kesselprüfung	7
1.3. Der Concise Cycle Test – Eine dynamische Prüfmethode für komplette Heizsysteme	7
1.4. Der ISEB-Ansatz zur Prüfung von Pelletkesseln	8
2 Zielsetzung	10
3 Methodik	10
3.1. Genereller Ansatz des Kesselmodells	11
3.2. Messungen zur Parametrisierung des Kesselmodells	12
3.3. Jahressimulationen von Systemvarianten	13
3.4. Kenndaten der betrachteten Heizgeräte	15
4 Resultate	16
4.1. SimPel-Verfahren für „Standard“-System	16
4.2. JNG-Resultate von SimPel und ISEB im Vergleich	18
4.3. Simulation von Systemvarianten	20
4.3.1. Einflussfaktoren auf den Jahresnutzungsgrad	21
4.3.2. Zuteilung und Quantifizierung der Verluste im Heizsystem	25
5 Diskussion	27
5.1. Durchführung der SimPel-Methode	27
5.2. Generelle Gegenüberstellung der Methoden von ISEB und SimPel	29
5.3. Diskussion der Simulationsergebnisse Systemvarianten	30
5.4. Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit Langzeit-Feldmessungen	30
6 Schlussfolgerungen und Ausblick	32
Literaturverzeichnis	33
ANHANG Datentabelle (Heizgerät-1)	34
ANHANG Datentabelle (Heizgerät-2)	35
ANHANG Legende zu Datentabellen	36

Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt SimPel hat zum Ziel, eine genaue, aber möglichst einfach anwendbare Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgraden (JNG) von Biomasse-Kleinfeuerungen zu entwickeln. Der JNG ist in Ergänzung zum Wirkungsgrad ein wichtiger Indikator für die Qualität und Funktionalität eines Heizgerätes. Bisher wird in der gängigen Prüfnorm für die Zulassung von Biomasseheizgeräten nur der Wirkungsgrad bei stationärer Last (100% und 30%) gemessen. Dieser wieder spiegelt oftmals nicht die Situation im Praxisbetrieb mit einem dynamischen Lastprofil. Das vorliegende Projekt wurde in einer Kooperation mit dem österreichischen Partner Bioenergy2020+ durchgeführt. Der Kooperationspartner entwickelte dabei einen eigenen, grundsätzlich andersartigen Ansatz zur Bestimmung des JNG, der mit der am SPF entwickelten Methode verglichen wurde. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es aufgrund der gesammelten Erkenntnisse möglich ist, mit vertretbarem Aufwand den JNG eines Pelletheizgerätes zuverlässig zu bestimmen. Beide Ansätze sind soweit entwickelt, dass diese direkt für die Bestimmung des JNG's eingesetzt werden können. Beide Methoden verfügen über spezifische Vor- und Nachteile, dementsprechend ist eine zukünftige Kombination in ein einzelnes Instrument zu prüfen. Die SimPel-Methode erlaubt es insbesondere, den Jahresnutzungsgrad in Abhängigkeit verschiedener Systemrandbedingungen zu ermitteln. Im Rahmen zukünftiger Forschungsaktivitäten müssen beide Methoden noch breiter validiert werden, idealerweise mit Jahresnutzungsgradmessungen aus der Praxis. Die beiden JNG-Bestimmungsmethoden könnten einerseits bei der Prüfnorm EN-303-5 für die Zulassung von Pelletheizgeräten oder bei den Umsetzungsmaßnahmen der EU-Ökodesign-Direktive für Festbrennstofffeuerungen zukünftig zur Anwendung kommen. Weiter eignet sich die SimPel-Methode auch für die Entwicklung und Optimierung von Heizgeräten für Hersteller, welche den Pelletkessel als integralen Bestandteil des Heizsystems verstehen.

Abstract

The goal of the project SimPel was to develop a precise method to determine the energy utilization ratio of a pellet fired boiler that is easy to apply. The energy utilization ratio is the ratio of the energy delivered to the energy fed. This is in contrast to the efficiency of the boiler which is the ratio of output and input in a stationary operation condition. The efficiency is measured according to EN 303-5 test standard for accreditation of devices at nominal load and part load. Since under real conditions usually there is rarely steady state operation at nominal/part load, it is important to have a method that is able to assess the boilers performance under realistic dynamic conditions.

The approach that is called SimPel is based on annual simulations with a simulation model. The parameters for the simulation model are obtained with the help of data of the test for accreditation of devices EN 303-5 plus additional measurements that show its transient behaviour. The additional measurements were in this case performed by a cooperation partner (Bioenergy2020+). The resulting energy utilization ratio was compared to the result that the cooperation partner obtained with a different approach based on an 8 hours lasting measurement with a dynamic load and in addition with the energy utilization ratio that was determined in field tests. It was found that the results of both approaches showed a good match with the data of field tests. To illustrate the possibilities of the SimPel approach, annual simulations were performed in which the pellet boiler was embedded in different heating systems. The SimPel method allows thus to deduce recommendations for the optimized use of biomass boilers giving answers to questions like when the integration of a buffer storage into the pellet heating system is advisable or how the part-load capability affects the overall system efficiency.

Executive Summary

Das vorliegende Projekt SimPel hat zum Ziel, eine genaue, aber dennoch möglichst einfach anwendbare Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgraden von Biomasse-Kleinfeuerungen zu entwickeln. Der Jahresnutzungsgrad¹ (JNG) steht dem Wirkungsgrad gegenüber, welcher gemäss EN-Prüfnorm 303-5 zur Gerätezulassung bei Nennlast und bei 30% Teillast gemessen wird [1]. Feldmessungen haben gezeigt, dass sich der Jahresnutzungsgrad eines Heizgerätes in der Regel deutlich vom Wirkungsgrad unterscheidet. Der Jahresnutzungsgrad ist dementsprechend in Ergänzung zum Wirkungsgrad ein wichtiger Indikator für die Qualität und Funktionalität eines Heizgerätes im quasi-realen Betrieb.

Vor diesem Hintergrund haben die Kooperationspartner Bioenergy2020+ und das SPF zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung von Jahresnutzungsgraden entwickelt. Die Methode von Bioenergy2020+ namens „ISEB“ basiert auf einer achtstündigen Messung mit einem dynamischen Lastprofil, die auf einen zu erwartenden Jahreswirkungsgrad hochgerechnet wird. Die Methode des SPF namens „SimPel“ basiert auf einer Jahressimulation, welche direkt durch die Zulassungsprüfung nach EN-303-5 parametrisiert werden kann. Im vorliegenden Projektbericht werden die beiden Methoden und ihre Vor- und Nachteile genauer beschrieben. Die Ergebnisse beider Methoden wurden sowohl untereinander wie auch mit Langzeitfeldmessungen verglichen. Dabei konnte grundsätzlich eine gute Übereinstimmung gefunden werden. Die Jahresnutzungsgrade für Pelletheizgeräte, welche mit den beiden unterschiedlichen Methoden ermittelten bzw. im Rahmen der Feldmessungen bestimmt wurde, liegen bei rund 75%, bezogen auf den (unteren) Heizwert. Ein Wert von bis zu 85% scheint aber für gute Pelletheizgeräte erreichbar.

Weiter wurde wie schon in den vorausgegangenen Projekten PelletSolar-1 und -2 [13][14] festgestellt, dass die eigens gemessenen Werte von Pelletsheizgeräten stark von den Werten abweichen, welche in den Zulassungsprüfberichten gemäss EN-303-5 ausgewiesen werden. Aus Sicht des Endkonsumenten wie auch für die Branche scheint es ratsam, dass die Vorgaben für die Normprüfung so angepasst werden, dass die in der Praxis erreichten Werte mit den Messungen der Zulassungsprüfung besser übereinstimmen. Dies bildet die Voraussetzung dafür, dass eine Erweiterung der Normprüfung mit der JNG-Bestimmung überhaupt einen Zusatznutzen für Endkonsumenten und Hersteller bringt (vgl. Kapitel 1.2 und 5.1).

Die Möglichkeiten der hier vorgestellten SimPel-Methode gehen weit über die Bestimmung eines einzelnen JNG-Wertes hinaus. Zur Illustration der Möglichkeiten wurden Jahressimulationen durchgeführt, bei welchen der Pelletkessel in verschiedene Heizsysteme eingebunden wird (vgl. Kapitel 4.3.1). Die SimPel-Methode ermöglicht somit die Ableitung von Empfehlungen des optimierten Einsatzes von Biomasseheizgeräten innerhalb des Heizsystems. Mit der SimPel-Methode können vermeintlich einfache, aber bei integraler Betrachtung meist doch sehr komplexe Fragestellungen untersucht werden wie beispielsweise die folgenden: „wann ist ein Pufferspeicher in Verbindung mit einem Pelletkessel angebracht?“ oder „was bringt es, wenn mein Pelletheizgerät modulieren kann?“. Somit lässt sich die SimPel-Methode auch für die Entwicklung und Optimierung von Heizgeräten aber auch für die Herleitung von allgemeinen Empfehlungen einsetzen.

Die bisher gesammelten Erkenntnisse zeigen, dass mit geringem Zusatzaufwand der JNG eines Pelletheizgerätes zuverlässig bestimmt werden kann. Im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten müssen die hier vorgestellten Methoden mit einer breiteren Datenbasis validiert werden, idealerweise anhand den bestehenden Feldmessungen von Pelletkessel-Jahresnutzungsgraden.

Der JNG bildet für Endkonsumenten wie auch für Hersteller (z.B. zur Abgrenzung gegenüber anderen Produkten) einen wichtigen Indikator zur Beurteilung von Heizgeräten. Dementsprechend sollten die Möglichkeiten für eine Integration von Methoden zur JNG-Bestimmung in gängige Prüfnormen genauer geprüft werden. Neben der potentiellen Integration in die Prüfnorm EN-303-5 für Pelletheizgeräte ist die Einbindung in die Umsetzungsmassnahmen der EU-Ökodesign-Direktive für Festbrennstofffeuerungen eine interessante Option.

¹ Der Jahresnutzungsgrad einer Energieanlage setzt die in einer bestimmten Zeit (hier ein Jahr) nutzbar gemachte Energie zur zugeführten Energie ins Verhältnis. Im betrachteten Zeitraum können Pausen-, Leerlauf-, Anfahr- und Abfahrzeiten enthalten sein. Definition gemäss Formel 2.

1 Ausgangslage

Bei der Wahl einer Pelletheizung sind die Kunden auf die Ergebnisse von Kesselprüfungen angewiesen, die für Laien verständliche und vergleichbare Ergebnisse liefern. Der am einfachsten vergleichbare und zu jedem Gerät aufgrund der geltenden Prüfnormen bekannte Wert ist der Wirkungsgrad des Kessels. Dieser wird im stationären Betrieb ermittelt. Die Aussagekraft des Wirkungsgrades ist allerdings beschränkt, da im Realbetrieb zumeist instationäre Betriebszustände auftreten und die durchschnittliche Wärmeabgabe meist weit unter der Nennlast der Kessel liegt. Desweiteren hängt das effiziente Funktionieren stark von der Auslegung, der Installation und der Regelung der Komponenten sowie der Hydraulik ab. Die Prüfung von Pelletheizgeräten, die diesen Sachverhalt berücksichtigt und für den Endkunden nützliche und vergleichbare Ergebnisse liefert, ist jedoch deutlich komplexer als die bisherigen Tests.

Der Anstoss für das vorliegende Projekt entstand durch die Anfrage seitens des Kooperationspartners. Das SPF wurde kontaktiert, da es mit dem Concise Cycle Test bereits ein Verfahren entwickelt hatte, welches die Bestimmung von Jahresnutzungsgraden von gesamten Heizsystemen ermöglicht. Es stand somit ein genaues, aber komplexes Verfahren zur Verfügung, mit dem einerseits vereinfachte methodische Ansätze validiert und andererseits auch die für eine genaue Bestimmung des JNG kritischen Aspekte identifiziert werden können. Zum Hintergrund werden im Folgenden drei Ansätze näher beschrieben, welche in Zusammenhang mit der Prüfung von Heizkesseln im weiteren Sinne stehen:

- Die Norm-Kesselprüfung nach EN-303-5 für Biomasseheizgeräte.
- Der Concise Cycle Test (CCT) zur Bestimmung von Systemnutzungsgraden von Heizsystemen, entwickelt vom SPF.
- Der ISEB-Ansatz zur JNG-Bestimmungsmethode des Kooperationspartners.

1.1. Definition des Jahresnutzungsgrades

Der Wirkungsgrad eines Pelletkessels η_K beschreibt das Verhältnis von abgegebener Leistung zu zugeführter Leistung. Dieser Wert kann im stationären Betriebszustand durch die Messung der durchschnittlichen Brennstoffleistung (zugeführte Leistung) sowie der wasserseitigen Energiebilanz (abgegebene Leistung) nach der Formel 1 bestimmt werden:

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_{\text{wat}}}{\dot{Q}_{\text{pellet}}} \quad \text{Formel 1}$$

\dot{Q}_{wat}	Wasserseitig bilanzierte Wärmeleistung des Kessels.	[kW]
\dot{Q}_{pellet}	Verbrennungsleistung, gerechnet mit dem unteren Heizwert des Brennstoffs.	[kW]

Ein solcher stationärer Betrieb ist im Realbetrieb allerdings nur möglich, wenn die Feuerung genau die Leistung, die auf der Abnehmerseite gefordert ist, liefern kann. Dies ist nur zwischen der Nennleistung und der kleinsten stationären Teillast des Kessels (meist 30 – 50 % der Nennlast) möglich. Wenn die abgenommene Leistung kleiner ist als die kleinste stationäre Leistung des Kessels, muss der Kessel abschalten nachdem er eine bestimmte Temperatur (meist die vorgegebene Solltemperatur plus einer Hysterese) überschritten hat. Der Kessel kühlt in dieser Phase aus und startet erst wieder nach dem Unterschreiten einer bestimmten Temperatur. Es resultiert also ein instationärer Betrieb.

Um die Effizienz eines Kessels in diesem dynamischen Betrieb zu bestimmen, müsste in jedem Betriebszustand ein Wirkungsgrad bestimmt und daraus der Mittelwert gebildet werden. Dieser durchschnittliche Wirkungsgrad entspricht dem Nutzungsgrad des Gerätes. Dieser kann auch gebildet werden, indem die über einen bestimmten Zeitraum zugeführte Energie zur erreichten nutzbar gemachten Energie ins Verhältnis gesetzt wird. Meist wird dazu als Zeitraum ein Jahr gewählt, so dass der Jahresnutzungsgrad des Kessels JNG_K resultiert:

$$JNG_K = \frac{Q_{\text{wat}}}{Q_{\text{pellet}}} \quad \text{Formel 2}$$

Q_{wat}	Wasserseitig bilanzierte Wärmemenge.	[kWh]
Q_{pellet}	Brennstoff-Energieeintrag, bezogen auf den unteren Heizwert des Brennstoffs	[kWh]

Abhängig von der gewählten Bilanzgrenze kann der Nutzungsgrad auch für das gesamte System bestimmt werden:

$$\text{JNG}_S = \frac{Q_{\text{Heiz}} + Q_{\text{WW}}}{Q_{\text{Pellet}} + E_{\text{el}}} \quad \text{Formel 3}$$

Q_{Heiz}	Bezogene Nutzwärme für die Raumheizung.	[kWh]
Q_{WW}	Bezogene Nutzwärme für die Warmwasserbereitung.	[kWh]
E_{el}	Elektrische Energie.	[kWh]

1.2. Standard-Kesselprüfung

Pelletkessel werden hinsichtlich ihrer Zulassung auf dem Markt nach der Normprüfung EN-303-5 [1] getestet. Bei dieser Art der Prüfung wird in der Regel der Wirkungsgrad bei 100% und 30% der Nennleistung gemessen. Die auf diese Art gemessenen Wirkungsgrade können zwar zum direkten Vergleich von Produkten bei diesen Betriebsbedingungen verwendet werden, aber sie haben darüber hinaus eine beschränkte Aussagekraft, da der Kessel in der Praxis eine dynamische Last decken muss und meist nicht lange im stationären Dauerbetrieb durchläuft.

Bei der Kesselprüfung nach EN-303-5 haben die Hersteller die Möglichkeit, einen manuellen Eingriff zwischen den beiden Messungen (100%- und 30%-Lastmessung) zu tätigen, wie z.B. den Luftüberschuss bei der 30%-Lastmessung neu einzustellen. Weiter werden die zu prüfenden Geräte vom Hersteller geliefert und nicht zufällig vom Testinstitut in der Produktionshalle ausgewählt. Dies kann dazu führen, dass die im Test gemessenen Resultate stark von den Praxiswerten abweichen (vgl. hierzu auch Kapitel 5.1). In der solarthermischen Industrie wurde vor diesem Hintergrund das europäische Zertifizierungsverfahren „Solar Keymark“ entwickelt, bei welchem der Prüfling vom Prüfinstitut nach dem Zufallsprinzip aus der Lagerhalle aus einer grösseren Gesamtmenge entnommen wird.

Vor diesem Hintergrund scheint wichtig, dass über die Ergebnisse des hier dokumentierten Projektes hinaus die Testmethoden für Pelletkessel überdacht und ergänzt werden. Die geschilderte Problematik besteht auch bei der Prüfung von Öl- und Gasheizgeräten.

1.3. Der Concise Cycle Test – Eine dynamische Prüfmethode für komplette Heizsysteme

Um ein Heizsystem hinsichtlich des Nutzungsgrades und deren Funktionalität bewerten zu können muss die Anlage im dynamischen Systembetrieb untersucht werden. Um den hohen messtechnischen Aufwand eines Feldtests und dessen Dauer von mehr als einem Jahr zu umgehen, wurde am SPF eine Prüfmethode namens „Concise Cycle Test“ (CCT) entwickelt [2]. Kern der CCT-Prüfmethode bildet eine 12-tägige Messung des Gesamtsystems im dynamischen Betrieb. Dazu wird das Heizsystem mit Ausnahme der Solarkollektoren auf dem Prüfstand installiert (vgl. Abbildung 1). Die Hardware des Prüfstands emuliert sowohl die Last eines Einfamilienhauses für Raumheizung und Warmwasser als auch die Temperaturen der Sonnenkollektoren entsprechend einer parallel zum Test durchgeführten TRNSYS-Simulation. Die dem Test zugrunde liegenden Klimadaten entsprechen einem durchschnittlichen Jahr im schweizerischen Mittelland, wobei vereinfacht ausgedrückt jeder Tag den Randbedingungen von Aussentemperatur, solarer Einstrahlung etc. eines Monats entspricht. Das geprüfte Heizsystem muss während der Prüfdauer wie im realen Betrieb ohne Eingriffe von aussen funktionieren, um die Last aus Heizung und Warmwasserbereitung gemäss den gestellten Anforderungen zu decken.

Anhand des 12-Tages Tests können die Funktionalität des Systems geprüft sowie eine detaillierte Bewertung des Betriebsverhaltens ermittelt werden. Eine direkte Skalierung der Messergebnisse zu Jahreskennwerten (mit dem Faktor 365/12) liefert jedoch aus folgenden Gründen nur sehr unpräzise Resultate:

- Der 12-Tägige Testzyklus verkürzt die saisonalen Fluktuationen und erhöht somit den Effekt der Speicherwirkung des Wasserspeichers und vor allem der thermischen Masse des Gebäudes. Dies führt zu einer Überbewertung des Solarertrages und somit zu einem geringeren Nachheizbedarf [2].

