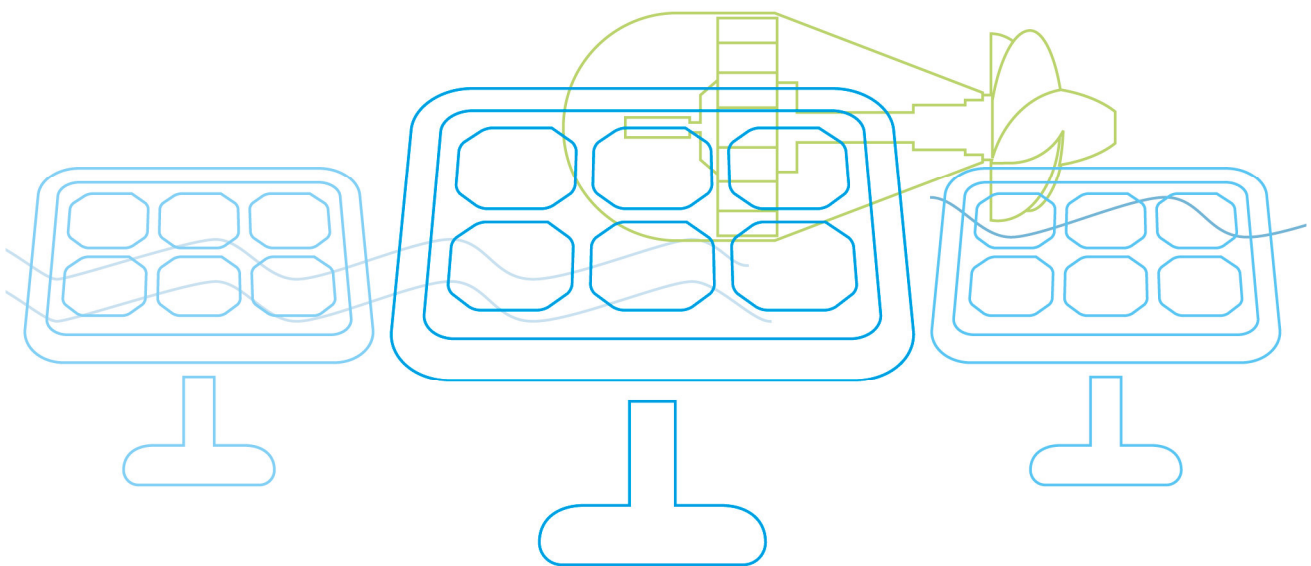




KOMBINE

Entwicklung neuartiger Regelungskonzepte zur Realisierung kompakter, hocheffizienter Solarthermie/Biomasse Kombisysteme



VORWORT

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

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

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

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

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

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	1
2	Einleitung	2
2.1	Kurzbeschreibung des Projektes (Ausgangssituation, Zielsetzung, Methodik – Arbeiten)	2
2.2	Ausgangssituation/Motivation des Projektes	4
2.3	Zielsetzungen des Projektes	6
3	Inhaltliche Darstellung	7
3.1	Bedarfsanalyse für Solarthermie- Biomasse Kompaktsysteme	7
3.1.1	Ziel	7
3.1.2	Methodenbeschreibung	7
3.1.3	Marktanalyse Gebäude	8
3.1.4	Marktanalyse Gebäudetechnik	9
3.1.5	Förderung Gebäude	13
3.1.6	Förderung Gebäudetechnik	16
3.1.7	Entwicklung in der Bauordnung	23
3.1.8	Analyse der Wärmenachfrageprofile	28
3.1.9	Auswertung des Fragebogens	40
3.1.10	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	47
3.2	Monitoring von vier Anlagen	52
3.2.1	Vermessene Objekte	52
3.2.2	Ergebnisse	55
3.3	Labormessung für die Modellparametrierung	60
3.3.1	Solarkollektor	60
3.3.2	Solarwärmeübertrager	61
3.3.3	Pelletsessel	63
3.4	Modellparametrierung und Simulation	77
3.4.1	Verwendetes Simulationsmodell	77
3.4.2	Parametrierung	78
3.4.3	Vergleich von Simulation und stationärer Labortest	79
3.4.4	Vergleich von Simulation und Monitoring des gesamten Systems	80
3.4.5	Adaptierung der Systemsimulation für Reglerentwurf und Optimierung	81
3.5	Reglerentwurf und Optimierung	82
3.6	Anwendung optimierter Regler im Feld	86
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	88
5	Ausblick und Empfehlungen	89
6	Literaturverzeichnis	90
7	Kontakt Daten	92

2 Einleitung

2.1 Kurzbeschreibung des Projektes (Ausgangssituation, Zielsetzung, Methodik – Arbeiten)

Um die ambitionierten Klimaziele (EU 20-20-20) umsetzen zu können bedarf es eines Pakets unterschiedlicher Maßnahmen die insbesondere die Entwicklung und Etablierung neuer Technologien beinhalten. In diesem Zusammenhang wird in den Maßnahmenpaketen der „Energiestrategie Österreich“ explizit die Kombination von **Solarwärme und Biomasse** als besonders sinnvoll und wichtig hervorgehoben³. Insbesondere im essentiellen Bereich der Gebäudesanierung wird solchen Kombi-Systemen eine entscheidende Rolle bei der Substitution von Öl- und Gaskesseln zugesprochen. Folgende **Vorteile** ergeben sich aus der Kombination beider Technologien:

- Wärmebereitstellung erfolgt zu 100 % aus erneuerbaren Energieträgern.
- Sehr hohe bis vollständige Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs zur Warmwasserbereitung außerhalb der Heizperiode durch Sonnenenergie (wenige Anfahrzyklen und verminderte Emissionen des Biomassekessels).
- Breites Einsatzspektrum des resultierenden Heizungssystems, d.h. sowohl im Gebäudebestand (Sanierung) als auch im Neubau^{1, 2}.

Neben diesen Vorteilen liegen derzeit jedoch noch signifikante **Nachteile** vor die für eine noch breitere und raschere Marktdurchdringung solcher Kombi-Systeme überwunden werden müssen:

- Hohe Investitionskosten im Vergleich zu einer alleinigen Installation eines Kessels (Biomasse- bzw. Öl- oder Gas-Kessel).
- Größere Systemkomplexität; hoher Installationsaufwand bei der hydraulischen Verbindung von Einzelkomponenten; damit größere Fehleranfälligkeit bei Auslegung und Installation.
- Regelung des Gesamtsystems ist kritisch; falsch ausgelegte Systeme in Kombination mit ungeeigneten Reglern (Einzelregler oder Systemregler) können zu einer sehr schlechten Gesamtsystemperformance führen, welche die Vorteile des Kombi-Systems zunichte machen.