- Während des Tests ist der kumulierte Energiebedarf zur Raumheizung zwischen verschiedenen Systemen nicht identisch. Jedes der Systeme bestimmt nach eigenen Regelalgorithmen den nötigen Wärmebedarf des Gebäudes. Zu einem fairen Vergleich der Systeme untereinander muss der Energiebedarf des Gebäudes übereinstimmen.

Deswegen werden die jahresbasierten Kennwerte durch Simulationen ermittelt, wobei analog zur interaktiven Gebäudesimulation am Prüfstand das Simulationsprogramm TRNSYS [3] verwendet wird. Dafür wird ein Modell der Anlage im Simulationsprogramm aufgebaut und mit Hilfe der Messdaten validiert. Dieses Modell dient zur Berechnung der Kennwerte wie Jahresnutzungsgrad (JNG) von Pelletkessel und Gesamtsystem, Brennstoffverbrauch und solarem Deckungsgrad.

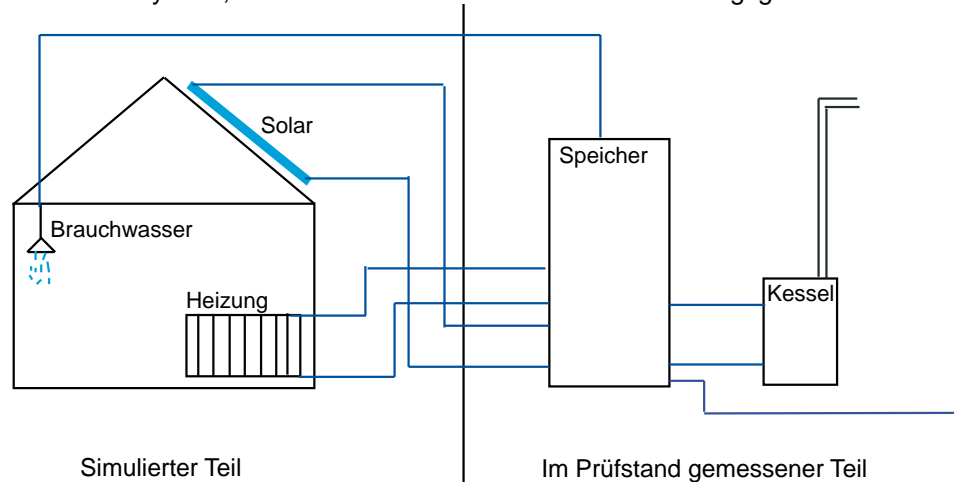


Abbildung 1: Konzept der Laborprüfung. Das Haus mit Heizverteilung (Fussbodenheizung) und die Kollektoren werden simuliert bzw. emuliert. Kessel und Speicher, sowie alle Regel- und Steuerungsgeräte sind installiert und werden gemessen.

Die Systemtests des SPF erlauben bereits eine zuverlässige Berechnung des Jahresnutzungsgrades, das angewandte Verfahren ist jedoch vergleichsweise zeit- und kostenintensiv und ist auf das Gesamtsystem ausgerichtet. Es ist daher für die serienmässige Bestimmung von Jahresnutzungsgraden von Pelletgeräten zu aufwändig. Es ist jedoch realistisch, basierend auf dem bestehenden Verfahren eine vereinfachte Methode zu entwickeln, die sich hinsichtlich des Aufwandes rechtfertigen lässt. Die beiden bisher erschienenen Publikationen des SPF im Bereich Biomasse (PelletSolar [13] und PelletSolar-2 [14]) basieren auf dem hier beschriebenen CCT-Test. Diese Veröffentlichungen gaben den Anstoss für die Kooperation mit Bioenergy2020+ zur Entwicklung einer Prüfmethode, welche auf das Biomasse-Heizgerät fokussiert.

1.4. Der ISEB-Ansatz zur Prüfung von Pelletkesseln

Im Rahmen eines laufenden österreichisch-deutschen Kooperationsprojekts unter Leitung des Bioenergy2020+ wurde eine Methode zur Bestimmung des JNG für Biomasse-Kleinf Feuerungen entwickelt. Das Projekt wurde in Kooperation von AEE Kärnten Salzburg, dem FJ-BLT Biomass-Logistics-Technology Francisco Josephinum und dem Technologie- und Förderzentrum Nachwachsende Rohstoffe (TFZ Straubing) durchgeführt [5].

Ziel der Entwicklung der ISEB-Methode ist es – analog zur hier vorgestellten SimPel-Methode – die Möglichkeit zu schaffen, den JNG mit verhältnismässig geringem Aufwand bestimmen zu können. Mit dem JNG soll gegenüber dem Endkunden transparent dargestellt werden, wie effizient ein Kessel gegenüber Konkurrenzprodukten im Verlauf eines gesamten Jahres mit allen in dem Zeitraum auftretenden Betriebsbedingungen arbeitet. Bei den Entwicklern der Methode (Kooperationspartner Bioenergy2020+) geht man davon aus, dass dies zu verstärkten Anreizen bei Kesselherstellern führt, die Produkte im Sinne der Funktionalität, der Effizienz und der Emissivität weiterzuentwickeln. Bioenergy2020+ konnte bei der Methodenentwicklung wichtige österreichische Hersteller von Pelletheizgeräten in das Projekt mit einbinden. Aus Sicht von Bioenergy2020+ zeigt die breite Partizipation der Hersteller, dass diese einer stärkeren Transparenz positiv gegenüber stehen – nicht zuletzt auch, um sich gegenüber qualitativ schlechteren Produkten abgrenzend positionieren zu können.

Zur Durchführung der ISEB-Methode genannten Bestimmung von Jahresnutzungsgraden wurde ein umfangreicher Leitfaden verfasst [4][6]. In Abbildung 2 wird der ISEB-Ansatz zur Bestimmung des JNG von Biomasseheizgeräten kurz schematisch beschrieben. Ein wichtiges Kriterium bei der Entwicklung der Methode unter der Einbindung von Herstellern bestand darin, dass der zusätzliche

Messaufwand (zur bestehenden Normprüfung EN-303-5) möglichst gering ausfallen sollte, damit die Kosten und der Aufwand für die Prüfung möglichst wenig ansteigen. Zentraler Bestandteil der ISEB-Methode ist ein achtstündiges Lastprofil, welches in Abbildung 3 dargestellt ist. Das Lastprofil wurde aufgrund von VDI-Referenzlastprofilen hergeleitet [7]. Das ISEB-Lastprofil startet mit der Nennlast des zu prüfenden Heizgerätes und beinhaltet mehrere Lastwechsel wie auch etwas längere stationäre Phasen im Teillastbereich. Für die Auswertung zur Bestimmung des JNG werden im Unterschied zur Normprüfung EN-303-5 auch die Aufheiz- und die mehrstündige Auskühlphase bilanziert.

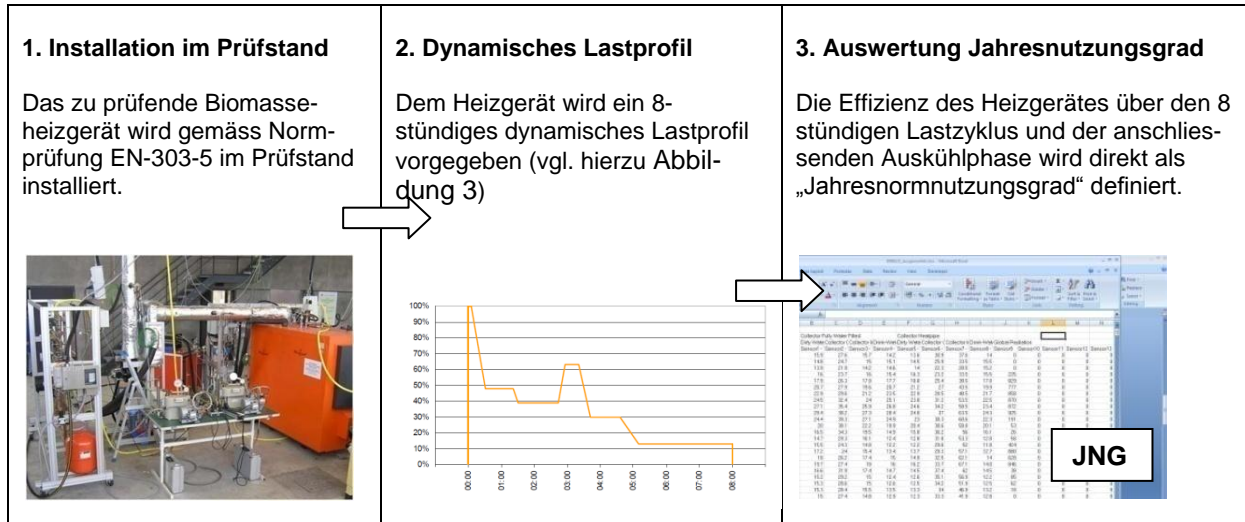


Abbildung 2: Vereinfachte schematische Darstellung der Methode des Kooperationspartners Bioenergy2020+ zur Bestimmung des Kesseljahresnutzungsgrades [4][7].

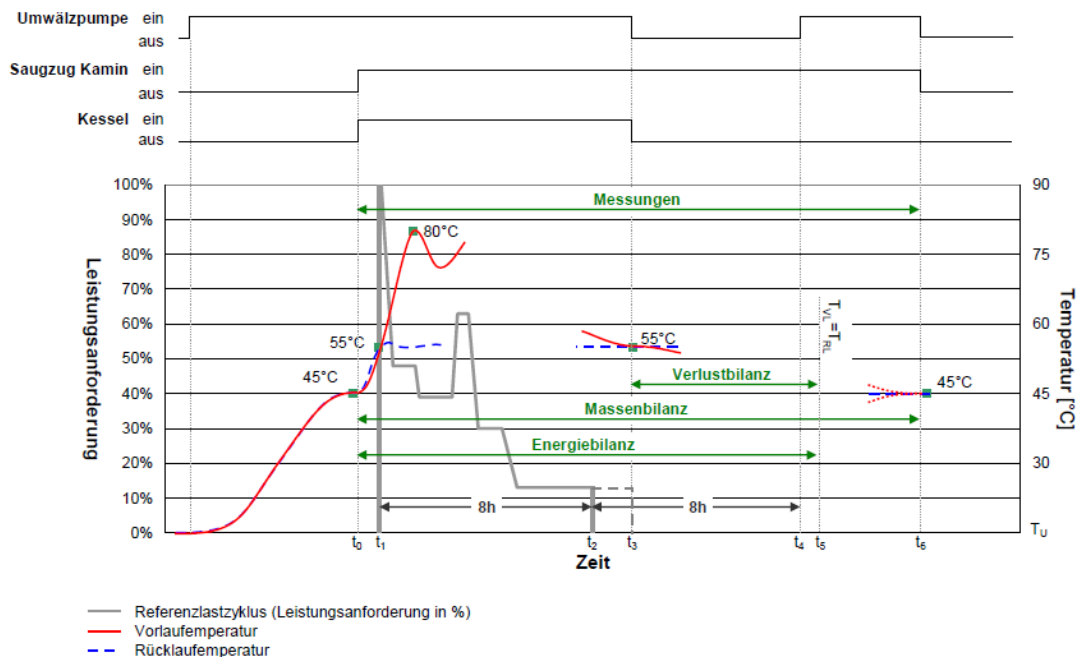


Abbildung 3: Ablaufschema für den Versuchsablauf bei Anwendung des Referenzlastzyklus zur Berechnung des Jahresnutzungsgrades nach der ISEB-Methode von Bioenergy2020+. Quelle der Abbildung: [5].

2 Zielsetzung

Ziel des vorliegenden Projektes „SimPel“ ist es, ausgehend von der CCT-Methode des SPF eine angepasste Methode zu entwickeln, welche es ermöglicht, den Jahresnutzungsgrad von Biomasseheizgeräten mit geringem finanziellen und zeitlichen Aufwand realitätsnah zu bestimmen. Hierbei ist zu prüfen, welche Unterschiede hinsichtlich des Aufwandes und der Genauigkeit gegenüber der ISEB-Methode bestehen. Übergeordnetes und langfristiges Ziel beider methodischer Ansätze ist es, dass der Jahresnutzungsgrad bei der Normprüfung für die Marktzulassung von Heizgeräten mitberücksichtigt wird. Dies setzt prinzipiell voraus, dass Methoden mit vertretbarem Aufwand zur Verfügung stehen, die aber gleichzeitig eine zufriedenstellende Genauigkeit und Belastbarkeit der Ergebnisse liefern. Durch die Einführung einer realitätsnahen Bestimmung des Jahresnutzungsgrades in die Prüfnorm erhalten die Hersteller verstärkt Anreize, ihre Biomasseheizgeräte für den realen Praxisbetrieb zu optimieren. Somit kann dazu beigetragen werden, die Qualität der in der Praxis installierten Geräte im Sinne des Konsumenten und der Branche selbst zu verbessern. Die Methode ermöglicht es den Herstellern zudem, sich besser von weniger guten Produkten zu differenzieren.

3 Methodik

Im Folgenden wird die Methodik des am SPF entwickelten SimPel-Verfahrens dargestellt. Die „SimPel“-Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgraden besteht aus den folgenden drei Hauptschritten:

- Schritt 1: Messung des Heizgerätes im Prüfstand zur Identifikation der Kesselparameter
- Schritt 2: Parametrisierung des Kesselmodells und Systemeinbindung
- Schritt 3: Durchführung der Jahressimulation

Die generelle Funktionsweise des Ansatzes sowie die einzelnen Schritte werden in den nachfolgenden Unterkapiteln näher beschrieben. In Abbildung 4 wird das Verfahren zur Übersicht schematisch dargestellt. In Kapitel 3.3 „Jahressimulationen von Systemvarianten“ wird zudem beschrieben, wie die Methode dazu verwendet wird, den Einfluss bestimmter Faktoren verschiedener Systemvarianten auf den JNG zu bestimmen.

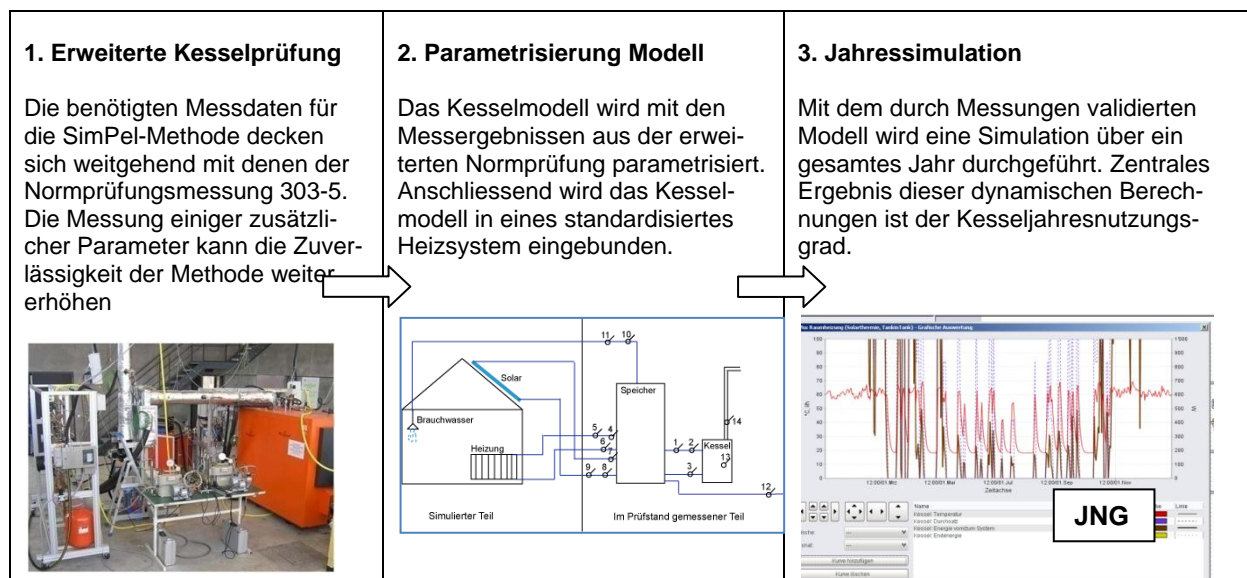


Abbildung 4: Vereinfachte Schematische Darstellung der SimPel-Methode.

3.1. Genereller Ansatz des Kesselmodells

Das verwendete Kesselmodell wurde von Haller et. al entwickelt [8][9][10] und wird in der TRNSYS-Simulationsumgebung als Type 869² für Simulationsrechnungen eingesetzt. Das Kesselmodell wurde speziell für den Einsatz von Biomasseheizgeräten entwickelt und mit Messungen an diversen Biomasseheizgeräten validiert [11]. Dieses Kesselmodell bildet den zentralen Bestandteil der SimPel-Methode. Die Funktionsweise des Kesselmodells wird nachfolgend kurz beschrieben. Ein detaillierterer Beschrieb befindet sich in der Dokumentation des Types 869 [8]. In nachfolgender Abbildung 5 wird das Modell schematisch dargestellt. In Abbildung 6 wird das Energieflussdiagramm für das Kesselmodell wiedergegeben.

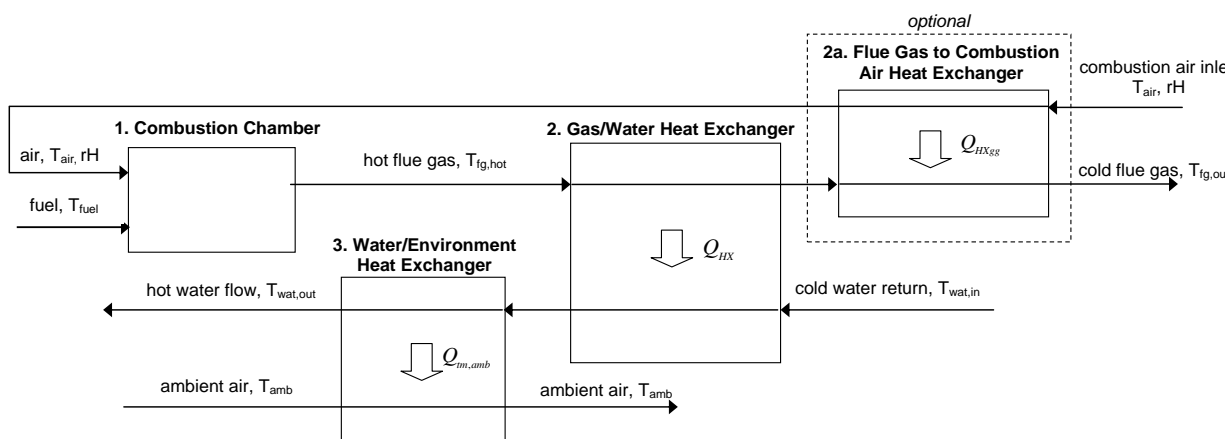


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Heizkesselmodells für den Stationärfall adaptiert und erweitert gemäss Haller [8]. Für einen kompletten Beschrieb der Graphik sei hier auf die Dokumentation des Types 869 verwiesen. Der mit „optional 2a“ gekennzeichnete Wärmeübertrager für die Vorwärmung der zugeführten Luft wurde für die hier durchgeführten Untersuchungen nicht verwendet. Die Graphik ist übernommen aus Haller [8].