Um das Potential hochintegrierter Biomasse-Solarthermie Kompaktsysteme voll nutzbar und quantifizierbar zu machen werden im Projekt KOMBINE folgende Ziele verfolgt:

¹ Hilgers C.: Gemischtes Doppel. Sonne Wind & Wärme – Pellets und Solarwärme Marktübersicht, 12/2010, S. 37-43

² Berner J.: Ökoheizung von der Stange. Sonne, Wind & Wärme - Pellets und Solarwärme richtig planen, 12/2010, S. 34-36

1. Sammeln und Beurteilen realer Betriebsdaten von Solarthermie-Biomasse Kompaktsystemen durch Feldmessungen
2. Basierend auf realen Messdaten werden maßgeschneiderte hochwertige Regelungskonzepte entwickelt
3. Erfahrungen aus den Feldmessungen werden dokumentiert und disseminiert

Die grundsätzliche Struktur des Forschungsprojektes ist Abbildung 4 dargestellt. Die gewählte Projektstruktur soll das Erreichen der Projektziele optimal unterstützen. Das Projekt ist in 7 Arbeitspakete gegliedert, deren Abhängigkeiten aus Abbildung 4 ersichtlich sind. Das Projektmanagement (AP1) dient zur Steuerung des Projekts sowie der Koordination der Projektpartner des Konsortiums. Die Verbreitung der erzielten Projektergebnisse ist weiterer wichtiger Bestandteil des Arbeitspakets.

In Arbeitspaket 2 wird eine Analyse bezüglich des derzeitigen und zukünftigen Wärmebedarfs in unterschiedlichen Gebäuden durchgeführt. Ergebnisse dieser Recherchen werden bei der Festlegung geeigneter Lastprofile für Labormessungen zur Modellparametrierung berücksichtigt (AP4).

Die Labormessungen in AP4 sind notwendig um Modelle für die Einzelkomponenten des System parametrieren zu können (Kollektoren bzw. Speichereinheit mit integriertem Pelletsbrenner), die in weiterer Folge in den Systemsimulationen in AP5 gebraucht werden.

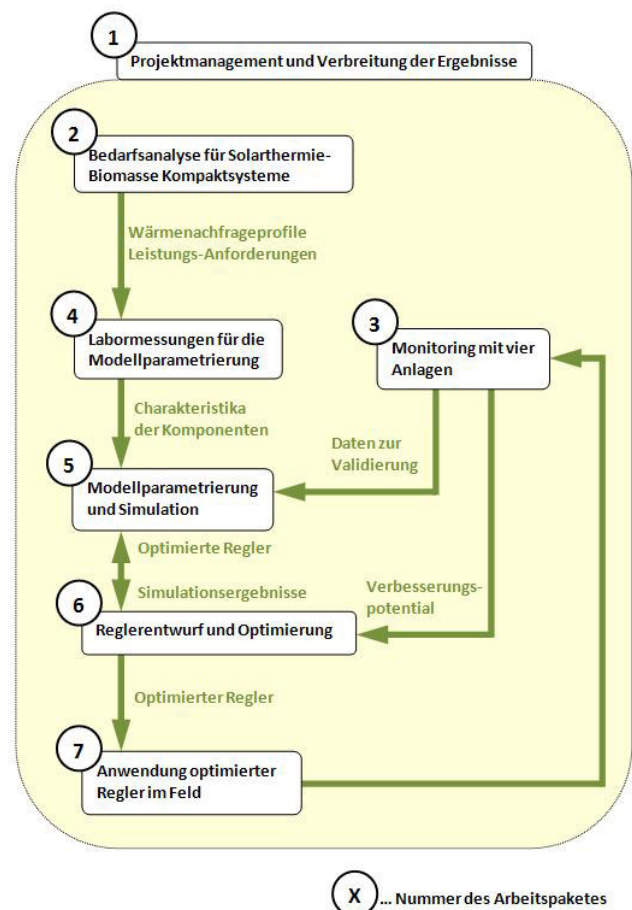


Abbildung 4: Zusammenhänge zwischen den Arbeitspaketen (PERT-Diagramm)

Die Parametrierung muss anhand gemessener Prüfstandsdaten erfolgen, da nur so die spezifischen Geräteparameter gefunden werden können was für eine Vergleichbarkeit der Simulationsrechnungen mit Monitoring-Daten (AP3) essentiell ist.

Das Monitoring nimmt generell einen wichtigen Stellenwert im Projekt ein, da es Voraussetzung für die Durchführung und Validierung von Simulationsrechnungen und Parameterstudien ist, als auch zur Auswertung der Tests neuer (optimierter) Regler im Feld (AP7). In AP 6 werden die Arbeiten zum Reglerentwurf bzw. zur Regleroptimierung durchgeführt. Da in diesem Projekt hauptsächlich simulationsbasierte Methoden verwendet werden, steht diese Arbeitspaket in unmittelbaren

Zusammenhang mit AP5. Optimierte Regler werden im Rahmen des Projektes auch im Feldversuch getestet und evaluiert. Die entsprechenden Arbeiten sind in AP7 zusammengefasst.

Für eine bessere Übersicht der erarbeiteten Inhalte sind in Tabelle 2 die durchgeführten Arbeiten nach Projektpartner aufgeteilt.

Tabelle 1: Aufteilung der durchgeführten Arbeiten nach Projektpartnern

Arbeitspaket / Tätigkeit	durchgeführt von
AP1: Projektmanagement	AIT
AP1: Verbreitung der Ergebnisse	AIT, BE2020+, solarfocus
AP2: Bedarfsanalyse für Solarthermie-Biomasse Kompaktsysteme	BE2020+
AP3: Implementierung der Monitoringausrüstung und Datenaufzeichnung	Solarfocus
AP3: Auswertung der aufgezeichneten Daten	AIT
AP4: Labormessung und Auswertung der Daten des Solarkollektors	AIT
AP4: Labormessung und Auswertung der Daten des Speicher integrierten Pelletsbrenners	BE2020+
AP4: Labormessung des Solarwärmeübertragers	BE2020+
AP4: Datenauswertung der Labormessung des Solarwärmeübertragers	AIT
AP5: Modellparametrierung und Simulation	AIT
AP6: Reglerentwurf und Optimierung	AIT, solarfocus
AP7: Anwendung optimierter Regler im Feld	BE2020+

2.2 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Im Zuge der EU 20-20-20 Ziele hat sich Österreich verpflichtet den Anteil erneuerbarer Energieträger am Endenergieverbrauch auf 34 % bis zum Jahr 2020 zu steigern. Im März 2010 wurde die „Energiestrategie Österreich“³ präsentiert, in der die notwendigen Veränderungsprozesse und Maßnahmen zur Erreichung der Klima- und energiepolitischen Ziele in Form einer Gesamtstrategie für Österreich dargestellt wurden. Sowohl die Solarthermie als auch die Biomasse nehmen in dieser Strategie eine Schlüsselrolle ein. Laut einer Studie von Haas et al. (2007)⁴ liegt das Potential von Solarthermie und Biomasse für Heizung und Warmwasserbereitung für das Jahr 2030 unter Zugrundelegen eines ambitionierten Szenarios bei 14,7 PJ (2005: 3,2 PJ) für Solarthermie und 103,7 PJ (2005: 61 PJ) für dezentrale Biomassenutzung. Dies entspricht einer Steigerung gegenüber dem

³ BMWFJ, EnergieStrategie Österreich, Wien 2009

⁴ Haas, R.; Biermayr, P.; Kranzl, L.; Müller, A.; Schriefl, E.: Wärme und Kälte aus Erneuerbaren 2030, für den Dachverband Energie-Klima, Maschinen und Metallwaren Industrie, und die Wirtschaftskammer Österreich Abteilung Umwelt- und Energiepolitik, 2007

Referenzjahr 2005 um 360 % bei solarthermischen Anlagen und 70 % bei dezentraler Biomassenutzung. Die jeweiligen Anteile am gesamten Endenergieverbrauch im Jahr 2030 für Heizen und Warmwasserbereitung können gemäß der Studie 6 % (2005: 1 %) für Solarthermie sowie 42 % (2005: 18 %) für dezentrale Biomasse erreichen.

Standardmäßig werden von Firmen derzeit Solarthermie-Biomasse Kombi-Pakete angeboten. Diese Pakete beinhalten die Einzelkomponenten Kollektor, Speicher und Kessel. Zwar werden diese Komponenten im Paket angeboten, die Montage und hydraulische Verbindung und Inbetriebnahme der Einzelkomponenten erfolgt jedoch durch den Installateur. In einer aktuellen Marktübersicht wurden neueste Solarthermie-Biomasse Kombi-Systeme vorgestellt⁵. Sämtliche der dort evaluierten 48 Systemen (23 für den Sanierungsmarkt und 25 für den Neubaubereich) waren aus Einzelkomponenten wie zuvor beschrieben aufgebaut. Zwar werden die Pakete in der Regel mit speziellen Rabatten angeboten, dennoch werden aufgrund des größeren Aufwands bei Installation und Material immer Mehrkosten gegenüber einer reinen Kesselinstallation entstehen. Diese Mehrkosten gilt es im Sinne der Kundenattraktivität von Solarthermie-Biomasse Kombisystemen zu minimieren. Ein weiterer Nachteil der sich aus Kundensicht durch die separate Aufstellung der Einzelkomponenten ergibt ist der damit verbundene große Platzbedarf.

Einer der vielversprechendsten Ansätze die zuvor genannten bzw. aus Studien bekannten Nachteile und Probleme von Solarthermie-Biomasse Kombisystemen durch technologische Weiterentwicklung zu überwinden sind hochintegrierte Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräte.

Die wesentliche Komponente eines solchen Systems ist der Solarspeicher, in den direkt eine Biomasse-Feuerung integriert wird, wodurch eine kompakte „**Heizzentrale**“ oder „**Heat Unit**“ entsteht. Die Heizzentrale beinhaltet sämtliche Systemkomponenten wie beispielsweise die Regelungseinheit für das gesamte System, Frischwassermodule, Umwälzpumpen, Ventilgruppen etc. (Abbildung 2).

Die Vorteile von Solarthermie-Biomasse Kompakteinheiten können zusammenfassend wie folgt dargestellt werden:

⁵ Hilgers C.: Gemischtes Doppel. Sonne Wind & Wärme – Pellets und Solarwärme Marktübersicht, 12/2010, S. 37-43

- Einfachste Installation vor Ort (geringere Installationskosten und geringere Fehleranfälligkeit)
- Geringer Platzbedarf aufgrund der Kompaktheit
- Entwurf ideal an das System angepasster Regler ist aufgrund des hohen Standardisierungsgrades der vorgefertigten Heizzentrale möglich

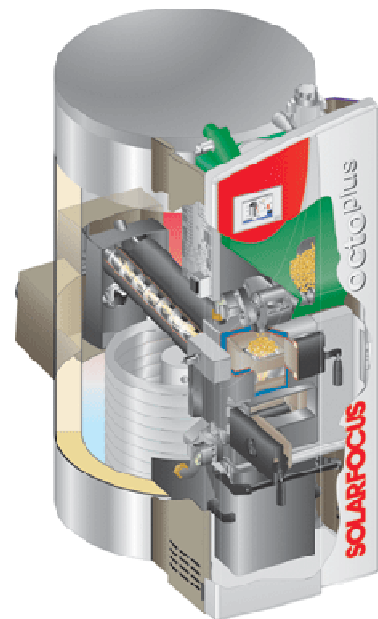


Abbildung 2: Darstellung einer Solarthermie-Biomasse Kompakteinheit⁷

Während solare Kompaktsysteme mit speicherintegrierten Öl bzw. Gasfeuerungen schon seit längerem am Markt verfügbar sind⁶, sind Solarthermie-Biomasse Kompaktsysteme noch nicht am Markt etabliert. Erste Produkte wurden von zwei österreichischen Unternehmen^{7,8} jedoch bereits der Öffentlichkeit vorgestellt, was die Vorreiterrolle Österreichs in Europa in diesem Bereich unterstreicht.

2.3 Zielsetzungen des Projektes

1. Bedarfsanalyse für Solarthermie-Biomasse Kompaktsysteme

Das erste Projektziel besteht darin einen detaillierten Überblick über zukünftige Anforderungen des Wohnbaumarktes im Hinblick auf die energetische Qualität (zukünftige Lastprofile) sowie den Einsatz von Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräten in unterschiedlichen Gebäudekategorien zu erhalten. Relevante Datenquellen umfassen z.B. Studien, Statistiken, Richtlinien, Marktdaten, Bauordnungen,...). Für eine genaue Beschreibung der Arbeitsinhalte sei auf die Beschreibung von Arbeitspaket 2 verwiesen. Als Ergebnis dieser Arbeiten wird ein Bericht mit Einschätzungen über zukünftige Anforderungen an Solarthermie-Biomasse Kompaktsysteme inklusive einer Identifikation der potentiellsten Anwendungsbereiche (z.B. Gebäude Typ, Lastprofile, Zielmärkte) vorliegen.