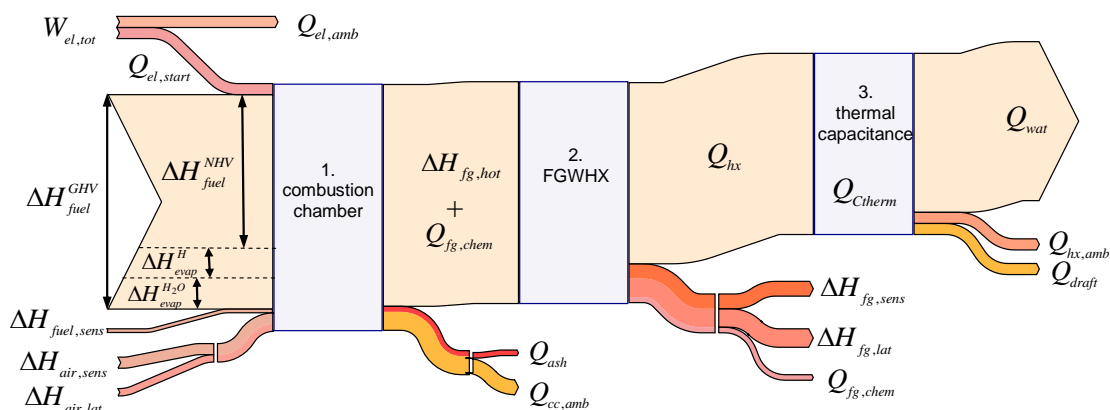


Abbildung 6: Energieflussdiagramm (Sankeydiagramm) für das verwendete Kesselmodell TRNSYS Type 869v502, Graphik übernommen aus Haller [8]. Für einen kompletten Beschrieb der Graphik sei hier auf die Dokumentation des Types 869 verwiesen².

Das Modell beinhaltet verschiedene Varianten, um die Abgasverluste zu berechnen. Im Rahmen des SimPel-Projektes kommt der „Delta-T-Approach“ (auch FG-Mode 1 genannt) zur Anwendung. Dabei wird zur Berechnung der **Abgasverluste** im Modell von einer fixen Temperaturdifferenz zwischen Rücklauf- und Abgastemperatur bei gegebener Leistung ausgegangen. Das Modell kann durch die Messungen aus der Normprüfung EN-303-5 bei Teil- und Volllast mit der Temperaturdifferenz zwischen Rücklauf- und Abgastemperatur parametrisiert werden. Diese Temperaturdifferenz variiert in Abhängigkeit der Leistung und wird als lineare Funktion durch das Modell interpoliert. Bei gegebener Rücklaufftemperatur und Leistung kann so über die für jeden Betriebspunkt bekannte Temperaturdiffe-

² Der TRNSYS-Type und dessen Dokumentation kann auf der SPF-Webseite downgeloadet werden: http://www.solarenergy.ch/Type-869-Kesselmodell.213.0.html?no_cache=1&L=0. Für die hier durchgeführten Simulationsrechnungen wurde die Version 502 verwendet.

renz die Abgastemperatur berechnet werden. Mit Kenntnis des Luftüberschusses und der Abgastemperatur können die Abgasverluste bestimmt werden. Das Kesselmodell erlaubt es diese Verluste weiter in latente und sensitive Abgasverluste zu unterteilen.

Des Weiteren bilden die **Wärmeverluste an die Umgebung** eine zentrale Grösse, da diese den JNG stark beeinflussen und die Abgasverluste je nach Heizgerätmodell und Einbindung deutlich übersteigen können. Die Wärmeverluste an die Umgebung setzen sich durch Verluste des Wassermantels (Temperaturabhängig) und Verluste über die Brennkammer (Leistungsabhängig) zusammen (vgl. [8]). Diese Unterteilung wurde aufgrund der Erkenntnisse aus dem Projekt PelletSolar eingeführt [13]. Die beiden Wärmeverlustkoeffizienten können auf verschiedene Weise bestimmt werden. Ein Weg ist es diese aufgrund der Differenz zwischen Feuerungstechnischem und Gesamtwirkungsgrad zu bestimmen. Für eine zuverlässigere Unterteilung in leistungs- und temperaturabhängige Verluste liegen idealerweise Messungen bei jeweils zwei verschiedenen Temperaturen für Teil- wie auch für Vollast vor. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Abstrahlungsverluste ist die Oberflächentemperatur des Kessels, welche bereits nach EN-303-5 durchgeführt wird. Ein weiteres mögliches Vorgehen ist die Bestimmung über Messungen bzgl. der Kesselauskühlungsrate (vgl. 5.1).

Neben der Berechnung der Abgas- und den Wärmeverluste an die Umgebung erlaubt es das Kesselmodell auch die Bestimmung diverser weiterer Kennwerte. Dazu gehören (unter vielen anderen) beispielsweise die Brennerstarts, die Kesseltemperatur, die Emissionen (sofern diese parametrisiert wurden) oder auch die für die Zündung benötigte elektrische Energie. Für eine vollständige Übersicht der im Kesselmodell berücksichtigten Werte sei hier auf die Dokumentation verwiesen [8].

3.2. Messungen zur Parametrisierung des Kesselmodells

Zur Parametrisierung des Kesselmodells werden folgende Werte bei Nenn- und minimaler Teilleistung benötigt:

- Temp. Rücklauf
- Temp. Vorlauf
- Massenstrom Wasser
- Abgas-Temperatur
- Brennstoff-Verbrauch (feuchter Brennstoff bei Holz)
- Luftüberschuss (oder CO₂ oder O₂ vom trockenen Rauchgas)
- Temperatur der Verbrennungsluft
- Temperatur des Raumes
- Kondensatfluss
- Absolutdruck Prüfumgebung
- Relative Feuchte Zuluft
- Kesselwirkungsgrad direkt
- Elektrische Leistungsaufnahme
- *Optional*: Bestimmung der Wärmeverluste an Umgebung alternativ zur Prüfnorm nicht über Temperaturoberflächenmessungen, sondern über Auskühlverluste, vgl. Kapitel 5.1
- *Optional*: Diverse Emissionswerte bei Teil- und Vollast, sowie bei Start und Stopp.

Folgende nicht leistungsabhängigen Grössen müssen ebenfalls für die Parametrisierung bekannt sein:

- Kesselvolumen
- Stromverbrauch im Standby-Betrieb
- Analyse des Prüfbrennstoffs gemäss EN-303-5
- Bereitschaftsverluste aus Oberflächentemperaturmessung (inkl. delta-T Kessel zu Umgebung)
- *Optional*: Thermisch aktive Masse des Heizgerätes
- *Optional*: Stromverbrauch für die Zündung

Die benötigten Messdaten zur Parametrisierung bei der SimPel-Methode decken sich weitgehend mit den Werten, die im Rahmen der Normprüfung 303-5 [1] erhoben werden. Dementsprechend besteht die Möglichkeit, das Kesselmodell direkt durch die im Prüfbericht stehenden Daten zu parametrisieren. Die Messung einiger optionaler Werte in Ergänzung zur Prüfnorm verbessern die Zuverlässigkeit und

Aussagekraft des Verfahrens. Diese Werte sind in der zuvor aufgeführten Liste mit optional gekennzeichnet. Eine detailliertere Diskussion bzgl. des Vorgehens findet sich in Kapitel 5.1.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden zwei Heizgeräte (Heizgerät-1 und Heizgerät-2, näher beschrieben in Kapitel 3.4) betrachtet. Es war beabsichtigt, dass der Jahresnutzungsgrad gemäss der SimPel-Methode für beide Geräte sowohl basierend auf den Daten aus dem Prüfbericht (für die Gerätezulassung nach EN-303-5) wie auch basierend auf den durch den Kooperationspartner im eigenen Prüfstand durchgeführten Messungen bestimmt wird. Ziel dieses Vorgehens war es, allfällige Unterschiede zwischen der Norm-Messung für die Gerätezulassung und der identischen, aber eigens durchgeführten Messung an einem zufällig ausgewählten Gerät des gleichen Modells bestimmen zu können. Aufgrund fehlender Messwerte konnte Heizgerät-1 schlussendlich nur durch den Zulassungs-Prüfbericht nach EN-303-5 für die SimPel-Methode parametrisiert werden. Für die JNG-Bestimmungsmethode ISEB des Kooperationspartners konnten hingegen die eigenen Messdaten für die Parametrisierung auch bei Heizgerät-1 verwendet werden. Bei Heizgerät-2 kamen hingegen beide Datenquellen bei der Parametrisierung nach der SimPel-Methode zum Einsatz. In Tabelle 1 wird kurz eine Übersicht zu dem geschilderten Sachverhalt gegeben.

Tabelle 1: Übersicht bzgl. Quelle der Messdaten für die beiden JNG-Bestimmungsmethoden angewandt auf die zwei Heizgeräte.

	ISEB Heizgerät-1	ISEB Heizgerät-2	SimPel Heizgerät-1	SimPel Heizgerät-2
Parametrisierung basierend auf Messdaten aus Prüfbericht EN-303-5	Nein¹	Nein¹	Ja	Ja
Parametrisierung basierend auf Messdaten des Kooperationspartners	Ja	Ja	Nein²	Ja

¹Die ISEB-Methode erfordert eine grundsätzlich andere Messung als dies bisher in der Zulassungsprüfnorm EN-303-5 durchgeführt wird (Mehrstündiges dynamisches Lastprofil). Daher basiert die JNG-Bestimmung des Kooperationspartner Bioenergy 2020+ ausschliesslich auf der eigens durchgeführten Messung.

²Die SimPel-Methode kann durch die Messwerte aus der Zulassungsprüfnorm EN-303-5 parametrisiert werden. Wie oben beschreiben war aber ursprünglich vorgesehen, dass diese analogen Messungen an den beiden vom Kooperationspartner untersuchten Heizgeräten im eigenen Prüfstand durchgeführt werden. Dies erfolgte leider nur für Heizgerät-2, daher steht an dieser Stelle ein „Nein“ für Heizgerät-1.

3.3. Jahressimulationen von Systemvarianten

Das durch die Messdaten parametrisierte Kesselmodell wird in ein standardisiertes Heizsystem eingebunden. Als Basis wurde hierzu das Referenzheizsystem aus dem IEA-SHC Task 32 [12] eingesetzt (vgl. auch Abbildung 7 und Abbildung 8). Die Randbedingungen für das Heizsystem wie der Warmwasserbedarf, der energetischer Ausbaustandard des Gebäudetyps, die hydraulische und regeltechnische Einbindung des Heizgerätes in das Heizsystem, die Art des Heizsystems etc. werden in Tabelle 2 zusammengefasst. Zur Durchführung der Simulation wird die Simulationsumgebung TRNSYS verwendet [3]. Die Jahressimulation produziert je nach Vorgaben eine grosse Menge an Daten und Resultaten, wobei bei der vorliegenden Anwendung die Kenngrösse des Jahresnutzungsgrades im Vordergrund steht.

Tabelle 2: Angaben zu den Randbedingungen des Heizsystems bei der Jahressimulation zur Bestimmung des Kesselnutzungsgrades.

Klima/Wetterdaten	Zürich (basierend auf Datenbank von www.meteonorm.com)
Warmwasserbedarf	200 l/d (Kalt- und Warmwasser-Temperatur?)
Solaranlage	Mit Solaranlage: 15 m ² Flachkollektor Ohne Solaranlage: 0 m ²
Speicher	Mit Pufferspeicher: 850 Liter (davon 250 Liter Warmwasser). Vgl. Abbildung 7. Ohne Pufferspeicher: Warmwasserspeicher mit 300 Liter. Vgl.

	Abbildung 8.
Warmwasserverbrauch	Standard-Zapfprofil gemäss IEA Task 32 [12]. 200l/d, 45°C, 3040kWh/a.
Gebäude	<p>Heizlast:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100 kWh/m²a gemäss SFH100 aus IEA Task 32 [12] (Standard-Fall) • 60 kWh/m²a gemäss SFH60 aus IEA Task 32. [12] (Überdimensionierter Fall, sprich Heizgerät mit gleicher Leistung, aber Gebäude mit tieferem Energiebedarf) <p>Energiebezugsfläche:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 140 m² über zwei Geschosse verteilt. <p>Heizungstyp:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fall 100 kWh/m²a mit 60/40°C Vorlauf-Rücklauftemperaturen. • Fall 60 kWh/m²a mit 40/35°C Vorlauf-Rücklauftemperaturen.

Die Konfiguration des Heizsystems hat einen erheblichen Einfluss auf den Jahresnutzungsgrad eines Heizgerätes. Vor diesem Hintergrund wurden Simulationen mit der SimPel-Methode für verschiedene Systemkonfigurationen durchgeführt. So konnte im Sinne einer Sensitivitätsanalyse bestimmt werden, wie stark sich eine Veränderung der Rahmenbedingungen auf die betrachteten Heizgeräte auswirkt. Wichtige Einflussgrössen auf den Jahresnutzungsgrad sind unter anderem die Einbindung einer Solaranlage oder eines Pufferspeichers. Weitere in den Simulationsvarianten berücksichtigte Einflüsse waren die Modulationsfähigkeit des Heizgerätes sowie dessen Dimensionierung in Relation zum Wärmebedarf (Stichwort Überdimensionierung).

Die beiden Varianten mit bzw. ohne Pufferspeicher werden in Abbildung 7 respektive Abbildung 8 schematisch dargestellt. Im vorliegenden Bericht werden die Resultate der einzelnen Simulationen mit den Kürzeln „y“ (yes) oder „n“ (no) nach der Nomenklatur aus Tabelle 3 betitelt. Das Standardsystem ohne Pufferspeicher und Solaranlage, mit modulierendem und korrekt dimensioniertem Kessel wird entsprechend mit dem Kürzel „nnyn“ bezeichnet (vgl. Tabelle 1).

Bei Heizgerät-1 wurden die Simulationen der Systemvarianten basierend auf der Modellparametrisierung anhand der Messdaten aus dem Zulassungsprüfbericht nach EN-303-5 durchgeführt. Bei Heizgerät-2 konnten die Messdaten verwendet werden, welche durch den Kooperationspartner im eigenen Prüfstand ermittelt worden sind.

Tabelle 3: Nomenklatur für verschiedene simulierte Systemvarianten. Nachfolgend das Beispiel der Standardvariante nnyn.

Puffer	Solar	Modulation	Überdimensionierung
n	n	y	n

Im Rahmen des Kapitels 4.3 „Simulation von Systemvarianten“ werden die Parameter Pufferspeicher, Solaranlage, Modulationsfähigkeit und Überdimensionierung variiert. Zur vereinfachten Beschreibung der verschiedenen Varianten wird eine Nomenklatur eingeführt gemäss bestehendem Beispiel, welches die Variante ohne Pufferspeicher, ohne Solaranlage, mit Modulation und ohne Überdimensionieren bezeichnet. „n“ steht dabei für no, und „y“ für yes.

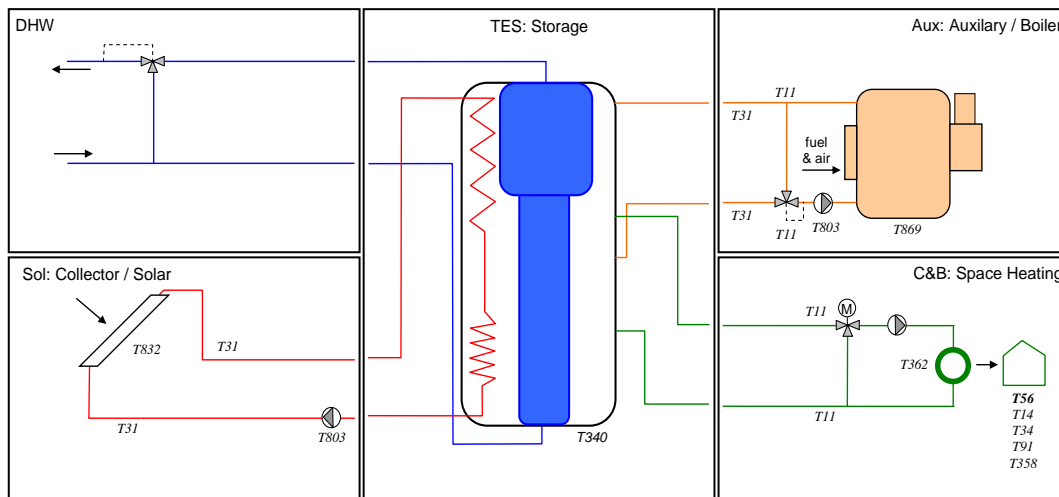


Abbildung 7: Schematische Darstellung des in der Simulation verwendeten Heizsystems mit Puffer-speicher und mit Solaranlage. Die Nummern stehen für die in der Simulationsumgebung TRNSYS verwendeten Komponenten [3]. Grafiken in Anlehnung an [8].

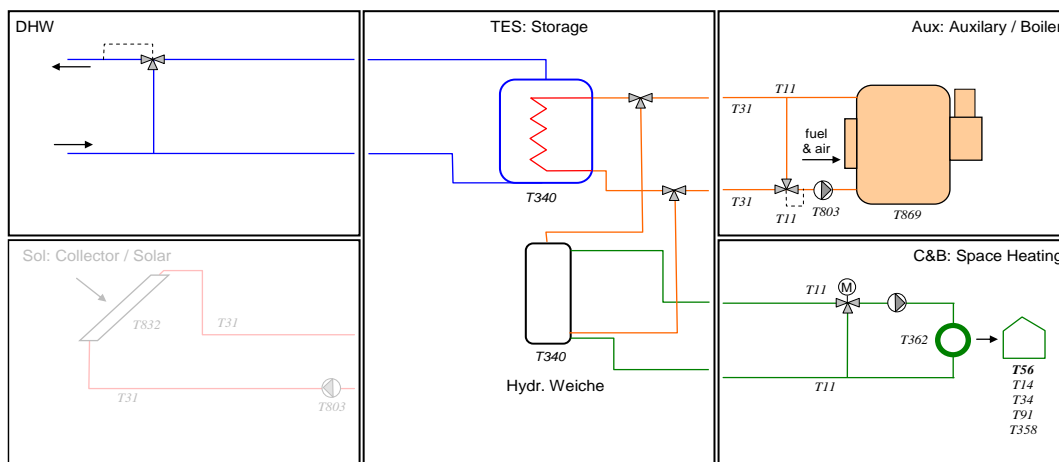


Abbildung 8: Schematische Darstellung des in der Simulation verwendeten Heizsystems ohne Puffer-speicher und ohne Solaranlage. Die Nummern stehen für die in der Simulationsumgebung TRNSYS verwendeten Komponenten [3]. Grafiken in Anlehnung an [8].

3.4. Kenndaten der betrachteten Heizgeräte

In der nachfolgenden Tabelle werden die beiden Heizgeräte, auf welche die SimPel-Methode angewandt wurde, kurz charakterisiert. Um die Vertraulichkeit zu wahren bzw. Rückschlüsse auf Hersteller und Modelltyp zu verhindern, wurden die Daten leicht abgeändert.

Tabelle 4: Kenndaten der beiden Heizgeräte, an welchen die SimPel-Methode angewandt wurde.

	Heizgerät-1	Heizgerät-2
Brennstofftyp	Pellet	Pellet
Wärmeleistungsbereich [kW]	4.6-15.1	4.5-15
Wirkungsgrad Nennlast [%]	93	90.3 / 83.2 ¹
Wirkungsgrad Teillast [%]	95.2	89.1 / 83.8 ¹
Kesselvolumen [l]	30	57

¹ erstere Werte stammen aus der Zulassungsprüfung 303-5, letztere Werte stammen aus den eigens durchgeführten Messungen des Projektpartners. Augenfällig sind die grossen Unterschiede zwischen den Messwerten, die im Grunde genommen gleich hoch sein müssten, vgl. hierzu Diskussion in Kapitel 5. Die Werte aus der EN-303-5 wurden geringfügig abgeändert, um Rückschlüsse auf Hersteller zu verunmöglichen.