2. Monitoring von Anlagen im Feld

Eine primäre Zielsetzung im Projekt besteht darin umfangreiches Datenmaterial bzw. Betriebserfahrungen von Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräten im Feld zu erhalten. Als Ergebnis liegen Auswertungen bezüglich der Anlagenqualität in Punkto Auslegung, Integration und Regelung vor. Die Monitoring Ergebnisse werden einerseits projektintern für die Systemsimulation und den Reglerentwurf verwendet. Die Ergebnisse des Monitoring können weiters als Benchmark-Daten für zukünftige vergleichbare Studien verwendet werden (siehe Beschreibung AP3).

3. Modellparametrierung und Systemsimulationen

⁶ SOLVIS GmbH & Co KG, <http://www.solvis.de>

⁷ SOLARFOCUS GmbH <http://www.solarfocus.at>

⁸ ÖkoFEN Forschungs- und Entwicklungs Ges.m.b.H., <http://www.oekofen.com>

Ein weiteres Ziel des Projekts besteht darin, experimentell validierte Modelle der Komponenten des Kompaktsystems zu generieren. Diese Modelle können anschließend universell in Simulationssoftware (z.B. TRNSYS) für beliebige Systemsimulationen eingesetzt werden. Im Rahmen des Projektes werden die Modelle für parametrische Studien und insbesondere für den simulationsbasierten Reglerentwurf bzw. Optimierung verwendet. Als Ergebnis der Parameterstudien werden ideale Systemkonfigurationen (z.B. Kollektorfeldgröße) für unterschiedliche Einsatzbereiche (Neubau, sanierter Bestand) vorliegen (vgl. Beschreibung AP5).

4. Reglerentwurf und Optimierung

Ein weiteres primäres Projektziel besteht darin, durch Kombination von Systemsimulationen und Optimierungsverfahren optimierte Regelungskonzepte bzw. als ein neues Regelungsverfahren basierend auf Model-Predictive-Control zu entwickeln. Als Ergebnisse werden neue Regelungskonzepte vorliegen, die sowohl simulatorisch als auch messtechnisch im Feld evaluiert sind. Darauf aufbauend können beim Industriepartner zukünftig verbesserte Regler in Produkte implementiert werden, im Bereich der Forschung bilden die Ergebnisse die Basis für zukünftige Arbeiten (z.B. Anwendung der Verfahren bei anderen Systemen und Systemkombinationen).

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Bedarfsanalyse für Solarthermie- Biomasse Kompaktsysteme

3.1.1 Ziel

Das Ziel des Arbeitspakets 2 Bedarfsanalyse ist die Analyse der Leistungs-Anforderungen für Solarthermie-Biomasse Kompaktheizgeräte in Hinblick auf den potentiellen Markt und auf die zukünftigen Wärmenachfrageprofile.

Die Aufgabe besteht darin, einen detaillierten Überblick über zukünftige Anforderungen des Wohnbaumarktes im Hinblick auf die energetische Qualität (zukünftige Lastprofile) sowie den Einsatz von Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräten in unterschiedlichen Gebäudekategorien zu erhalten. Relevante Datenquellen umfassen z.B. Studien, Statistiken, Richtlinien, Marktdaten, Bauordnungen und Experteninterviews. Als Ergebnis dieser Arbeiten liegt dieser Bericht mit Einschätzungen über zukünftige Anforderungen an Solarthermie-Biomasse Kompaktsysteme inklusive einer Identifikation der potentiellsten Anwendungsbereiche (z.B. Gebäude Typ, Lastprofile, Zielmärkte) vor.

3.1.2 Methodenbeschreibung

Literaturrecherche

Veröffentlichungen sowie offizielle statistische Daten werden analysiert und zusammengefasst. Nationale und internationale Regelwerke werden zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung herangezogen.

Experteninterview

Zur Ermittlung der Anforderungen an Wärmebereitstellungssysteme und zur Einschätzung der zukünftigen Marktentwicklung sowie der Wärmenachfrageprofile werden Interviews mit Branchenexperten geführt und die Ergebnisse aufbereitet und zusammengefasst.

3.1.3 Marktanalyse Gebäude

Folgende Rahmenbedingungen werden bei der Marktanalyse Gebäude berücksichtigt bzw. vorausgesetzt:

- Geographisch werden ausschließlich die Märkte Österreich und Deutschland betrachtet.
- Nahezu der gesamte Gebäudebestand an Altbauten, Saniert und große Teile der Neubauten sind zur Klasse der schweren Gebäudebauart zu zählen.
- Der Einsatz des Systems wird voraussichtlich in Neubauten und sanierten Altbauten zum Tragen kommen. Diese Vermutung wird aufgestellt da eine Heizlast von 15 kW nicht überschritten werden darf.
- Durch städtebauliche Maßnahmen der vergangenen Jahre sind die beschriebenen Häuser zu großen Teilen im ländlichen Raum und bei Stadträndern anzutreffen.

3.1.3.1 Neubau

Deutschland

Zu den für Marktanalyse relevanten Gebäuden im Neubau die im Jahr 2010 in Deutschland errichtet wurden gehören rund 78.000 Ein-/Zweifamilienhäuser. **[Statistisches Bundesamt Genesis 2010]**

Österreich

Für Österreich wird die Zahl der marktrelevanten Menge auf 16.000 geschätzt. **[Statistik Austria 2010]**

3.1.3.2 Bestand

Zum Bestand zählen alle fertig gestellten Gebäude die sich in der marktrelevanten Größe befinden.

Deutschland

Momentan befinden sich 15.550.000 Ein-/Zweifamiliengebäude in Deutschland. Davon sind rund 1.100.000 leerstehend. Der größte Teil der bestehenden Gebäude, rund 75% an Wohngebäuden wurde vor 1978 errichtet. Diese Gebäude stehen somit vor ihrer ersten oder zweiten größeren Sanierung. **[Statistisches Bundesamt Genesis 2010]**

Österreich

In Österreich befinden sich 2011 rund 1.750.000 Ein-/Zweifamilienhäuser, von diesen sind rund 120.000 leerstehend. Rund 60% der existierenden Ein-/Zweifamilienhäuser wurden vor 1980 errichtet, auch hier stehen die Gebäude vor ihrer ersten oder zweiten größeren Sanierung. **[AMTMAN 2011]**

3.1.3.3 Sanierung

Die Sanierungsraten beziehen sich auf den gesamten Bestand an Gebäuden in Deutschland und Österreich. Die folgenden Zahlen beziehen sich jedoch nur auf den Bestand an kleineren Gebäuden. Es wird nicht berücksichtigt ob diese Gebäude Wohngebäude oder unbewohnte Gewerbegebäude sind.