4 Resultate

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die wichtigsten Ergebnisse, welche bei der Entwicklung und Anwendung der SimPel-Methode erzielt wurden, wiedergeben. Zunächst werden kurz die wichtigsten Resultate für die beiden betrachteten Heizgeräte aufgeführt (Kapitel 4.1). Anschliessend werden die Ergebnisse in Relation zu den Resultaten gesetzt, welche mit der ISEB-Methode des Projektpartners Bioenergy2020+ erzielt wurden (Kapitel 4.2). Im Unterkapitel 4.3 werden die umfangreichen Ergebnisse aus den Simulationen verschiedener Systemvarianten beschrieben (mit Verweis auf die Datentabellen im Anhang, Tabelle 7, Tabelle 8).

4.1. SimPel-Verfahren für „Standard“-System

In der nachfolgenden Tabelle 5 werden die zentralen Ergebnisse der SimPel-Methode für die beiden betrachteten Heizgeräte aufgeführt.

Für den direkten Vergleich mit der Methode des Kooperationspartners wurde bei den Simulationen von folgender Systemeinbindung ausgegangen:

- ohne Solaranlage
- ohne Pufferspeicher (Heizkessel über hydraulische Weiche direkt auf Heizkreis)
- volle Ausnutzung der Modulationsbreite und
- keine Überdimensionierung des Heizgerätes.

Diese Variante entspricht der Namensgebung „nnyn“, welche zuvor in Tabelle 3 definiert wurde. Bei der ISEB-Methode sind keine solchen Annahmen nötig, da man dort ein standardisiertes mehrstündiges dynamisches Lastprofil abfährt. Eine Möglichkeit zur Variation der Konfiguration des Heizsystems besteht nicht.

Für das Heizgerät-1 wurden die Simulations-Ergebnisse basierend auf den Messdaten aus dem Zulassungsprüfbericht ermittelt. Beim Heizgerät-2 wurden die Simulationen zusätzlich auch basierend auf den Messungen des Kooperationspartners durchgeführt (vgl. hierzu Tabelle 1). Für Heizgerät-2 zeigt sich ein massiver Unterschied (7%) zwischen den Resultaten basierend auf der Parametrisierung aus Prüfbericht bzw. basierend auf den eigenen Messdaten. Eine detailliertere Diskussion hierzu findet sich in Kapitel 1.2 und Kapitel 5.

Auch im Vergleich zwischen Heizgerät-1 und Heizgerät-2 konnten grosse Unterschiede identifiziert werden (91.5% vs. 80.7%). Hier werden die Werte verglichen, welche beide auf der Parametrisierung durch den Prüfbericht basieren und somit eine gewisse Vergleichbarkeit gegeben ist. Die Unterschiede basieren vor allem auf massiv höheren Wärmeverlusten an die Umgebung beim Heizgerät-2 gegenüber Heizgerät-1 (12 vs. 3 Prozent Wärmeverluste an die Umgebung)

Tabelle 5: Auszug der Ergebnisse der SimPel-Methode zur Berechnung des Jahresnutzungsgrades von Heizgeräten angewandt auf zwei Heizgeräte. Eine Definition der dargestellten Werte findet sich in. Der Jahresnutzungsgrad wird jeweils sowohl bezogen auf den Heizwert (H_u) wie auch bezogen auf den Brennwert oder auch „oberen Heizwert“ (H_o) ausgewiesen³.

	Kessel-JNG (H_u) [%]	Kessel-JNG (H_o) [%]	Starts [-]	Laufzeit [h]	Elektrischer Verbrauch [%]	Rauchgasverluste [%]	Wärmeverluste an Umgebung [%]	System-JNG (H_o) [%]
Heizgerät -1 (parametrisiert mit EN-303-5 Prüfbericht)	91.5	85.0	1300	3450	3	12	3	73.3
Heizgerät-2 (parametrisiert mit eigenen Messdaten)	73.6	68.4	724	4492	2	17	15	59.5
Heizgerät-2 (parametrisiert mit EN-303-5 Prüfbericht)	80.7	75.0	815	4213	3	13	12	65

Mit der SimPel-Methode zur Berechnung des Jahresnutzungsgrades wird eine Simulation über ein gesamtes Jahr mit einer Auflösung von einer Stunde durchgeführt. Dementsprechend lassen sich die Resultate auch über die Simulationsperiode darstellen, im Unterschied zur ISEB-Methode, welche keine solchen Analysen zulässt (keine Jahressimulation, sondern achttündiges dynamisches Lastprofil). Nachfolgend werden zur Veranschaulichung der Möglichkeiten der SimPel-Methode die Monatswerte (Nutzungsgrad, Brennerstart, Pelletverbrauch) über ein gesamtes Jahr für die beiden betrachteten Heizgeräte dargestellt. Bei beiden Heizgeräten zeigt sich, dass der monatliche Nutzungsgrad (blaue Linie) in den Sommermonaten aufgrund schlechterer Auslastung verschlechtert. Vor allem beim Heizgerät-2 zeigt sich dieser Effekt (Verschlechterung um rund 20%), was auf die hohen Wärmeverluste an die Umgebung zurückzuführen ist. Bei beiden Geräten kann ein starker Anstieg der Brennerstarts in den Übergangsmonaten im Frühling und im Herbst festgestellt werden. Beim Heizgerät-1 kann sogar ein Anstieg um etwa Faktor 6 festgestellt werden, verglichen mit den Starts im Sommer, wo der Brenner nur durchschnittlich einmal pro Tag gestartet wird.

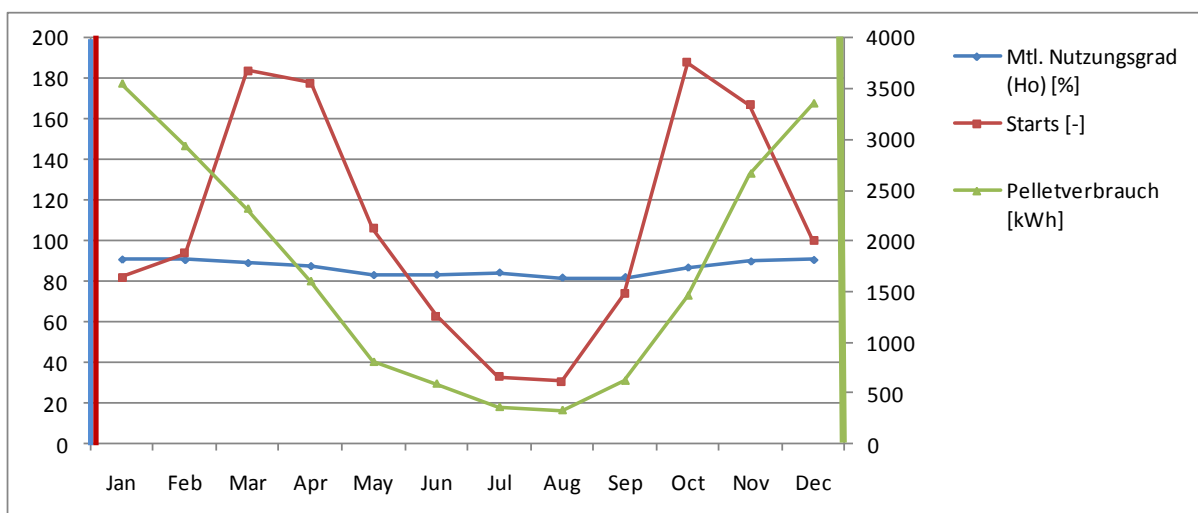


Abbildung 9: Monatswerte des Pelletheizgerätes-1 eingebunden in das Standardsystem (Randbedingungen: kein Pufferspeicher, keine Solaranlage, mit Modulation, keine Überdimensionierung. Definition nnyin gemäss Tabelle 3.

³ Falls nicht anders indiziert beziehen sich die hier aufgeführten Werte jeweils stets auf den Brennwert (H_o). Der Grund für die zusätzliche Ausweisung des Jahresnutzungsgrad bzgl. (unteren) Heizwert (H_u) liegt darin, dass so die Vergleichbarkeit zu den Ergebnissen aus Prüfberichten und anderen Untersuchungen [4] hergestellt ist.

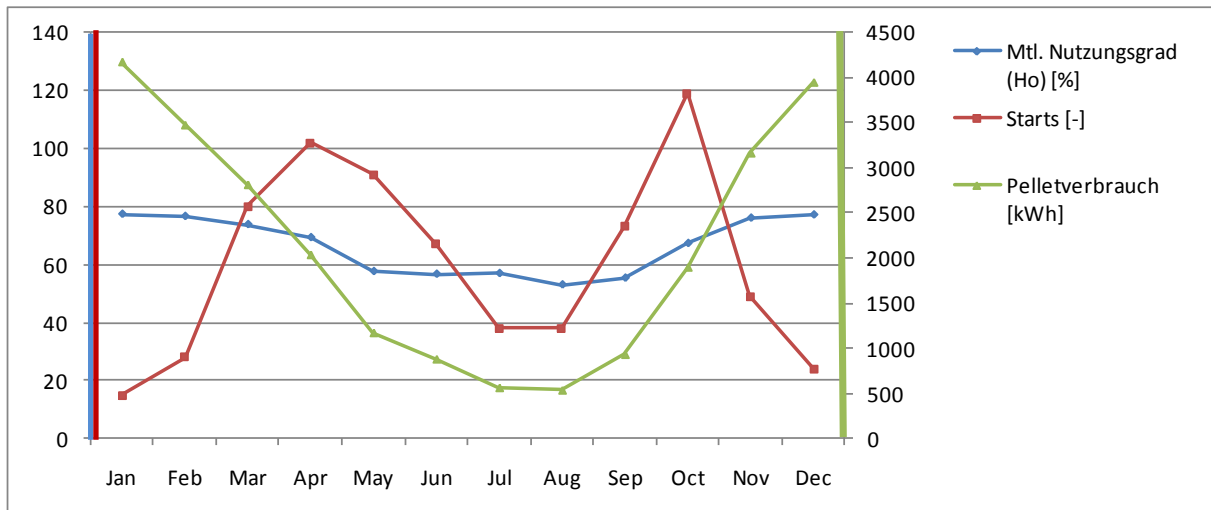


Abbildung 10: Monatswerte des Pelletheizgerätes-2 eingebunden in das Standardsystem (Randbedingungen: kein Pufferspeicher, keine Solaranlage, mit Modulation, keine Überdimensionierung. Definition nnyn gemäss Tabelle 3.

4.2. JNG-Resultate von SimPel und ISEB im Vergleich

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der ISEB-Methode für die gleichen Heizkessel mit den im vorgängigen Abschnitt beschriebenen Ergebnissen der SimPel-Methode verglichen. In den nachfolgenden beiden Abbildungen werden die Wirkungs- und Nutzungsgrade gemäss unterschiedlichen Bestimmungs-Methoden für die beiden betrachteten Heizgeräte wiedergegeben. Die in den Abbildungen rot markierten Balken entsprechen den Ergebnissen der beiden Methoden zur Jahresnutzungsgradbestimmung. Die ISEB-Methode stammt vom Kooperationspartner aus Österreich Bioenergy2020+, und die SimPel-Methode wurde vom SPF entwickelt. Weiter sind in der Abbildung 11 (Heizgerät-1) und der Abbildung 12 (Heizgerät-2) der Systemnutzungsgrad nach SimPel sowie die beiden Wirkungsgrade nach EN-Prüfnorm 303-5 aufgeführt (bei 100% und 30% Nennlast).

Leider sind die beiden rot markierten Werte von ISEB und SimPel in Abbildung 11 nur beschränkt miteinander vergleichbar, da das Resultat der ISEB-Methode auf einer von Bioenergy2020+ durchgeführten Prüfstandsmessung basiert und das Ergebnis der SimPel-Methode auf den Messungen aus den Zulassungsprüfbericht nach EN303-5 basiert (vgl. Tabelle 1). Die zugrundeliegenden Messungen wurden zwar am gleichen Heizgerät-Modell durchgeführt, jedoch scheinen die Einstellungen bei der EN-303-5 Zulassungsprüfung nicht denen zu entsprechen wie diese bei einem zufällig ausgewählten Gerät in der Praxis anzutreffen sind (vgl. Kapitel 1.2 und 5.1, wie auch Ergebnisse am Heizgerät-2 in Abbildung 12).

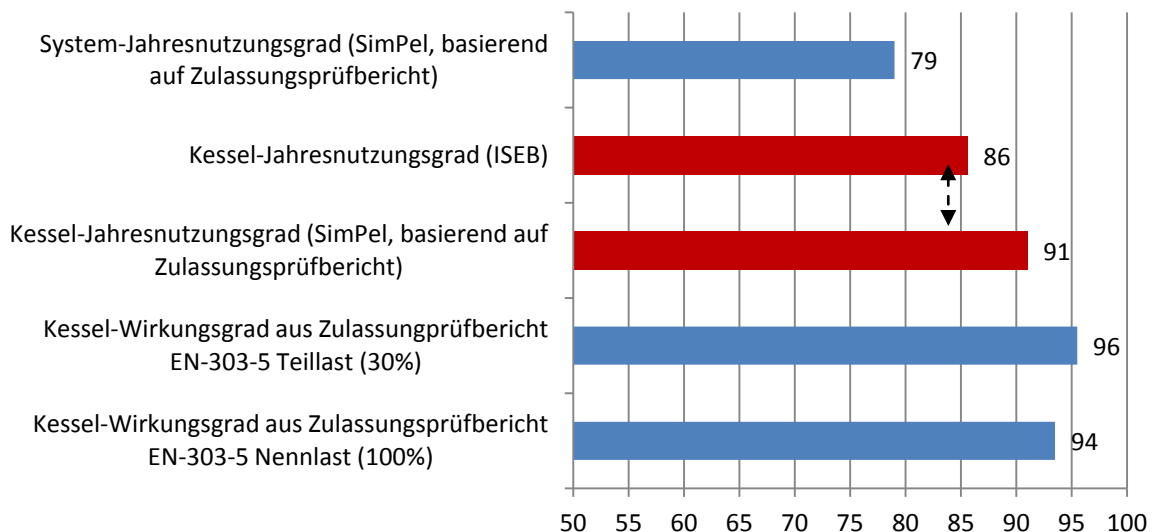


Abbildung 11: Gegenüberstellung der Kessel-Wirkungsgrades nach der Prüfnorm EN-303-5, der Kessel-Jahresnutzungsgrade nach den beiden unterschiedlichen Methoden (SimPel und ISEB, rot markierte Balken), sowie des Systemnutzungsgrades (nach SimPel) für das **Pelletheizgerät-1**. Die Einheit der dargestellten Werte ist in Prozent. Sämtliche dargestellten Werte beziehen sich stets auf den unteren Heizwert (H_u)

Beim Heizgerät-2 (im Gegensatz zu Heizgeräte-1) konnten wie eingangs erwähnt auch die Messungen des Kooperationspartners für die Parametrisierung des SimPel-Modells und zur anschließenden Simulation verwendet werden. Somit sind beim Heizgerät-2 die Ergebnisse nach ISEB und SimPel miteinander direkt vergleichbar. In Abbildung 12 sind die beiden vergleichbaren Werte als rote Balken gekennzeichnet. Die Übereinstimmung fällt mit weniger als 2% Unterschied (76% ISEB zu 74% SimPel) hoch aus. Hier sind jedoch zwei Einschränkungen zu nennen. Zum einen müssten für eine wissenschaftlich aussagekräftige Validation deutlich mehr Heizgeräte miteinander verglichen werden. Zum anderen hat das System, in das der Heizkessel eingebunden ist, einen Einfluss auf den JNG, so dass je nach System die SimPel-Ergebnisse für den Kessel-JNG variieren und damit auch die Abweichung gegenüber ISEB (darauf wird im anschließenden Kapitel 4.3 näher eingegangen). Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnisse geben aber bereits einen ersten Anhaltspunkt, dass die beiden Methoden zu ähnlichen Ergebnissen zu führen scheinen. Zudem wird diese Aussage durch die Vergleiche mit Langzeit-Feldmessungen (vgl. Kapitel 5.4), welche im gleichen Bereich liegen, weiter gestützt.

Werden bei der SimPel-Methode zur JNG-Bestimmung anstelle der eigenen Messdaten die Resultate des Prüfberichtes für die Parametrisierung des Kessels zugrunde gelegt, führt dies beim Heizgerät-2 zu einer erheblichen Abweichung von rund sieben Prozentpunkten (74% gegenüber 81% Jahresnutzungsgrad). Dies ist insofern erstaunlich, da es sich in beiden Fällen um das gleiche Heizgerät-Modell handelt. Die Begründung für die grossen Unterschiede sind einfach zu erkennen: Sowohl die Wärmeverluste an Umgebung, aber vor allem die Rauchgasverluste (Stichwort: tieferer Luftüberschuss) fallen bei der Zulassungsprüfung nach EN303-5 deutlich geringer aus (vgl. Tabelle 5).

Stellt man den SimPel-Jahresnutzungsgrad (74%) den Wirkungsgradwerten gegenüber, welche im Stationärbetrieb durch den Kooperationspartner bei Nennlast (84%) und bei Teillast (83%) gemessen wurden, gegenüber, wird ersichtlich, dass zwischen dem Jahresnutzungsgrad und Wirkungsgrad riesige Unterschiede bestehen können. Die Wirkungsgrade gemessen für die Gerätezulassung EN-303-05 aus dem Prüfbericht sind nochmals sogar noch höher (91% bei Nennlast, resp. 89% bei Teillast). Diese Feststellung steht im Einklang mit den eingangs aufgeführten Argumenten, dass der Jahresnutzungsgrad in Ergänzung zum Wirkungsgrad ein wichtiger Indikator für Funktionalität und Effizienz eines Heizgerät sein kann.