Deutschland

Zurzeit liegt die Sanierungsrate von Deutschland bei rund 1,2 %, dies entspricht 186.600 Sanierungen pro Jahr. Hiervon tauschen nur 32% die Heizungsanlage somit erhalten 60.000 Gebäude pro Jahr ein erwartungsgemäß effizienteres Heizsystem. [EEAP 2007], [STIESS 2010].

Österreich

Österreichs Sanierungsrate liegt ebenfalls bei rund 1,2 % was rund 21.000 Sanierungen pro Jahr entspricht. Von diesen tauschen ebenfalls schätzungsweise 32% also 6720 Sanierer ihre Heizungsanlage. [Energie 2030]

3.1.4 Marktanalyse Gebäudetechnik

Von folgenden Eigenschaften wird im Heizungsmarkt Deutschland und Österreich ausgegangen:

- In Deutschland und Österreich werden im Jahr rund 161.000 neue Heizungsanlagen in Einfamilien- und kleinen Mehrfamilienhäusern installiert.
- Die Sanierer sind im Durchschnitt qualitäts- und umweltbewusst, aber auch verunsichert, welches Heizsystem in Zukunft das optimale ist.
- Ein Großteil der sich im Altbestand befindenden Heizungsanlagen sind in Deutschland Öl- und Gaskessel und in Österreich Öl- und Festbrennstoffkessel. (Ölkessel machen in beiden Ländern rund 56% aus) [HOFMAN, BÜTTNER 2007]
- Häufig werden erst dann die Anlagen getauscht wenn diese unwiederbringlich beschädigt sind oder die Grenzwerte nicht mehr einhalten.

3.1.4.1 Pelletskessel

Deutschland

Im Jahr 2010 wurden rund 8.500 Pelletskessel unter 100 kW in Deutschland installiert (siehe Abbildung 1).

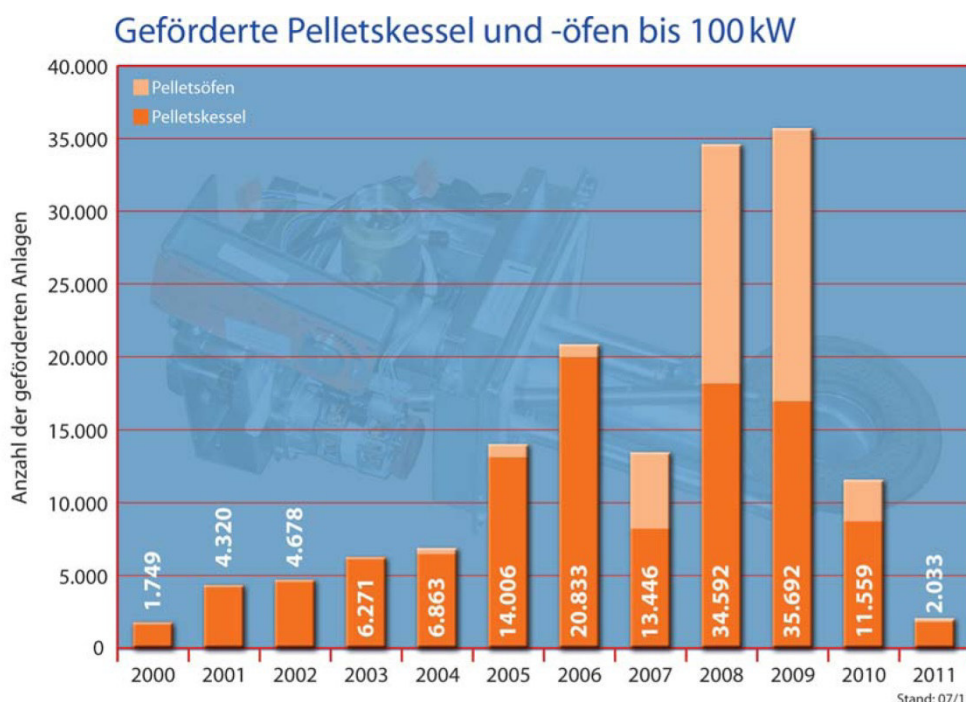
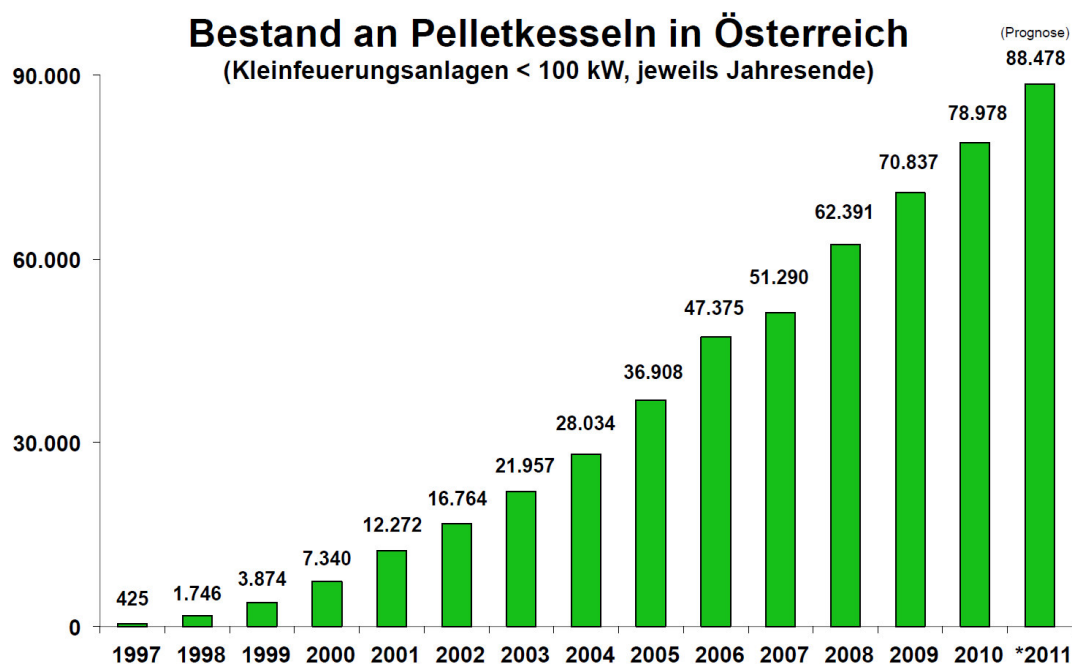


Abbildung 1: Geförderte Pelletskessel und -öfen bis 100 kW

Quelle: **Solar Promotion 2011**, Bafa, BMU

Österreich

Im Jahr 2010 wurden rund 8.100 Pelletsheizungen unter 100 kW in Österreich installiert. Der Pelletsverbrauch steigt in Österreich stark an. Laut der jährlichen Erhebung der NÖ Landwirtschaftskammer waren Ende 2011 in Österreich insgesamt fast 90.000 Pelletskessel (<100 kW) in Betrieb [**FURTNER, HANEDER 2012**].