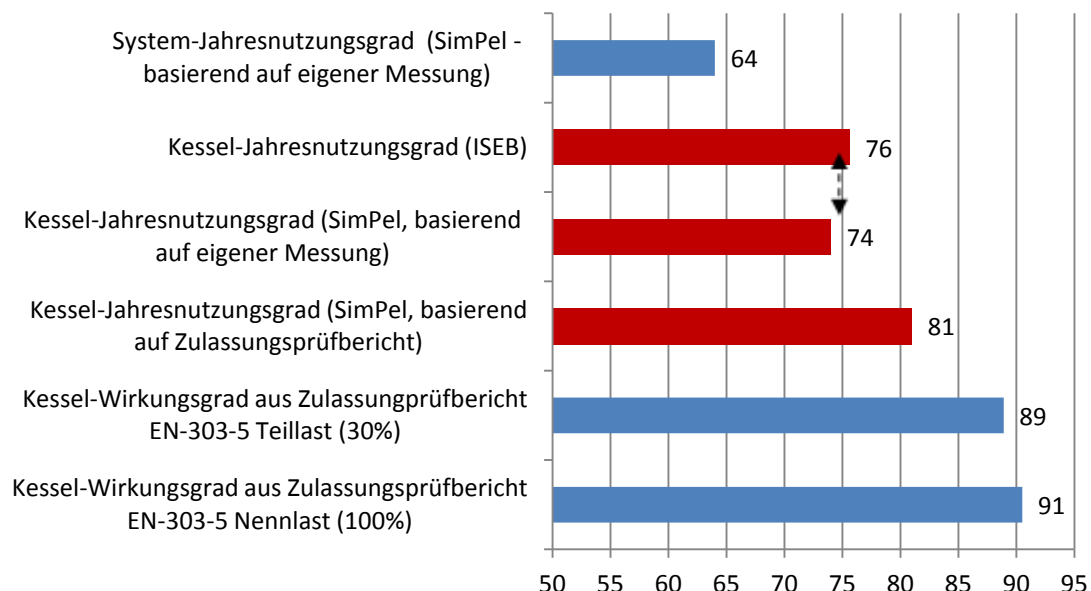


Abbildung 12: Gegenüberstellung der Kessel-Wirkungsgrade nach der Prüfnorm EN-303-5, der Kessel-Jahresnutzungsgrade nach den beiden unterschiedlichen Methoden (SimPel und ISEB), sowie des Systemnutzungsgrades (nach SimPel) für das **Pelletheizgerät-2**. Anmerkung: Es werden zwei JNG-Resultate mit der SimPel-Methode ausgewiesen. Dies hängt damit zusammen, dass einmal der Zulassungsprüfbericht nach EN-303-5 und einmal eigene Messdaten des Kooperationspartners zur Parametrisierung des Simulationsmodells verwendet wurden. Die Einheit der dargestellten Werte ist in Prozent. Die dargestellten Werte beziehen sich stets auf den unteren Heizwert (H_u)

4.3. Simulation von Systemvarianten

Neben der zuvor dokumentierten Jahressimulation des Standardsystems wurde eine grössere Anzahl an Systemsimulationen durchgeführt. Dies erfolgte im Sinne einer Sensitivitätsanalyse zur Bewertung des Einflusses einzelner Parameter. Die Simulation von verschiedenen Systemvarianten zeigt auf, wie stark die Einbindung eines Heizgerätes dessen Funktionalität und Effizienz über den betrachteten Zeitraum eines gesamten Jahres beeinflussen kann. Die SimPel-Methode trägt diesem Umstand Rechnung, indem die Randbedingungen frei gewählt werden können. Bei der hier durchgeführten Simulation von verschiedenen Systemvarianten wurden folgende Parameter variiert:

- Mit/ohne Pufferspeicher
- Mit/ohne Solaranlage
- Mit/ohne Modulationsfähigkeit (des Heizgerätes)
- Mit/ohne Überdimensionierung (des Heizgerätes)

Die für die Auswertung wesentlichen Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse werden im Anhang in Tabelle 7 (Heizgerät-1) und Tabelle 7 (Heizgerät-2) aufgeführt. Die Ergebnisse, welche sich anhand der SimPel-Methode generieren lassen, gehen weit über den isolierten Wert eines Jahresnutzungsgrades hinaus. Wie beim Studium der Tabellen im Anhang ersichtlich wird, umfassen diese Ergebnisse beispielsweise auch die Laufzeit des Kessels, die Anzahl der Brennerstarts, den Stromverbrauch, den Systemnutzungsgrad und vielen weiteren Informationen für diverse Systemkonfigurationen. Die Simulation von verschiedenen Systemvarianten ermöglicht es, Aussagen zu treffen wie gut ein bestimmtes Heizgerät unter verschiedenen Rahmenbedingungen abschneidet und erlaubt es dadurch, Empfehlungen für den optimalen Einsatz von Pelletheizgeräten herzuleiten. Zukünftig sollen auch Emissionswerte zur Optimierung in die Simulationsrechnung mit einbezogen werden können. Weiter zeigen die Simulationen von verschiedenen Systemvarianten auf, wie stark der mit der ISEB-Methode ermittelte JNG (ohne Berücksichtigung unterschiedlicher Systemeinbindung) in der Realität davon abweichen kann.

Die Ergebnisse aufgeführt in Tabelle 7 (Heizgerät-1) und Tabelle 8 (Heizgerät-2) zeigen, dass bzgl. Jahresnutzungsgrad das Heizgerät-1 tendenziell deutlich besser abschneidet als Heizgerät-2.

Der JNG von Heizgerät-1 lag je nach Systemvariante zwischen 88% und 92%, währendem bei Heizgerät-2 eine deutlich grössere Abweichung von 11% zwischen schlechtester und bester Variante identifiziert wurde (64% und 75%).

Dieses Resultat kann auf zwei Gründe zurückgeführt werden:

Einerseits basiert die Simulation für Heizgerät-1 auf den Werten aus dem Zulassungsprüfbericht nach EN-303-5, da keine verwendbaren Messdaten des Kooperationspartners zur Verfügung standen. Die Ergebnisse für das Heizgerät-2 basieren hingegen auf Simulationen, welche mit durch den Kooperationspartner eigens gemessenen Daten durchgeführt wurden. In Kapitel 1.2 und 0 wird darauf hingewiesen, dass die Werte aus dem Zulassungsprüfbericht gegenüber den eigens gemessenen Daten relativ stark voneinander abweichen. Dies hängt damit zusammen, dass die Einstellungen bei der Zulassungsprüfung gegenüber der Praxis (bei identischen Heizgerätmodellen) in der Regel deutlich voneinander abweichen.

Andererseits scheint grundsätzlich ein relativ starker Unterschied zwischen Heizgerät-1 und Heizgerät-2 zu bestehen, wobei das Heizgerät-1 deutlich bessere Werte aufweist. Diese Aussage stützt sich auf die für Heizgerät-2 (vgl. Tabelle 8, Heizgerät-2b) durchgeführte Simulation, welche ebenfalls auf den Parametern aus dem Zulassungsprüfbericht basiert, im Vergleich mit den Werten für Heizgerät-1 bei identischen Rahmenbedingungen: Bei Heizgerät-1 (Variante nnyn, vgl. Tabelle 8) liegt der JNG bei 91%, währendem dieser für Heizgerät-2 (2b, nnyn, vgl. Tabelle 8) bei lediglich 81% liegt. Zudem schneidet das Heizgerät-1 auch im Zulassungsprüfbericht bzgl. stationären Wirkungsgrads deutlich besser ab als das Heizgerät-2. Bei der Wirkungsgradmessung bei 30% Lastabnahme liegt Heizgerät-1 bei 96% gegenüber Heizgerät-2 mit 89%, sprich es besteht ein Unterschied von 7%.

Für die nachfolgenden Ausführungen bzgl. der Einflussfaktoren auf den Jahresnutzungsgrad ist dies eine interessante Ausgangslage, wobei das Heizgerät-1 gewissermassen dem in der Praxis erreichten State-of-the-Art entspricht und Heizgerät-2 ein eher durchschnittliches Modell repräsentiert.

4.3.1. Einflussfaktoren auf den Jahresnutzungsgrad

Nachfolgend wird der Einfluss der vier betrachteten Parameter (Pufferspeicher, Solaranlage, Modulation und Überdimensionierung) in einzelnen Unterkapiteln wiedergegeben. Dabei wurde festgestellt, dass Heizgerät-1 deutlich weniger von den Randbedingungen beeinflusst wird als Heizgerät-2. Konkret heisst dies, vor allem bei weniger guten Heizgeräten (Heizgerät-2) die Einbindung in das System eine zentrale Rolle spielt, währendem der Typ des Heizgerätes-1 sich gut an verschiedene Umgebungen anpassen kann.

Einfluss Pufferspeicher

In diesem Unterkapitel wird untersucht, unter welchen Bedingungen ein Pufferspeicher zu einer Verbesserung des Kessel- wie auch des Systemjahresnutzungsgrades führt. Die Simulationen zeigen, dass die Einbindung des Pelletkessels über einen Pufferspeicher (im Vergleich zur Einbindung über eine hydraulische Weiche) in verschiedenen Fällen zu einer Verbesserung des Gesamtsystems führen kann. Der Jahresnutzungsgrad des Kessels verbessert sich durch die Einbindung über eine Pufferspeicher vor allem dann, wenn das Gerät nicht modulieren kann, da der Pufferspeicher hilft, die Taktraten und somit die Wärmeverluste tief zu halten (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14 sowie Tabelle 7 und Tabelle 8). Die identifizierte Differenz zwischen den Einbindungsvarianten ist bei Pelletheizgerät-2 stärker ausgeprägt als bei Pelletheizgerät-1.

Demgegenüber bleibt der Jahresnutzungsgrad bei modulierenden Kesseln im Vergleich mit/ohne Pufferspeicher nahezu konstant. Ein richtig dimensionierter Kessel kann seine Modulationsfähigkeit sowohl bei richtiger Einbindung über einen Pufferspeicher als auch bei direkter Einbindung über eine hydraulische Weiche zur Anwendung bringen.

Bei der Betrachtung auf Systemebene kann aber auch bei modulierendem Kessel eine Verbesserung des Systemnutzungsgrades beobachtet werden, und zwar dann wenn der Kessel überdimensioniert ist. Der Wärmeverlust in der Summe von Rohrleitungen und Speicher ist bei der Einbindung über eine hydraulische Weiche höher als bei der Einbindung über einen Pufferspeicher trotz des grösseren Speichers (mehr Speicherverluste durch die grössere Oberfläche). Dies hängt damit zusammen, dass die Regelungskonfiguration im Falle ohne Pufferspeicher (mit hydraulischer Weiche) es erfordert, dass das Heizgerät während der Heizperiode stets durchflossen wird (gemäss Umfragen bei Herstellern/Installateuren). Dies führt zu höheren durchschnittlichen Temperaturen im Kessel, den Rohrleitungen und der hydraulischen Weiche.

Bzgl. dem Vergleich mit/ohne Pufferspeicher kann zusammenfassend gesagt werden, dass vor allem bei weniger guten Heizgeräten (schlechte Modulationsregelung, hohe Wärmeverluste, hoher Luftüberschuss im Teillastbereich etc.) wie auch bei überdimensionierten Geräten ein Pufferspeicher dazu beiträgt, den Kessel- wie auch den Systemnutzungsgrades des Heizsystems zu verbessern. Dies hängt damit zusammen, dass für den geschilderten Fall ohne Pufferspeicher hohe Taktraten auftreten und dies zu einer ungünstigen Betriebsweise führt.

Bei einem guten und richtig dimensionierten Heizgerät kann hingegen auf einen Pufferspeicher verzichtet werden. Steht die Solaranlage zur Option, erledigt sich diese Grundsatzfrage, da sowieso ein Speicher zum Einsatz kommt. Die Erkenntnis, dass gute und richtig dimensionierte Geräte auch ohne Speicher eingebunden werden können, muss jedoch in der Kostenvergleichsrechnung (System mit/ohne Solaranlage) berücksichtigt werden.

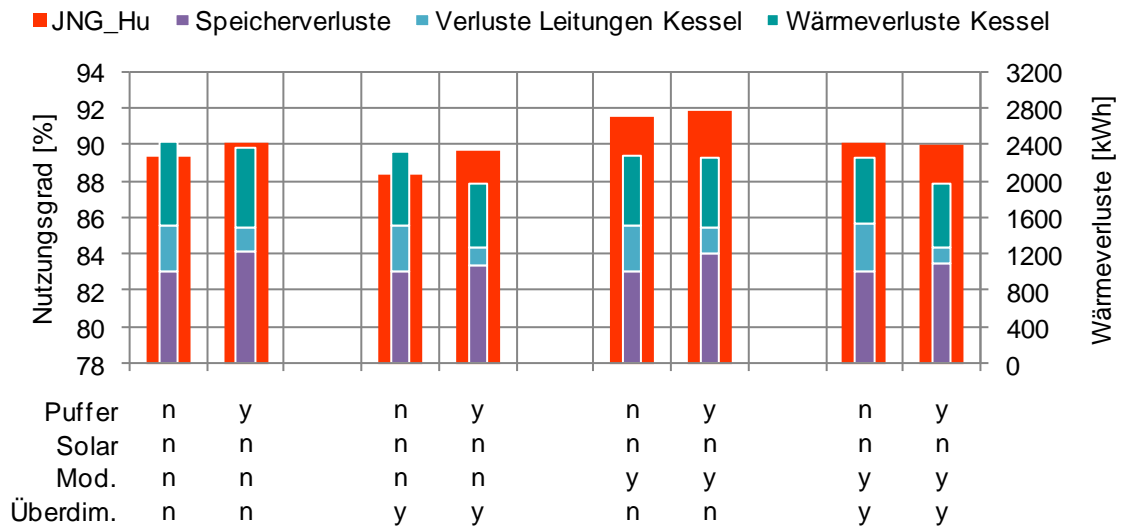


Abbildung 13: Einfluss Pufferspeicher Heizgerät-1. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch den Pufferspeicher (bzw. das Fehlen eines solchen) unterscheiden. Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes bezogen auf Hu (JNG_Hu) sowie die Wärmeverluste durch den Speicher, die Kesselkreisleitungen sowie durch den Kessel an die Umgebung.

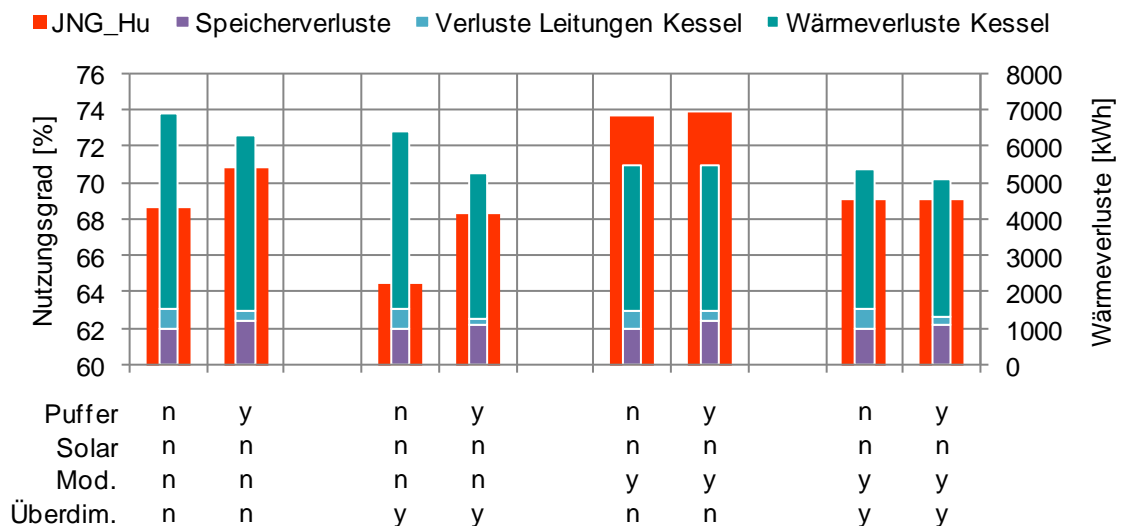


Abbildung 14: Einfluss Pufferspeicher Heizgerät-2. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch den Pufferspeicher (bzw. das Fehlen eines solchen) unterscheiden. Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes bezogen auf Hu (JNG_Hu) sowie die Wärmeverluste durch den Speicher, die Kesselkreisleitungen sowie durch den Kessel an die Umgebung.

Einfluss Solaranlage

Wie zuvor gezeigt führt die Einbindung eines Pelletkessels über einen Pufferspeicher in vielen Fällen zu einer Verbesserung des Gesamtsystems. Wird der Pufferspeicher zusätzlich durch eine Solaranlage beladen so hat dies neben einem reduzierten Pelletverbrauch (zwischen 14% bei modulierendem, nicht überdimensioniertem Kessel und bis zu 22% bei nicht modulierendem, überdimensioniertem Kessel) auch zu einer Verbesserung des Jahresnutzungsgrades des Pelletkessels. Dies gilt besonders für das Pelletheizgerät-2 da die weniger effizienten Betriebszustände im Sommer sowie der Übergangszeit reduziert werden.

Ein weiterer positiver Effekt der Kombination mit einer Solaranlage ist eine weitere Reduktion der Brennerstarts, welche i.d.R. in Zusammenhang mit dem Emissionsausstoß stehen (vgl. hierzu [14]). Nachdem durch die Einbindung des Kessels über einen Pufferspeicher bereits eine Reduktion der Brennerstarts von mehr als 30 % erreicht wurde (bei nicht modulierenden Kesseln) kann die Zahl der

Starts durch die zusätzliche Solaranlage um weitere 25 % gesenkt werden. Die Reduktion der Starts konnte bei beiden Pelletheizgeräten festgestellt werden (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 16).

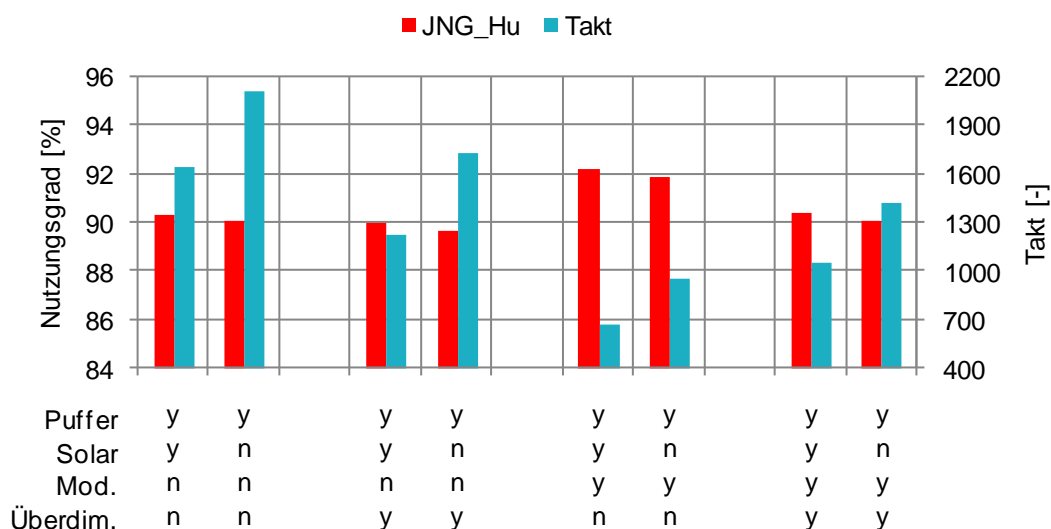


Abbildung 15: Einfluss Solaranlage für das Heizgerät-1. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch die Beladung des vorhandenen Pufferspeichers (mit/ohne Solaranlage) unterscheiden. Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes bezogen auf Hu (JNG_Hu) sowie die Anzahl der Brennerstarts (Takt).

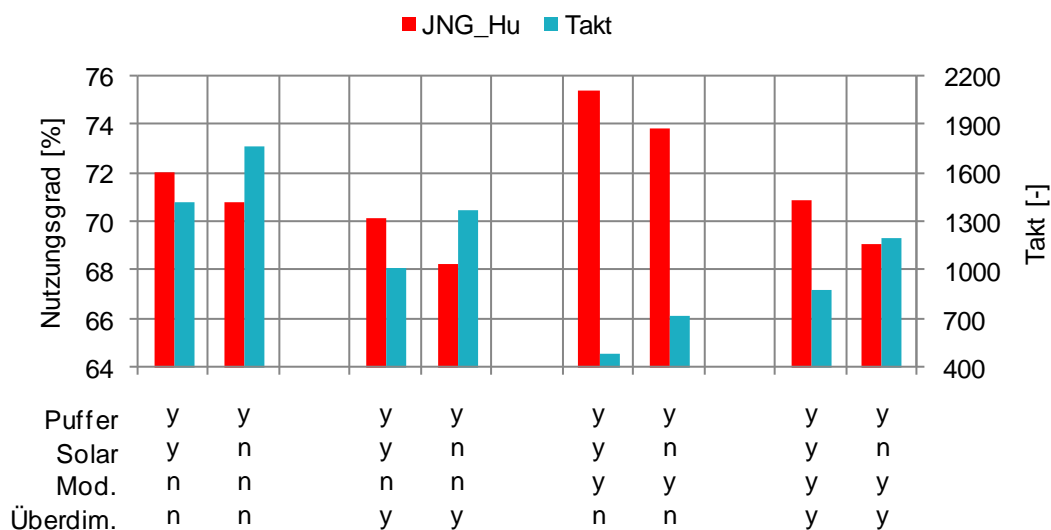


Abbildung 16: Einfluss der Solaranlage bei Heizgerät-2. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch die Beladung des vorhandenen Pufferspeichers (mit/ohne Solaranlage) unterscheiden. Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes bezogen auf Hu (JNG_Hu) sowie die Anzahl der Brennerstarts (Takt).

Einfluss Modulation

Der Einfluss der Modulation auf die Effizienz wirkt sich bei Pelletheizgerät-2 deutlich stärker aus als bei Pelletheizgerät-1. Durch den Betrieb bei einer kleineren Leistungsstufe verändern sich anteilmässig die Verluste durch das Rauchgas kaum (in beiden Geräten). Die Wärmeverluste an die Umgebung durch Strahlung und Konvektion hingegen sind bei den modulierenden Geräten über das gesamte Jahr gesehen kleiner als bei den nicht modulierenden Geräten. Dies trifft besonders bei der Einbindung über eine hydraulische Weiche (hier sind auch die Anzahl der Starts am höchsten) sowie bei überdimensionierten Geräten zu (in der Kombination aus beidem, hydraulischer Weiche und Überdimensionierung, ist der negative Effekt der fehlenden Modulation am stärksten ausgeprägt).

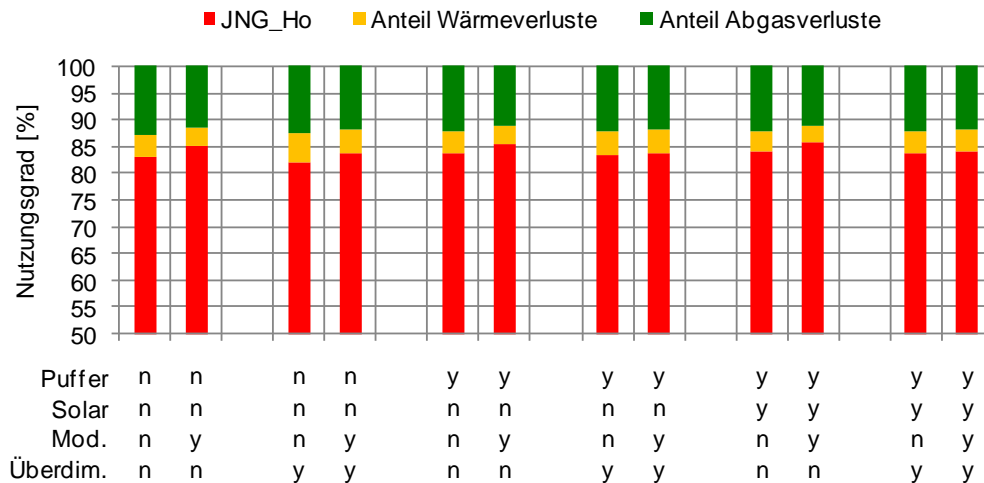


Abbildung 17: Einfluss Modulation Heizgerät-1. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch die Modulationsfähigkeit des Heizgerätes unterscheiden. Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes bezogen auf den oberen Heizwert (JNG_Ho) sowie die anteilmässigen Verluste des Heizgerätes als Wärmeverluste und Rauchgasverluste.

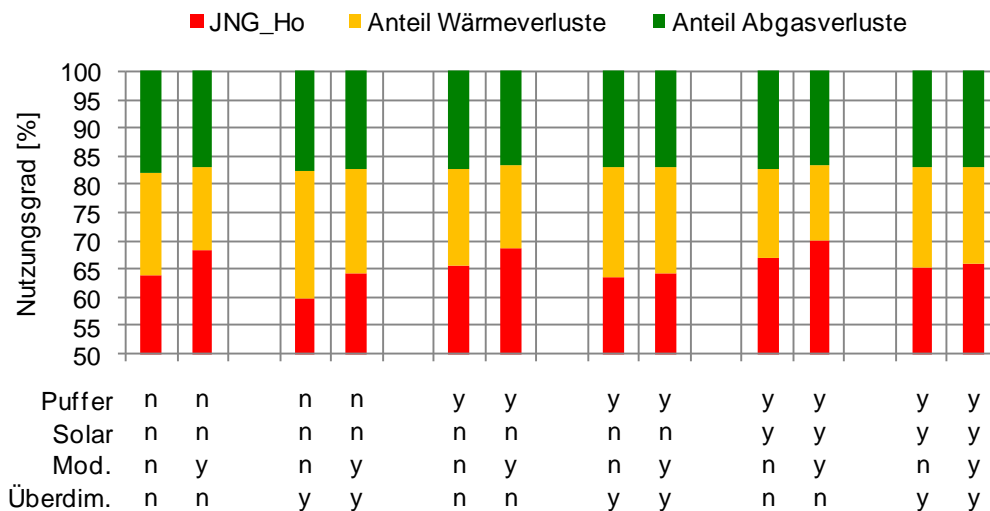


Abbildung 18: Einfluss Modulation Heizgerät-2. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch die Modulationsfähigkeit des Heizgerätes unterscheiden. Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes bezogen auf den oberen Heizwert (JNG_Ho) sowie die anteilmässigen Verluste des Heizgerätes als Wärmeverluste und Rauchgasverluste.

Einfluss Überdimensionierung

Es wurden Simulationen durchgeführt bei denen dasselbe Heizgerät jeweils ein Gebäude mit einem Wärmebedarf von 14000 kWh/a (nicht überdimensionierter Fall) und ein Gebäude mit einem Wärmebedarf von 8400 kWh/a (überdimensionierter Fall) mit Wärme versorgt (vgl. Kapitel 3.3).

Die Verluste über das Rauchgas bleiben dabei unabhängig von der zu deckenden Last anteilmässig jeweils in ähnlicher Grössenordnung, während die Wärmeverluste an die Umgebung (durch Strahlung und Konvektion) vor allem bei Pelletheizgerät-2 anteilmässig mit der Überdimensionierung (bzw. der kleineren Last) stark ansteigen. Dadurch sinkt folglich auch der JNG des Pelletheizgerätes stark wie man den beiden nachfolgenden Graphiken entnehmen kann.

Die im Folgenden dargestellten Vergleichspaare mit modulierendem Kessel weisen jeweils eine bessere Brennstoffverwertung auf als die Vergleichspaare ohne Modulation. Wie im vorherigen Kapitel bereits beschrieben ist gerade bei den modulierenden Paaren auch der grösste Unterschied zu sehen bzgl. des Einflusses einer Überdimensionierung: Ein modulierender aber überdimensionierter Kessel kann aufgrund seiner zu grossen Minimal-Leistung seine Modulationsfähigkeit nicht mehr ausspielen und reduziert den JNG bei der Überdimensionierung deutlich gegenüber der richtig abgestimmten Leistung. Im Gegensatz dazu fällt der Unterschied des JNG bei den Systemen ohne Modulationsfähigkeit zwischen den Varianten mit bzw. ohne Überdimensionierung deutlich geringer aus.

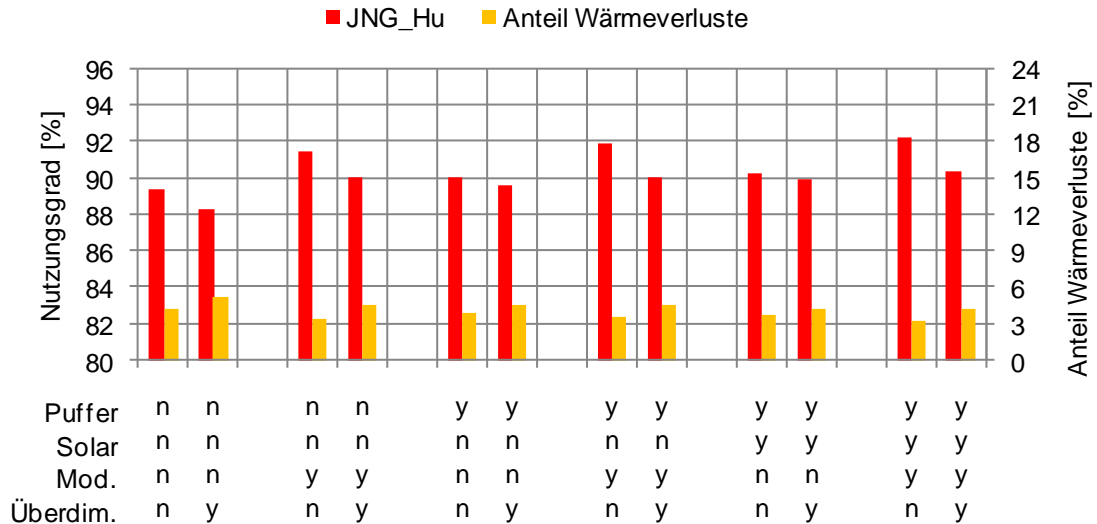


Abbildung 19: Einfluss Überdimensionierung Heizgerät-1. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch die zu deckende Last unterscheiden (Überdimensioniert ja oder nein). Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes (JNG_Hu) bezogen auf den untern Heizwert sowie die anteilmässigen Wärmeverluste an die Umgebung.

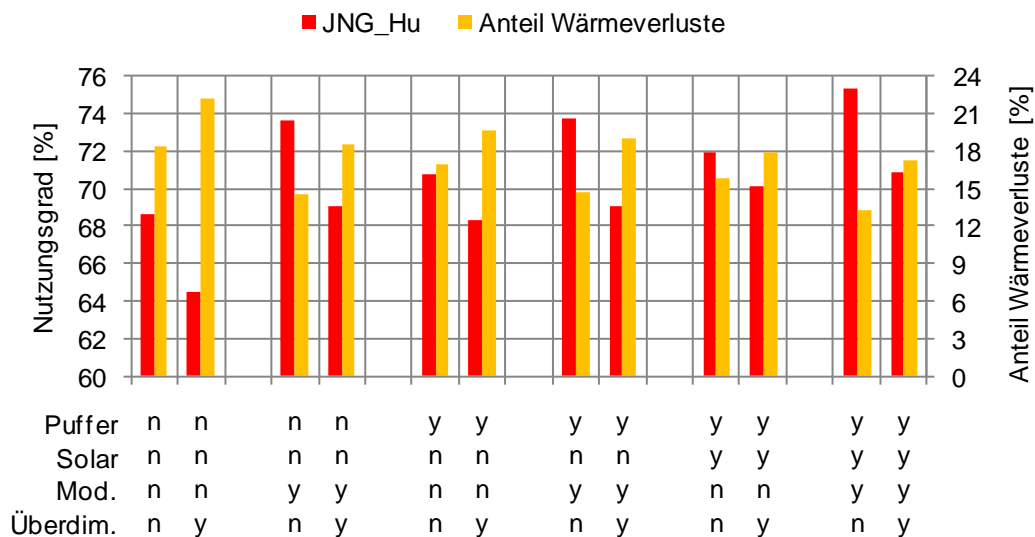


Abbildung 20: Einfluss Überdimensionierung Heizgerät-2. Es werden die Simulationsergebnisse von verschiedenen Varianten gegenübergestellt, die sich durch die zu deckende Last unterscheiden (Überdimensioniert ja oder nein). Dargestellt sind der JNG des Heizgerätes (JNG_Hu) bezogen auf den untern Heizwert sowie die anteilmässigen Wärmeverluste an die Umgebung.

4.3.2. Zuteilung und Quantifizierung der Verluste im Heizsystem

In den nachfolgenden Graphiken (Abbildung 21, Abbildung 22, Abbildung 23) werden die Energiebilanzen für ein ausgewähltes System wiedergegeben (vgl. Tabelle 9, Pelletheizgerät-2, inklusive Pufferspeicher, Solarsystem, Modulationsfähigkeit und Überdimensionierung, Definition yyyy gemäss Tabelle 3). Der elektrische Anteil (Pumpen, Steuerungen etc) wird nicht aufgeführt, da nachfolgend nur die für die thermische Bilanz relevanten Grössen betrachtet werden.

Die Darstellung dieser Resultate illustriert, die Möglichkeiten der SimPel-Methode, welche über die reine Berechnung eines Jahresnutzungsgrades weit hinausgehen. Dementsprechend ist die Methode nicht nur als Ergänzung bei der Normprüfung von Heizgeräten einsetzbar, sondern beispielsweise auch für die Produktentwicklung oder die Herleitung von allgemeinen Empfehlungen.

In Abbildung 21 werden die Energieflüsse auf der Systemebene ausgewiesen. Die Verluste des Heizgerätes liegen mit 27% mit Abstand an erster Stelle, an zweiter Stelle stehen die Verluste des Spei-

chers mit 9%. Der in der Tabelle aufgeführte Pelleteintrag bezieht sich hier auf den Brennwert (oberer Heizwert H_o). Dieser wird hier verwendet, damit auch die latenten Rauchgasverluste in der Bilanz dargestellt werden könnten. In den anderen Tabellen in diesem Bericht werden wie in der Branche üblich die unteren Heizwerte (H_u) für den Jahresnutzungsgrad zur besseren Vergleichbarkeit mit angegeben.

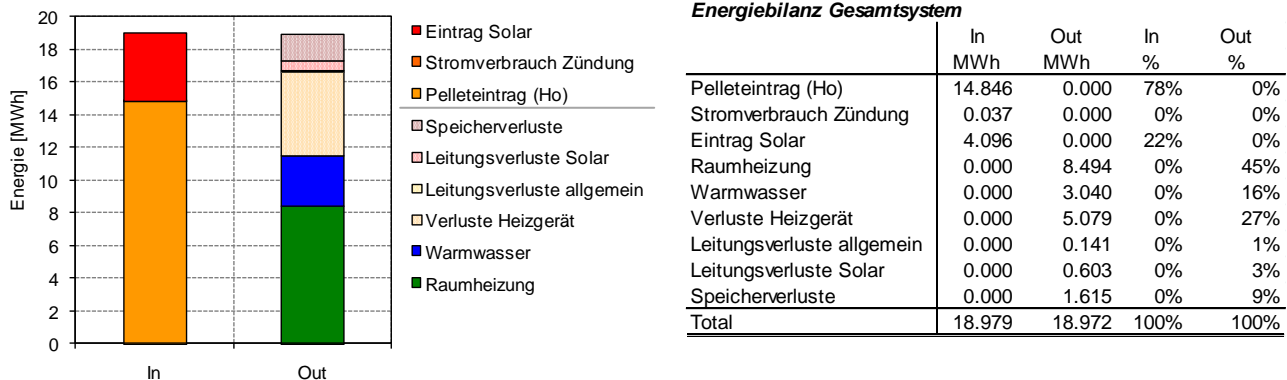


Abbildung 21: Tabellarische und grafische Darstellung der Energiebilanz für das gesamte Heizsystem (Daten für Heizgerät-2 inklusive Pufferspeicher, Solarsystem, Modulationsfähigkeit und Überdimensionierung, Definition yyyy gemäss Tabelle 3).

In Abbildung 22 werden die Energiebilanzen des Pufferspeichers ausgewiesen. 27% Prozent der Energie welche in den Speicher gespeisen wird stammt aus der Solaranlage. Der Rest kommt vom Biomasseheizgerät. 12% der gesamten Energiemenge, welche über ein Jahr den Speicher verlässt, ist auf dessen Verluste zurückzuführen. Dabei ist zu beachten, dass ein grosser Teil dieser Verlustmenge auch auf die Zeit in der Sommerperiode fällt, wo seitens der Solaranlage ein Energieüberschuss in den Speicher gepumpt wird.

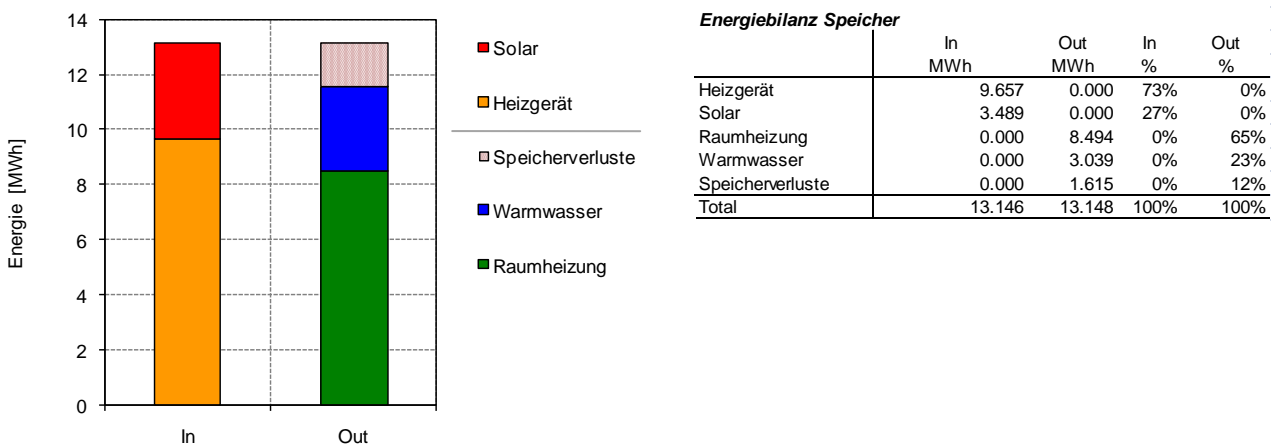


Abbildung 22: Tabellarische und grafische Darstellung der Energiebilanz für den Speicher (Daten für Heizgerät-2 inklusive Pufferspeicher, Solarsystem, Modulationsfähigkeit und Überdimensionierung, Definition yyyy gemäss Tabelle 3).

In Abbildung 23 werden die Energiebilanzen aufgeschlüsselt für das Biomasseheizgerät-2 wiedergegeben. Für den hier dargestellten Fall fallen die Wärmeverluste an Umgebung (bestehend aus Strahlung und Konvektion) des Kessels ähnlich hoch aus wie die Rauchgasverluste. Die Wärmeverluste an Umgebung können nochmals unterteilt werden in Verluste des Wassermantels (Temperaturabhängig) und der Brennkammer (Leistungsabhängig). Das bei der SimPel-Methode verwendete Kesselmodell erlaubt eine Unterteilung in diese beiden Verlustarten. Der Effekt, dass sich die Wärmeverluste an die Umgebung so aufteilen lassen, wurde im Projekt PelletSolar [13] entdeckt. Die Rauchgasverluste teilen sich wiederum auf in latente und sensible Verluste.

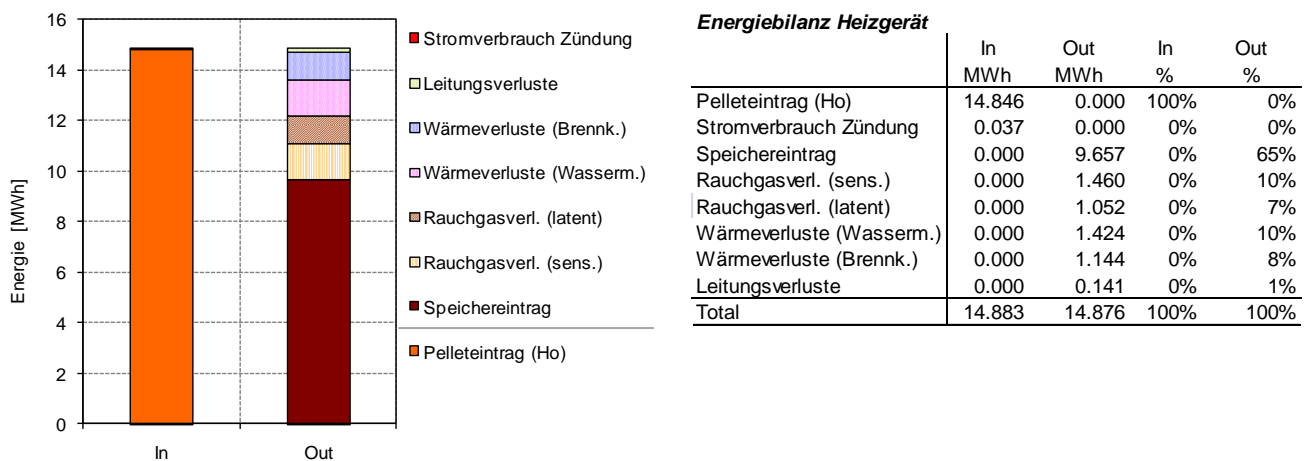


Abbildung 23: Tabellarische und grafische Darstellung der Energiebilanz für das Heizgerät (Daten für Heizgerät-2 inklusive Pufferspeicher, Solarsystem, Modulationsfähigkeit und Überdimensionierung, Definition yyyy gemäss Tabelle 3).