Quelle: Daten erhoben von Ing. Karl Furtner und DI Herbert Haneder, Landwirtschaftskammer NÖ, Grafik proPellets Austria; 2011 Schätzung ppa, Stand: Jan. 2012

Abbildung 2: Bestand an Pelletskesseln in Österreich bis 100 kW von 1997 bis 2011

Quelle: **FURTNER, HANEDER 2012**

3.1.4.2 Solarthermie

Deutschland

Insgesamt wurden im Jahr 2010 rund 115.000 Solarthermie Anlagen in Deutschland errichtet. Dies entspricht einer Fläche von 1.15 Mio. m², somit wurden durchschnittlich 10 m² an Kollektorfläche pro Anlage verbaut. Das ergibt eine installierten Leistung von 118 kWh_{th}/ 1000 Einwohner [ESTIF 2011] Die Angaben für Ein- und Zweifamilienhäuser allein wurden nicht ermittelt.

Österreich

In Österreich wurden im Jahr rund 15.000 Solarthermie Anlagen für Ein- und kleine Mehrfamilienhäuser errichtet. Dies entspricht einer Fläche von 180.000 m². Im Durchschnitt wurden also rund 12 m² pro Anlage Installiert. Österreich besitzt mit 327 kWh_{th}/ 1.000 Einwohner nach Zypern die höchste solarthermisch installierte Leistung pro Einwohner. [Austria Solar 2011]

Abbildung 3: Europaweit installierte Leistung von Flach- und Vakuumkollektoren im Jahr 2010 (per 1000 capita)

Quelle: **ESTIF 2011, Austria Solar 2011**

3.1.4.3 Solarthermie-Biomasse Kompaktgerät

Die Nutzung von Solarthermie und Pelletsheizsystemen in einem kompakten Gerät ist relativ neu. Aus diesem Grund sind noch keine Statistiken oder marktrelevante Zahlen vorhanden.

Marktübersicht

Die Nutzung von Pelletsheizungen und Solarthermie kann in zwei Gruppen geteilt werden. In der ersten Gruppe befinden sich die Anlagen, die dies in einem einzigen kompakten Gerät vereinen und in der zweiten Gruppe sind die Anlagen, die diese Aufgabe durch zwei separate Systeme erledigen. In dieser

Marktübersicht wird nur auf Anlagen eingegangen, die von einem Hersteller allein bereitgestellt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, dass ein Installateur sich einzelne Produkte verschiedener Hersteller sucht und diese verbindet. Die Betrachtung aller Systeme würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Alle Angaben wurden aus der „Marktübersicht Systemanbieter Pellets und Solar“ der Zeitschrift „PELLETS-2011/03“ entnommen (siehe Tabelle 2). Die Marktübersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. **[pellets Markt und Trends 2011]**

Hersteller:	ÖkoFEN Heiztechnik GmbH	pel-lets Innovative Heiztechnik GmbH	Solarfocus GmbH	Westfa Vertriebs- und Verwaltungs- GmbH
Produktbezeichnung	Pellematic Smart	Bio-Sol	octo ^{plus} 10/15	Multiherma
Leistungsbereich	4kW, 6kW, 8kW	10kW – 25kW	2,9–10/15 kW	10kW – 20kW
Wasserinhalt	600l	620l	500l	620l
Zwischenbehälter	22kg	-	32kg	-
Brennwertnutzung	Ja	Nein	Nein	Nein
Wirkungsgrad	100 %	91 %	96,5 %	92,2 %
Abbrand	nach oben	nach hinten	nach unten	nach hinten
Kollektorart	Flachkollektor	Röhren- kollektor	Flachkollektor	Flach- oder Röhren- kollektor
Energieertrag Kollektor	489 kWh/m ² *a	615 kWh/m ² *a	>525 kWh/m ² *a	525 kWh/m ² *a

Tabelle 2: Pellets- Solarthermie Kompaktsystem verschiedener Hersteller

Quelle: pellets Markt und Trends 2011

3.1.5 Förderung Gebäude

3.1.5.1 Neubau

Deutschland

Die KfW-Bank (KfW...Kreditanstalt für Wiederaufbau) fördert den Neubau mit zinsgünstigen Krediten für die Anschaffungskosten. Eine weitere Besonderheit dieses Kredits ist, dass dieser ohne Eigenkapital aufgenommen und die Laufzeit individuell angepasst werden kann. Die KfW-Bankgruppe unterscheidet ihre Regionalfördergebiete nach Artikel 87 des EG-Vertrages. Zusätzlich zur Bundesförderung über die KfW-Bank ist eine Gemeindeförderung möglich.

Programm Nr.	Beschreibung & zu erwartende Leistungen
Programm 153	Effizient Bauen ■ setzt eine Prüfung für die Einordnung als KfW-Effizienzhaus voraus ■ max. Darlehenssumme 50.000€ pro Wohneinheit ■ Zinssatz ab 3,09% effektiv pro Jahr ■ Tilgungszuschuss bis zu 10 % der Darlehenssumme, je nach erreichtem KfW-Effizienzhaus-Standard (Effizienzhaus 70,55,40 oder Passivhaus) Gefördert werden: ■ Bau eines Effizienzhauses (70, 55, 40, Passivhaus) ■ Umbau bzw. Erweiterung bestehender Wohneinheiten

Sämtliche Angaben sind ohne Gewähr

Österreich

Förderhöhen und Fördervoraussetzungen werden von jedem Bundesland selbst erlassen. Die nachfolgenden Punkte charakterisieren die österreichische Neubauförderung der Bundesländer:

- Förderung ist einkommensabhängig
- Förderhöhe ist abhängig von der Energiekennzahl und dem Oberflächen-Volumenverhältnis
- Erhöhung der Förderung je nach Familiensituation (Anz. Kinder), (z.B. Passivhaus), Ökologisches Bauen und Behindertengerechtes Bauen
- Förderung in Form eines zinsbegünstigten Darlehen
- Förderdarlehen in der Höhe von 365 €/m² bis 1200 €/m² förderbarer Nutzfläche oder max. 21.000 € bis 59.000€.

Zusätzlich zur Bundes- und Länderförderung sind auch Gemeindeförderungen für den Neubau möglich. Diese sind jedoch von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich.

3.1.5.2 Sanierung

Deutschland

Die KfW-Bank fördert die Sanierung mit zinsgünstigen Krediten für die Anschaffungskosten. Eine weitere Besonderheit dieses Kredits ist, dass dieser ohne Eigenkapital aufgenommen und die Laufzeit individuell angepasst werden kann. Die KfW-Bankgruppe unterscheidet ihre Regionalfördergebiete nach Artikel 87 des EG-Vertrages. Zusätzlich zur Bundesförderung über die KfW-Bank ist eine Gemeindeförderung möglich.