5 Diskussion

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Resultate des vorliegenden Projektes diskutiert. Dabei wird zunächst diskutiert, welche Punkte bei der Durchführung der SimPel-Methode zu beachten sind. Anschliessend wird die vom SPF entwickelte SimPel-Methode der Methode des Projektpartners gegenübergestellt. Dabei werden nicht in erster Linie die erzielten Ergebnisse diskutiert, sondern grundsätzlich deren methodische Vor- und Nachteile miteinander verglichen. Im dritten Unterkapitel 5.3 werden die Ergebnisse der Simulationen für die verschiedenen Systemvarianten aus Kapitel 4.3 detailliert analysiert und es werden die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Jahresnutzungsgrad des Systems und des Kessels beschrieben. Insbesondere wurden dabei die Einflüsse von Solaranlage, Pufferspeicher, Kessel-Überdimensionierung sowie Modulationsfähigkeit untersucht. Im letzten Unterkapitel werden dann noch die Ergebnisse der hier vorgestellten Methoden den Resultaten aus Langzeitfeldmessungen gegenübergestellt.

5.1. Durchführung der SimPel-Methode

In Kapitel 3.2 wurde der grundsätzliche Ansatz der SimPel-Methode und die dabei benötigten Messwerte zur Durchführung beschrieben. Nachfolgend werden einzelne Aspekte bei der Durchführung der SimPel-Methode genauer diskutiert.

Gemäss Abbildung 1 besteht der erste Schritt der SimPel-Methode darin, das Heizgerät im Prüfstand auszumessen. Die benötigten Messdaten decken sich mit den Werten, die im Rahmen der Normprüfung 303-5 [1] erhoben werden, wobei ergänzende Messungen die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Methode erhöhen können. Damit die Aussagekraft des berechneten Jahresnutzungsgrades mit der SimPel-Methode basierend auf den Messungen aus der 303-5 Normprüfung möglichst repräsentativ ausfällt, gilt es folgende Punkte zu beachten:

- Das zu prüfende Biomasseheizgerät sollte baugleich (z.B. Isolation) sein mit den Seriengeräten, welche in der Praxis zum Einsatz kommen.
- Die Einstellungen am Heizgerät sollten denjenigen aus der Praxis entsprechen (u.a. Leistungsregelung, Luftüberschusswerte etc.). Dazu gehört auch, dass kein manueller Eingriff während der Prüfung erfolgt wie dieser bei der Zulassungsprüfung nach EN-303-5 möglich ist, da dieser Eingriff die Situation gegenüber dem Praxisbetrieb verzerrt. Vor allem im Zusammenhang mit der Leistungsregelung und den Luftüberschusswerten kann der manuelle Eingriff einen starken Einfluss haben. Im Rahmen dieses Projektes wie auch bei den bisher am SPF durchgeführten Messungen an Biomasseheizgeräten [13][14] wurde festgestellt, dass sich die Werte, welche bei der Zulassungsprüfung ermittelt werden, häufig stark von den Werten unterscheiden, welche bei den in der Praxis installierten Seriengeräten tatsächlich erzielt werden.
- Bei der aktuellen Normprüfung findet die Teillastmessung standardmässig bei 30% der Nennlast statt. Geräte, die beispielsweise nur bis 50% runter-modulieren können, werden beim bestehenden Vorgehen bei 30% der Nennlast im Taktbetrieb gemessen (wenn nicht durch den

manuellen Eingriff trotzdem ein stationärer Betrieb erreicht wird). Für die SimPel Methode findet die Teillastmessung idealerweise bei der minimalen Leistungsstufe statt, bei welcher der Kessel stationär betrieben werden kann, und nicht bei einem fixierten Teillastwert. Dieser minimale Teillastwert wird entweder vom Hersteller vorgegeben, oder über die stetige Reduktion der Last ermittelt.

- Der im Rahmen der Prüfstandsmessung ermittelte Wert für den Abstrahlungsverlust des Heizgerätes hat beim SimPel-Ansatz einen starken Einfluss auf das Endresultat des Jahresnutzungsgrades. Im Rahmen der Normprüfung 303-5 wird dieser Wert (nach DIN 4702-2:1990) über die Oberflächentemperaturmessungen bei Nennlast bestimmt. Messungen aus vorausgehenden Projekten [13] haben gezeigt, dass die Abstrahlungsverluste eines Heizkessels sowohl Temperatur wie auch leistungsabhängig sind. Das verwendete Kesselmodell erlaubt eine Parametrisierung, bei welcher die Abstrahlungsverluste in Abh. der Leistungsstufe definiert werden können. Um die Genauigkeit der Methode zu erhöhen sollten die Abstrahlungsverluste daher idealerweise zusätzlich auch bei Teillast erhoben werden.
- Die Genauigkeit der Bestimmung der Abstrahlungsverluste über die Oberflächentemperaturmessung (nach DIN 4702-2:1990) ist umstritten. Es bestehen folgende alternative Methoden, die ggf. zur Überprüfung ergänzend durchgeführt werden können:
 - Differenz des feuerungstechnischen Wirkungsgrads zum Gesamtwirkungsgrad abzüglich der chemischen und Ascheverluste. Hier besteht das Problem darin, dass die Brennstoffqualität nur ungenau bestimmt werden kann (allfällige heterogene Brennstoffqualität), was die Genauigkeit des Gesamtwirkungsgrades beeinflusst.
 - Bestimmung der Abstrahlungs- bzw. Auskühlverluste in Anlehnung an die europäische Prüfnorm prEN-12977-3 [15] zur Bestimmung der Wärmeverluste von Solarspeichern. Dabei wird zuerst die thermische Masse des Kessels bestimmt. Hierzu wird dieser bei ausgeschaltetem Brenner auf eine bestimmte Temperatur konditioniert (z.B. typische Betriebstemperatur von 65 °C), und anschliessend die Wärmemenge bestimmt welche dem Kessel über den Heizkreis entzogen werden kann bis zum Erreichen einer Temperatur von 20 °C in Vor- und Rücklauf. In einem zweiten Schritt wird dasselbe Verfahren noch einmal angewendet, jedoch mit einer Wartezeit von vier Stunden zwischen dem Konditionieren und der Entnahme der Wärme. Aus den Messresultaten lässt sich der temperaturabhängige Wärmeverlustkoeffizient berechnen
- Ein weiterer Wert zu bestimmender bzw. abzuschätzender Parameter ist die thermische Masse des Heizgerätes. Dieser Wert hat einen Einfluss auf das Taktverhalten des Gerätes. Ein Ansatz um die thermische Masse abzuschätzen besteht darin, dass man die thermische Kapazität über Wasserinhalt und dem Eigengewicht des Kessels (Annahme: spezifische Wärme von Stahl) abschätzt. Da häufig nicht das gesamte Heizgerät mit dem Wasserkörper thermisch verbunden ist, kann dieser Ansatz ggf. eine Verzerrung gegenüber der Realität darstellen. Genauer, aber deutliche aufwendiger ist die messtechnische Bestimmung der thermischen Masse.
- Bei den hier durchgeführten Simulationen zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrades wurden sowohl für das Regelungsverhalten wie auch für die hydraulische Einbindung Standardbedingungen vorgegeben. Beide Faktoren haben einen massiven Einfluss auf den Jahresnutzungsgrad eines Heizgerätes. Sowohl Regelungsverhalten wie auch die hydraulische Einbindung werden in der Praxis häufig individuell vom Installateur bzw. vom Heizgerätenutzer vorgegeben. Für Forschungszwecke ist eine Ermittlung individuelle Vorgabe/Ermittlung dieser Parameter möglich, für eine Normprüfung müssen wie im Rahmen dieses Projektes erfolgt repräsentative Standardwerte eingesetzt werden.
- Die SimPel-Methode kann dazu eingesetzt werden, um (neben dem energetischen Jahresnutzungsgrad) die über ein gesamtes Jahr ausgestossenen Emissionen zu bestimmen („Jahresemissionsfracht“). Im Projekt PelletSolar-2 wurde dies für zwei Heizgeräte durchgeführt und das Vorgehen detailliert dokumentiert [14]. Die Normprüfung EN-303-5 bestimmt derzeit bereits Emissionen bei Voll- und Teillast. Zur Berechnung der Jahresemissionsfracht müssen in Ergänzung dazu idealerweise die Emissionswerte für die Betriebsphasen des Kessel Ein- und Ausschaltens bekannt sein, da diese Betriebspunkte emissionstechnisch i.d.R. relevant sind.

5.2. Generelle Gegenüberstellung der Methoden von ISEB und SimPel

In der nachfolgenden Tabelle 6 werden die Vor- und Nachteile der im Rahmen dieses Projektes entwickelten SimPel-Methode und der Methode des Projektpartners Bionenergy2020+ zusammenfassend gegenübergestellt. Beide Methoden weisen spezifische Vor- und Nachteile auf. Dementsprechend sollte geprüft werden, ob eine Kombination der beiden Ansätze Sinn machen könnte.

Wie bereits mehrfach erwähnt wurde bei den bisher am SPF durchgeführten Messungen an Pelletheizgeräten wie auch bei den im Rahmen dieses Projektes erhobenen Daten des Projektpartners ein massiver Unterschied zwischen den eigens im Labor gemessenen Daten gegenüber den ermittelten Resultaten aus der Zulassungsprüfung EN-303-5 festgestellt. In Kapitel 1 Ausgangslage wurde beschrieben, weshalb Jahresnutzungsgrade eine sinnvolle Ergänzung zu den bisher in der Normprüfung ausgewiesenen Wirkungsgraden darstellen. Die Aussagekraft der Jahresnutzungsgrade hängt jedoch genau gleich wie bei den Wirkungsgraden davon ab, dass die Messungen zu deren Bestimmungen realitätsnah durchgeführt werden. Ohne diese Voraussetzung bringt die mögliche Integration des Jahresnutzungsgrades in die Normprüfung nur einen beschränkten Mehrwert.

Tabelle 6: Übersicht zu den Vor- und Nachteilen der beiden Methoden zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrades von Pelletheizgeräten.

	ISEB	SimPel
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + Methode mit vertretbarem Zusatzmessaufwand (8h) hinsichtlich Integration in Normprüfung + Die Messung liefert das direkte Resultat ohne zusätzliche Umrechnungen/Hochrechnungen (JNG) + Bestehendes Excel-Tool, welches eine einfache Eingabe der Messdaten zur JNG-Bestimmung erlaubt. 	<ul style="list-style-type: none"> + Parametrisierung direkt durch Zulassungs-Prüfbericht möglich, so dass kein zusätzlicher Messaufwand entsteht + Steuerung, Gebäudelast, Zapfprofil und klimatische Voraussetzungen anpassbar + Real-Time Jahressimulation, d.h. es werden alle Zustände die über das Jahr auftreten, ausgewertet + Integration von Emissionsfaktoren zur Berechnung von Jahresemissionsfaktoren möglich und erprobt (in Zusammenarbeit mit HSLU Luzern, Th. Nussbaumer, J. Good) [16]
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Übertragbarkeit des über 8 Stunden gemessenen Nutzungsgrads zum Jahresnormnutzungsgrad gilt es zu validieren – Fixes Profil, nicht anpassbar auf andere Klima/Lastverteilung (keine Sensitivitäten berechenbar) – Keine Berücksichtigung von System-Einflüssen (hydraulische Einbindung, Regelung) 	<ul style="list-style-type: none"> – Simulierte nicht stationäre Zustände, ggf. nicht identisch mit Realität (lösbar durch Validierung mit dynamischer ISEB-Messung) – Idealerweise weitere Zusatzparameter noch im Prüfstand zu bestimmen (thermische Masse, Abstrahlungsverluste, ggf. Emissionsfaktoren)

5.3. Diskussion der Simulationsergebnisse Systemvarianten

Die in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Ergebnisse zu Jahressimulationen von Systemvarianten werden in diesem Kapitel diskutiert. Die Ergebnisse der Systembetrachtungen unterstreichen, dass der Jahresnutzungsgrad eines Heizkessels stark von dessen Einbindung in das Heizsystem abhängen kann. Dementsprechend ist es wichtig, dass bei der Bewertung von Heizgeräten mitunter eine integrale Betrachtung des Heizsystems stattfindet. Die JNG-Bestimmungsmethode SimPel ermöglicht es, die Effizienz eines Gerätes für verschiedene Systemrandbedingungen ohne zusätzlichen Messaufwand zu bestimmen.

Bei den durchgeführten Simulationen verschiedener Systemvarianten zeigte sich, dass vor allem bei weniger guten Heizgeräten die Einbindung in das Gesamtsystem den Jahresnutzungsgrad stark beeinflusst (illustriert an Heizgerät-2), währendem bei guten Heizgeräten der Einfluss eher gering ist (illustriert an Heizgerät-1). Mit „guten Geräten“ bezieht man sich hier vereinfacht gesprochen auf die folgenden drei Eigenschaften des Heizgerätes:

- Geringe Wärmeverluste an Umgebung (Abstrahlung und Konvektion) durch gute Isolation
- Geringe Rauchgasverluste auf der ganzen Modulationsbreite
- Gute Regelung zur schnellen Modulationsanpassung an die geforderte Last

Bei einem nach obiger Definition guten Gerät spielt es beispielsweise keine grosse Rolle, ob dieses mit oder ohne Pufferspeicher betrieben wird. Das Gerät vermag auch ohne Pufferspeicher seine Leistung durch Modulation an die geforderte Last anzupassen und weist dabei einen hohen Nutzungsgrad auf. Bei einem „schlechten“ Gerät ist ein Pufferspeicher hingegen von Vorteil, da dieser das nicht-Vermögen des Modulierens und der ineffizienten Betriebsweise im Teillastbereich zu verhindern vermag. Ähnliches gilt für den Fall, bei welchem das Heizgerät gegenüber der Last überdimensioniert eingesetzt wird. Ein guter Kessel kann durch eine schlaue geregelte Modulation und effiziente Betriebsweise im Teillastbereich auch mit dieser nicht optimalen Systemrandbedingung umgehen. Bei einem Modell gemäss Heizgerät-2 wirkt sich dieser Umstand stark verschlechternd auf die Betriebseffizienz aus. Das heisst, dass eine gute Dimensionierung umso wichtiger ist. Auch die Einbindung einer Solaranlage hat vor allem auf den Betrieb des Heizgerätyps-2 einen Einfluss. Hier hilft die Solaranlage zusätzlich, die schlechten Betriebszustände des Gerätes in den Übergangsmonaten auszufiltern. Die durchgeführten Systemsimulationen zeigen auf, dass die SimPel-Methode eine integrale Betrachtung des Heizgerätes (eingebunden in das Gesamtsystem) ermöglicht und dass die Methode mit minimalem Zusatzaufwand umsetzbar ist.

5.4. Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit Langzeit-Feldmessungen

Im Sinne einer groben Validierung der hier vorgestellten Resultate zur Berechnung des Jahresnutzungsgrades können die erzielten Ergebnisse den Messungen gegenübergestellt werden, welche im Rahmen von Langzeitstudien im Feld durchgeführt wurden. Gemäss Informationsstand der Autorenschaft wurden bis dato erst wenige Langzeit-Untersuchungen an Biomassegeräten in der Praxis durchgeführt. Dies dürfte unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass sich solche Langzeitmessungen i.d.R. sehr aufwendig gestalten. Zu den bisher erschienenen Studien gehören diejenige von Schraube [17] sowie diejenige von Kunde [18]. Auch Haller [11] hat Langzeituntersuchungen an Pellettheizgeräten durchgeführt, wobei dabei nicht der Jahresnutzungsgrad, sondern die generelle Funktionalität der Geräte im Vordergrund stand.

Bei den Untersuchungen Christian Schraube des European Institute for Energy Research EIFER wurden insgesamt acht Geräte untersucht. Ein Auszug aus den Ergebnissen ist in Abbildung 24 dargestellt. Bei den Untersuchungen von Robert Kunde des ZAE Bayern wurde der Jahresnutzungsgrad für total sechs Geräte in unterschiedlichen Systemkonfigurationen im Feld ermittelt (vgl. Abbildung 25).

Die Ergebnisse beider Studien zeigen, dass die Jahresnutzungsgrade der untersuchten Geräte überwiegend unter 75% liegen, also deutlich unter den in den Prüfberichten ausgewiesenen Wirkungsgraden im Stationärbetrieb. Die in Abbildung 24 dargestellte Anlage G mit über 80% bzw. 85% Jahresnutzungsgrad zeigt auf, dass es auch bei kleinen Anlagen durchaus möglich ist, Werte von deutlich über 75% zu erreichen.

Die mit der SimPel⁴- und der ISEB-Methode untersuchten Biomasse-Geräte zeigten Werte, die in der gleichen Größenordnung liegen. Um die SimPel-Methode (wie auch die Methode von Bioenergy2020+) genauer hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Zuverlässigkeit bewerten zu können, müsste im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten eine Validation der Methode mit den Geräten aus den Feldmessungen durchgeführt werden.

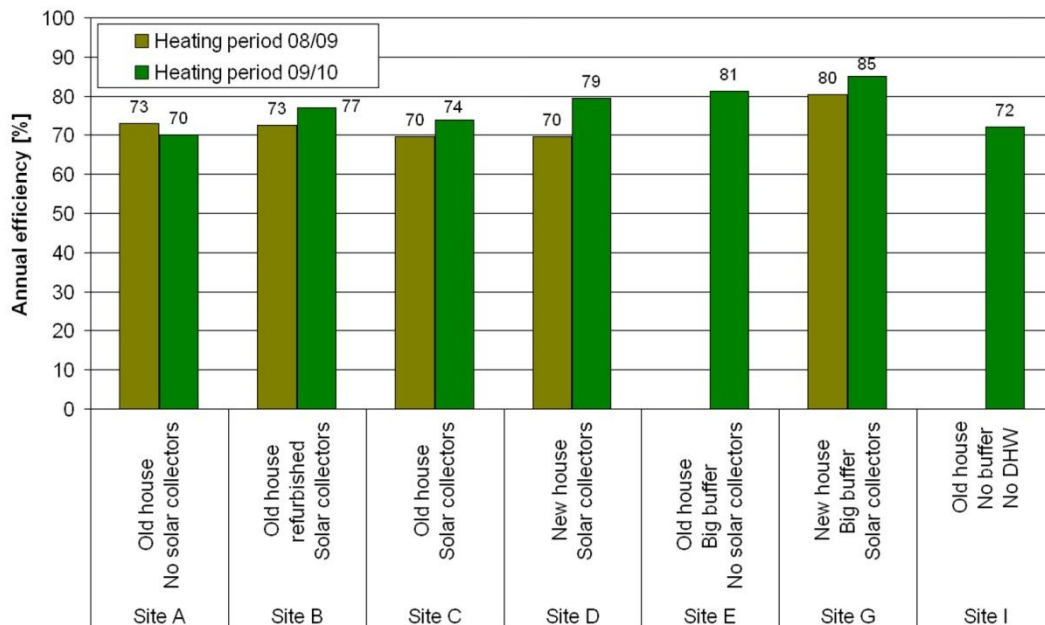


Abbildung 24: Ergebnisse der Untersuchungen von Christian Schraube et al. vom European Institute for Energy Research EIFER. Dargestellt sind im Feld gemessene „reale“ Jahresnutzungsgrade für verschiedene Pelletheizgeräte zwischen 10 und 35kW. Die Graphik wurde aus [17] übernommen.