Folgende Programme werden hierbei unterstützt:

Programm Nr.	Beschreibung & zu erwartende Leistungen
Programm 151	Energieeffizient Sanieren-Kredit ■ langfristiger zinsgünstiger Kredit in max. Höhe von 75.000€ pro Wohneinheit ■ Zinssatz ab 1,56 % effektiv pro Jahr ■ Alternativ ■ bis zu 12,5 % Tilgungszuschuss, je nach erreichtem KfW-Effizienzhaus-Standard für Eigentümer Gefördert werden: ■ Kauf einer Wohneinheit ■ Sanierung der Wohneinheit ■ Sanierung der Mietwohnung nach Zustimmung des Vermieters
Programm 430	Energieeffizient Sanieren-Investitionszuschuss ■ Als Privatperson nur für Eigentümer verwendbar ■ bis zu 17,5% Zuschuss bei einer max. Höhe von 13.125€ pro ■ Bei Einzelmaßnahmen beträgt der Zuschuss bis zu 2.500€ ■ Es werden bis zu 2 Wohneinheiten begünstigt Gefördert werden: ■ Wärmedämmung der Wände, Dachflächen, Geschossdecken ■ Erneuerung der Fenster und Außentüren, ■ Erneuerung/Einbau einer Lüftungsanlage, ■ Erneuerung der Heizung einschließlich Einbau einer Umwälzpumpe der Energieeffizienzklasse A ■ Planungs- und Baubegleitungsleistungen

Sämtliche Angaben sind ohne Gewähr.

Österreich

Bundesförderung:

Gefördert wurden im Rahmen des Sanierungsschecks 2011 thermische Sanierungen bestehender Wohngebäude, sowie Maßnahmen zur Umstellung von Wärmeerzeugungssystemen. Antragsberechtigt waren Privatpersonen (Eigentümer sowie Mieter) von privaten Wohneinheiten. Eine Folgeförderung für die Jahre 2012 bis 2014 ist in Planung [**Kommunal Kredit 2012**].

Als förderungsfähige thermische Sanierungsmaßnahmen gelten:

- Dämmung der Außenwände
- Dämmung der obersten Geschoßdecke bzw. des Daches
- Dämmung der untersten Geschoßdecke bzw. des Kellerbodens
- Sanierung bzw. Austausch der Fenster und Außentüren

Als förderungsfähige Maßnahmen zur Umstellung von Wärmeerzeugungssystemen gelten:

- Einbindung einer thermischen Solaranlage in das bestehende Heizungssystem
- Umstieg auf Holzzentralheizungsgeräte
- Einbau von Wärmepumpen

Landesförderung:

Förderhöhen und Fördervoraussetzungen werden von jedem Bundesland selbst erlassen. Folgende Punkte charakterisieren die unterschiedlichen Bundesländerförderungen für Sanierung:

- Förderung ist einkommensabhängig
- Förderung in Form eines zinsbegünstigten Darlehen in bestimmter Höhe von der Förderungssumme
- durch Vorlage eines Energieausweises werden die förderbaren Sanierungskosten ermittelt
- eine bestimmte Energiekennzahl (z.B.: unter 70 kWh/m²a) muss erreicht werden
- Bis zu 100% der anerkannten Sanierungskosten sind förderfähig
- Darlehenslaufzeit zwischen 20 bis 35 Jahren
- Erhöhung der Förderung je nach Familiensituation (Anz. Kinder), Ökologisches Bauen und Behindertengerechtes Bauen

Zusätzlich zur Bundes- und Länderförderung sind auch Gemeindeförderungen für den Neubau möglich. Diese sind jedoch von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich.

3.1.6 Förderung Gebäudetechnik

3.1.6.1 Pelletskessel

Deutschland

KfW-Förderung:

Die Förderungen für Pelletskessel von der KfW-Bankgruppe erfolgt im Zuge eines Energieeffizient Sanieren-Investitionszuschuss Programm 430 (siehe Kapitel 3.1.5.2).

Bafa Förderung:

Gefördert werden die Erneuerung der Heizung einschließlich Einbau einer Umwälzpumpe der Energieeffizienzklasse A und gegebenenfalls einer hocheffizienten Zirkulationspumpe sowie Durchführung des hydraulischen Abgleichs.

Maßnahme/ Förderung	Basis- förderung im Gebäude- bestand	Kombinations- bonus**	Effizienz- bonus**	Innovations- förderung
Pelletofen* mit Wassertasche	36 €/kW, mind. 1000 €	500 €	0,5 * Basisförderung	500 € je Maßnahme
Pelletkessel*	36 €/kW, mind. 2000 €			
Pelletkessel* mit neu errichtetem Pufferspeicher von mind. 30l/kW	36 €/kW, mind. 2500 €			
* Leistungsbereich von 5 kW bis max. 100 kW				
** Der Kombinationsbonus und der Effizienzbonus sind nicht miteinander kumulierbar.				

Tabelle 3: Basis-, Bonus- und Innovationsförderung für Pelletskessel (Angaben sind nicht vollständig)
Quelle: **Bafa 2011**

Beispiel: Für das Beispiel werden eine Pelletsanlage mit 15 kW, ein Puffer mit einem Speichervolumen von 500l und eine Solarthermieanlage mit 4 Kollektoren gewählt. In der Basisförderung erhält man die mindest Förderung von 2.500€. Durch den Kombinationsbonus bekommt man wegen der Solaranlage als zusätzliche Einzelmaßnahme weitere 500€. Alternativ könnte anstatt der Kombinationsförderung auch der Effizienzbonus in Höhe von 1.250€ gewählt werden. Die Voraussetzung hierfür wäre ein Wohngebäude welches nach Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) den Transmissionswärmeverlust HT'-Wert von 0,65 W/(m²K) um 30% unterschreitet. Für Nichtwohngebäude wird kein Effizienzbonus gewährt. Sollte in der Abgasanlage des Pelletkessels eine Wärmerückgewinnung und/oder ein Partikelabscheider (Abgasminderung) verbaut sein, werden für jede Maßnahme 500 € Innovationsförderung gewährt. Somit würde der max. Förderbetrag für die gewählte Anlagenkombination bei 4750€ liegen.

Österreich

Bundesförderung:

Voraussetzung für die Förderung von Pelletskessel ist, dass das Bestandsgebäude entweder bereits dem Standard der umfassenden Sanierung entspricht oder gleichzeitig eine förderungsfähige Sanierung (Gesamt- oder Teilsanierung) durchgeführt wird (Kapitel 3.1.5.2).