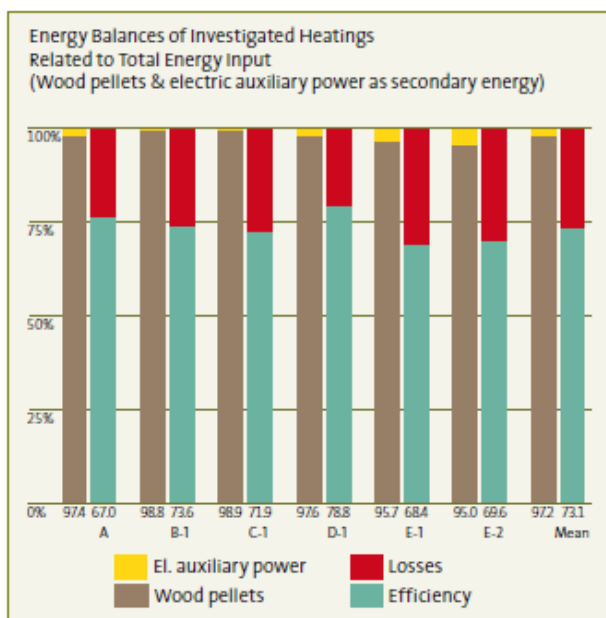


Abbildung 25: Ergebnisse der Untersuchungen von Robert Kunde des ZAE Bayern. Die gemessenen Jahresnutzungsgrade der sechs betrachteten Geräte lagen im Durchschnitt bei 73% (vgl. grüner Balken „Efficiency“). Graphik übernommen aus [18].

⁴ Diese Aussage bezieht sich auf die Werte erzielt für Heizgerät-2, welches mit praxisnahen Messdaten parametrisiert wurde.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die beiden beschriebenen Methoden zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrades basieren auf grundsätzlich unterschiedlichen Ansätzen und Systemgrenzen. Während der Ansatz vom SPF die Regelung und die Integration des Heizgerätes in ein Gesamtsystem berücksichtigt, fokussiert der Ansatz vom österreichischen Kooperationspartner (Bioenergy2020+) auf das Heizgerät.

Beim Ansatz von Bioenergy2020+ besteht die Schwierigkeit darin, dass durch die limitierte Kesselprüfdauer ein Prüfzyklus-basierter Nutzungsgrad ermittelt wird, der möglicherweise den über das gesamte Jahr auftretenden Betriebszustände nicht Rechnung trägt. Die Herausforderung des am SPF entwickelten Ansatzes hingegen besteht darin, die Regelungseinstellung und die Integration ins Heizsystem für das zu prüfende Heizgerät repräsentativ zu wählen. Bei allen Methoden zur vereinfachten Bestimmung des Jahresnutzungsgrades muss ein Kompromiss zwischen marktnahen Aspekten (geringe Prüfkosten, wenige klar kommunizierbare Kennwerte) und wissenschaftlichen Anforderungen (Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Methode) gefunden werden.

Die Ergebnisse der beiden hier betrachteten Methoden (ISEB, SimPel) wurden sowohl untereinander wie auch mit Langzeitfeldmessungen verglichen. Dabei konnte grundsätzlich eine relativ gute Übereinstimmung gefunden werden. Die ermittelten bzw. gemessenen Jahresnutzungsgrade von Pelletheizgeräten liegen in der Regel bei rund 75%, bezogen auf den (unteren) Heizwert. Die Langzeitfeldmessung von Schraube [17] zeigt, dass Jahresnutzungsgrade bei Pelletheizgeräten von 85% in der Praxis durchaus möglich, aber leider nicht die Norm sind.

Die Simulationen verschiedener Systemvarianten gemäss der SimPel-Methode konnten aufzeigen, wie stark die Einbindung des Heizgerätes in das Gesamtsystem dessen Funktionalität und Effizienz beeinflussen. Vor allem bei weniger guten Heizgeräten (Heizgerät-2) haben Systemeinbindung und Systemgestaltung einen sehr starken Einfluss auf die Effizienz. Die SimPel-Methode ermöglicht es im Sinne einer integralen Betrachtungsweise diesen Einfluss mit geringem Zusatzaufwand zu bestimmen. Diese Möglichkeit unterscheidet die SimPel-Methode von den meisten anderen Methoden.

Zwischen den beiden untersuchten Heizgeräten konnten massive Unterschiede bzgl. Funktionalität und Effizienz identifiziert werden. Dieser Umstand zeigt auf, dass es durchaus möglich ist, gut funktionierende und sehr effiziente Pelletkessel in der Praxis anzutreffen (Heizgerät-1). Das Beispiel des Heizgerätes-2 zeigt aber auch, dass viele Hersteller dieses Potential bei weitem noch nicht ausgeschöpft haben, und bzgl. der Wärmeverluste an Umgebung, Rauchgasverluste (bei Teill- und Vollast) und des Regelungsverhaltens (insbesondere Modulationsregelung) ihre Produkte noch deutlich optimieren könnten.

Im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten sollte eine breitere Validierung der betrachteten Methoden (SimPel und ISEB) stattfinden. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde die SimPel-Methode auf zwei Heizgeräte angewandt. Mit dieser Datengrundlage können erste Aussagen im Sinne einer Thesenbildung aufgestellt werden, eine Verallgemeinerung der Erkenntnisse ist damit jedoch nur wenig fundiert. Idealerweise erfolgt die Validierung der Methoden mit den Heizgeräten, für welche bereits Langzeit-Feldmessungen existieren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es aufgrund der gesammelten Erkenntnisse möglich erscheint, mit geringem Zusatzaufwand den JNG eines Pelletheizgerätes zuverlässig zu bestimmen. Der JNG bildet für Endkonsumenten wie auch für Hersteller (z.B. zur Abgrenzung gegenüber anderen Produkten) einen wichtigen Indikator zur Beurteilung von Heizgeräten. Dementsprechend sollten die Möglichkeiten für eine Integration von Methoden zur JNG-Bestimmung in gängige Prüfnormen (EN-303-5 oder auch Ökodesign-Direktive für Festbrennstofffeuerungen) genauer geprüft werden. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass mit den energiepolitischen Zielen für den Wärmemarkt in der EU die integrale Betrachtung von Heizsystemen entscheidend an Bedeutung gewinnt.

Literaturverzeichnis

- [1] EN 303-5: Heizkessel - Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, hand- und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 300 kW - Begriffe, Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnung
- [2] Vogelsanger, P., et al.: Jahresleistungsermittlung von Solarsystemen mit der Concise Cycle Test (CCT) Methode, SPF Institut für Solartechnik ,
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/KombiPruefmethodeCCT.pdf>, 2004
- [3] Klein, S.A. 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
- [4] Heckmann M.; Schwarz M.: Leitfaden zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und Jahresnormemissionsfaktoren am Prüfstand; Bioenergy 2020+, 2010
- [5] Schwarz, M.; Heckmann, M.; Lasselsberger, L.; Haslinger, W.: Determination of annual efficiency and emission factors of small-scale biomass boiler. Proc. of the 3rd Central-European Biomass Conference, Jan 2011, Graz, Austria, Austrian Biomass Association (Ed.), Austria
- [6] Friedl, G.; Heckmann, M.; Rossmann, P : Nutzungsgradsteigerung bei Pelletsfeuerungen, 9. IndustrieForum Pellets, Stuttgart, 2009
- [7] VDI 4655: Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen
- [8] Haller, M.: TRNSYS Type 869 Boiler Model, Version 5.02, 2009.
<http://www.solarenergy.ch/Produkte.56.0.html>
- [9] Haller, M.Y., Paavilainen, J., Konersmann, L., Haberl, R., Dröscher, A., Frank, E., Bales, C. & Streicher, W., 2010. A Unified Model for the Simulation of Oil, Gas, and Biomass Space Heating Boilers for Energy Estimating Purposes - Part I: Model Development. Journal of Building Performance Simulation, 4: 1, 1 – 18.
- [10] Haller, M.Y., Paavilainen, J., Konersmann, L., Haberl, R., Dröscher, A., Frank, E., Bales, C. & Streicher, W., 2010. A Unified Model for the Simulation of Oil, Gas, and Biomass Space Heating Boilers for Energy Estimating Purposes - Part II: Parameterization and Comparison with Measurements. Journal of Building Performance Simulation, 4: 1, 19 – 36.
- [11] Haller, M.Y.: Combined Solar and Pellet Heating Systems - Improvement of Energy Efficiency by Advanced Heat Storage Techniques, Hydraulics, and Control. PhD Thesis, Graz University of Technology, Graz, 2010
- [12] Heimrath R.; Haller, M.: Project Report A2 of Subtask A: The Reference Heating System, the Template Solar System - A Report of IEA SHC Task 32: Advanced Storage Concepts for Solar and Low Energy Buildings, 2007
- [13] Konersmann, L.: PelletSolar - Leistungsanalyse und Optimierung eines Pellet-solkombinierten Systems für Heizung und Warmwasser – Schlussbericht BFE,
<http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung>, 2007.
- [14] Haberl, R., et al.: PelletSolar-2 Schlussbericht BFE,
<http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung>, 2010
- [15] prEN 12977-3 Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 3: Performance test methods for solar water heater stores
- [16] Good, J. and T. Nussbaumer, Emissionsfaktoren moderner pelletkessel unter typischen heizbedingungen. 2009, Hochschule Luzern – Technik & Architektur: Bern, Switzerland.
- [17] Schraube, C et al.: Small pellet boilers – Investigation of efficiencies from field measurements, Central European Biomass Conference (CEBC), Graz, 2011
- [18] Kunde, R. et al: Felduntersuchungen an Holzpellet-Zentralheizkesseln. Beurteilung realer Schadstoffemissionen und Jahresnutzungsgrade; in BWK – Das Energie-Fachmagazin - Ausgabe 1/2-2009, S. 58-66, 2009



ANHANG Datentabelle (Heizgerät-1)

Tabelle 7: Übersicht der Simulationsergebnisse für das Heizgerät-1. Die Definition der dargestellten Werte/Parameter befindet sich in Tabelle 9.

Nr. Heizgerät	Pufferspeicher	Solaranlage	Modulation	Überdimens.	Kesseljahresnutzungsgrad (H _u)	Kesseljahresnutzungsgrad (H _o)	Anzahl Brenner-Starts	Kessel-Laufzeit	Stromverbrauch Kessel	Kesselverluste Rauchgas	Kesselverluste an Umgebung	Systemjahresnutzungsgrad (H _o)	Pelletverbrauch	Raumwärme	Brauchwasser	Stromverbrauch System	Output Heizgerät (Wasserseitig bilanziert)	Stromverbrauch Heizgerät	Verluste Leitungen kollektor	Kollektoreintrag	Verluste Leitungen Heizgerät
-					%	%	-	h	%	%	%	%	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	n	n	n	n	89	83	4153	1285	3	13	4	72	20775	14093	3040	1274	18748	684	0	0	498
1	n	n	n	y	88	82	2904	913	4	13	5	68	14755	8494	3040	1116	13161	590	0	0	502
1	n	n	y	n	91	85	1300	3450	3	12	3	73	20555	14092	3040	1243	18864	653	0	0	513
1	n	n	y	y	90	84	1509	2237	4	12	5	68	14651	8496	3040	1123	13263	597	0	0	524
1	Y	n	n	n	90	84	2098	1275	2	12	4	74	20607	14094	3040	980	18652	390	0	0	270
1	Y	n	n	y	90	83	1725	880	2	12	5	71	14222	8494	3040	844	12821	318	0	0	195
1	Y	n	y	n	92	85	945	3042	2	11	4	75	20241	14094	3040	1055	18628	465	0	0	283
1	Y	n	y	y	90	84	1417	1200	2	12	5	72	14171	8494	3040	852	12820	326	0	0	187
1	Y	y	n	n	90	84	1642	1057	2	12	4	88	17093	14094	3040	987	15500	336	607	4170	209
1	Y	y	n	y	90	84	1216	666	2	12	4	93	10770	8494	3040	848	9743	262	602	4132	130
1	Y	y	y	n	92	86	666	2647	2	11	3	89	16815	14093	3040	1058	15533	407	611	4118	226
1	Y	y	y	y	90	84	1053	888	2	12	4	93	10743	8494	3040	856	9755	270	602	4117	130

ANHANG Datentabelle (Heizgerät-2)

Tabelle 8: Übersicht der Simulationsresultate für das Heizgerät-2. Die Definition der dargestellten Parameter befindet sich in Tabelle 9.

Nr. Heizgerät	Pufferspeicher	Solaranlage	Modulation	Überdimens.	Kesseljahresnut- zungsgrad (H _u)	Kesseljahresnut- zungsgrad (H _o)	Anzahl Brenner- Starts	Kessel-Laufzeit	Stromverbrauch Kessel	Kesselverluste Rauchgas	Kesselverluste an Umgebung	Systemjahresnut- zungsgrad (H _o)	Pelletverbrauch	Raumwärme	Brauchwasser	Stromverbrauch System	Output Heizgerät (Wasserseitig bilan- ziert)	Stromverbrauch Heizgerät	Verluste Leitungen kollektor	Kollektoreintrag	Verluste Leitungen Heizgerät
-					%	%	-	h	%	%	%	%	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
2	N	n	n	n	69	64	2714	1745	2	18	18	56	27279	14094	3040	1302	18797	712	0	0	508
2	N	n	n	y	64	60	2141	1303	3	18	22	50	20367	8494	3040	1146	13195	620	0	0	511
2	N	n	y	n	74	68	724	4492	2	17	15	60	25567	14089	3040	1258	18849	668	0	0	498
2b*	N	n	y	n	81	75	815	4213	3	13	12	65	23327	14090	3040	1237	18864	648	0	0	503
2	N	n	y	y	69	64	970	3388	3	17	19	53	19150	8494	3040	1130	13256	605	0	0	518
2	Y	n	n	n	71	66	1759	1682	2	17	17	58	26284	14094	3040	1063	18648	474	0	0	269
2	Y	n	n	y	68	63	1368	1199	2	17	20	55	18721	8496	3040	885	12821	360	0	0	193
2	Y	n	y	n	74	69	722	3550	2	17	15	61	25221	14093	3040	1105	18638	515	0	0	292
2	Y	n	y	y	69	64	1196	1600	2	17	19	55	18562	8494	3040	897	12848	372	0	0	201
2	Y	y	n	n	72	67	1416	1377	2	17	16	71	21516	14094	3040	1047	15530	397	609	4138	213
2	Y	y	n	y	70	65	1014	889	2	17	18	73	13884	8494	3040	867	9769	282	602	4113	134
2	Y	y	y	n	75	70	488	3045	2	17	13	74	20617	14093	3040	1084	15553	434	611	4106	234
2	Y	y	y	y	71	66	879	1184	2	17	17	73	13795	8494	3040	876	9806	290	603	4096	141

* Die Variante 2b basiert im Gegensatz zu allen anderen in der Tabelle dargestellten Resultate für Heizgerät-2 auf einer Modellparametrisierung durch den Zulassungsprüfbericht nach EN-303-5.

ANHANG Legende zu Datentabellen

Tabelle 9: Nachfolgenden werden die in Tabelle 7 und Tabelle 8 verwendeten Legenden definiert. Teilweise ist die folgende eine Wiederholung der Legende.

Nr. Heizgerät	Im Rahmen dieses Projektes wurden zwei Pelletheizgeräte untersucht. Die beiden werden in Kapitel 3.4 näher beschrieben.
Pufferspeicher	y: Das Heizsystem hat einen Pufferspeicher (vgl. Abbildung 7). n: Das Heizsystem hat keinen Pufferspeicher (vgl. Abbildung 8).
Solaranlage	y: Eine thermische Solaranlage ist enthalten. n: Es ist keine thermische Solaranlage enthalten.
Modulation	y: Pelletkessel mit Leistungsmodulation. n: Pelletkessel ohne Leistungsmodulation.
Überdimens.	y: Das Heizsystem ist entsprechend der gängigen Auslegung auf das Gebäude abgestimmt. Sprich es wird ein Gebäude von 100 kWh/m ² a eingesetzt (vgl. hierzu Tabelle 2) n: Das Heizsystem ist entsprechend der gängigen Auslegung für das Gebäude überdimensioniert. Sprich es wird ein Gebäude von 60 kWh/m ² a eingesetzt (vgl. hierzu Tabelle 2).
Kessel-Jahresnutzungsgrad	Der Jahresnutzungsgrad des Pelletkessels wird berechnet gemäss Formel 2.
Brenner-Starts	Anzahl der Brennerstarts [-].
Kessel-Laufzeit	Laufzeit des Pelletkessel über das gesamte Jahr.
Stromverbrauch Kessel	Anteil des elektrischen Energieverbrauchs des Heizgerätes bezogen auf die Wasserseitig bilanzierte Energiemenge desselben (u.a. für Regelung oder den Brennerstart).
Kesselverluste Rauchgas	Anteil der Rauchgasverluste bezogen auf den Pelletverbrauch (Brennwert-bezogen). Das eingesetzte Modell erlaubt eine weitere Unterteilung der Rauchgasverluste in sensitive und latente Verluste.
Kesselverluste an Umgebung	Anteil der Verluste an die Umgebung durch Strahlung und Konvektion bezogen auf den Pelletverbrauch (Brennwert-bezogen). Das Kesselmodell kann diese Verluste getrennt ausweisen.
Systemjahres-nutzungsgrad	Der Systemnutzungsgrad wird berechnet gemäss Formel 3.
Pelletverbrauch	Jährlich verbrauchte Energiemenge durch das Verbrennen der Pellets. Der angegebene Wert bezieht sich auf den unteren Heizwert (H_u)
Raumwärme	Jährlich Energiemenge, welche für die Bereitstellung der Raumwärme benötigt wurde.
Brauchwasser	Jährliche Energiemenge, welche für die Bereitstellung des Brauchwassers benötigt wurde.
Stromverbrauch System	Jährlicher Stromverbrauch des gesamten Heizsystems (u.a. für Pumpen, Regelung, Glutbatterwärmung bei Kesselstarts etc.). Der angegebene Wert ist nicht gewichtet.
Output Heizgerät (Wasserseitig bilanziert)	Jährliche Energiemenge, welche vom Heizgerät produziert wurde, wasserseitig bilanziert.
Stromverbrauch Heizgerät	Jährlicher elektrischer Stromverbrauch des Heizgerätes (Kesselstarts, Regelung, Kesselpumpe)
Verluste Leitungen Kollektor	Jährlicher Energieverluste durch die Leitungen des Kollektorfeldes.
Kollektoreintrag	Jährlicher Energieeintrag durch das Kollektorfeld.
Verluste Leitungen (Heizgerät)	Jährlicher Energieverlust durch die Leitungen vom Heizgerät zum Speicher.