Gefördert wird der Umstieg auf Holzzentralheizungsgeräte bis max. 50 kW Nennleistung und bei Erreichen der Emissionsgrenzwerte der Umweltzeichenrichtlinie für Holzheizungen.

Zusätzlich zur Gebäudesanierung beträgt die max. Förderhöhe für die Umstellung bestehender Wärmeerzeugungssysteme (Kessel oder Solaranlage) in Ein- und Zweifamilienhäusern 20% der Investitionskosten bzw. max. 1.500€, oder in mehrgeschossigen Bauten 1.000€ pro Wohneinheiten [Kommunal Kredit 2012].

Landesförderungen:

Bundesland	Beschreibung & zu erwartende Leistungen für Pelletskessel
Burgenland	■ Sockelbetrag: 1.800€ für Biomassekessel ■ Finanzierung bis zu 30% der anfallenden, anrechenbaren Kosten max. 2.800€
Kärnten	■ Für die Errichtung einer Holzheizungsanlage wird ein einmaliger, nicht rückzahlbarer Baukostenzuschuss in Höhe von 30% der Investitionskosten gewährt. Die max. Höhe des Baukostenzuschusses beträgt 1.800€ für Pelletskessel. ■ Voraussetzung: Energieausweis ■ Für die ersten 20 kW Heizlast 150€ pro kW ■ Für weitere 30 kW Heizlast 100€ pro kW ■ Für jedes weitere kW Heizlast 60€ pro kW Zuschuss von 600€ bei einem Tausch der Zentralheizung von Öl/Gas auf Pellets
Nieder-österreich	■ NÖ. Direktförderungen sind am 31.12.2010 ausgelaufen. ■ Seit 1.1.2011 gilt nur mehr die Förderschiene Eigenheimsanierung. (Annuitätenzuschuss, einkommensabhängig,...)
Ober-österreich	■ Förderung einer Neuanlage zu 1.700€ ■ Förderung eines Kesseltausch (Öl/Gas auf Pellets) zu 2.200€ ■ Förderung Erneuerung bestehender Biomasse Anlage (mind. Alter 15 Jahre) zu 500€

Bundesland	Beschreibung & zu erwartende Leistungen für Pelletskessel
Salzburg	Gefördert wird nach einem Punktesystem (1Punkt = 100€) im Neubau und im Bestand Pelletsheizungen: 10 Punkte bzw. 1.000€ Förderung von 30%-40% der umweltrelevanten Kosten sind möglich
Steiermark	Förderhöhe: 25% der Nettokosten, höchstens 1.100€ für Pellets-Zentralheizungen Mögliche Zusatzmaßnahmen: 50€ pro Umwälzpumpe Energieeffizienzklasse A; 50€ für hydraulischen Abgleich bei Umstellung (Protokoll, Anlageschema); 100€ bei Umstellung für ergänzende Sanierungsmaßnahmen (z.B. Wärmedämmung von Rohrleitungen, etc.) max. 25% der Nebenkosten; 500€ elektrostatischer Partikelabscheider Fördervoraussetzung: ■ Umweltzeichen U37 in Nenn-/Teillast ■ Energieberatung vor der Errichtung
Tirol	■ Einkommensabhängig ■ Einmalzuschuss von 20% der anfallenden Kosten beim Einbau einer Pelletsheizung ■ Annuitätenzuschuss von 30% der anfallenden Kosten beim Einbau einer Pelletsheizung ■ Gilt nur für den Hauptwohnsitz.
Vorarlberg	■ Finanzierung bis zu 30% der Kosten, max. 2.400€ für Pelletskessel gem. Umweltzeichen Richtlinie UZ37 ■ Finanzierung bis zu 30% der Kosten, max. 1.700€ für Pelletszentralheizungskaminöfen, sofern alleiniges Heizsystem. ■ Grundsätzliche Pflicht zur Kombination mit Solarthermie. ■ Voraussetzung: Energieberatung und Energieausweis
Wien	■ Finanzierung der Kosten von 33%-51%, max. 7.000€ ■ Höhe der Förderung richtet sich nach der Höhe der Investition und nach dem Emissionsverhalten des Pelletskessels. ■ die Stadt gewährt nach dem ersten und dem zweiten Betriebsjahr einen Wartungskostenzuschuss von 110€ je Wohneinheit

Zusätzlich zur Bundes- und Länderförderung sind auch Gemeindeförderungen für den Neubau möglich. Diese sind jedoch von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich.

3.1.6.2 Solarthermie

Deutschland

KfW-Förderung:

Die KfW-Bank fördert den Bau von Solaranlagen mit zinsgünstigen Krediten für die Anschaffungskosten. Eine weitere Besonderheit dieses Kredits ist, dass dieser ohne Eigenkapital aufgenommen und die Laufzeit individuell angepasst werden kann. Außerdem wird für Gewerbe die Investitionssumme mit 19 bis 27 Prozent staatlich bezuschusst. Förderungen von der KfW-Bankgruppe für diese Anlagen wurde bereits im Kapitel 3.1.5 Förderung Gebäude im Programm 430 beschrieben [**Solaranlage.de 2012**]

Bafa Förderung:

Im März 2011 sind bei der BAFA Solarförderung speziell für die Solarthermie neue Konditionen im Marktanreizprogramm in Kraft getreten. Demnach werden befristet bis zum 30. Dezember 2011 Solarkollektoren zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung mit 120 Euro/m² gefördert. Mit der Kürzung der Solarförderung 2012 wird das Ganze mit 90 Euro/m² gefördert werden. Somit beträgt die Fördersumme für ein Einfamilienhaus in 2012 rund 1 350 Euro, wobei sie in 2011 noch bei 1 800 Euro lag. Allerdings können nur die Anlagen gefördert werden, die einem Gebäude dienen, für das vor dem 1. Januar 2009 ein Bauantrag gestellt oder eine Bauanzeige erstattet wurde. Außerdem muss das Gebäude vor dem 1. Januar 2009 ein Heizsystem besessen haben. Anlagen für Neubauten werden mit der BAFA Solarförderung nicht gefördert [**Solaranlage.de 2012**]

Hinweis zur Kumulierbarkeit mit KfW-Programmen

Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien werden im Rahmen des BAFA-Förderprogramms "Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt" gefördert. Im Rahmen der Sanierung zum KfW-Effizienzhaus kann für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien parallel eine KfW-Förderung und ein BAFA-Zuschuss in Anspruch genommen werden.

Für dieselbe Maßnahme ist die Kombination einer BAFA-Förderung mit einer KfW-Förderung uneingeschränkt zulässig, sofern eines der folgenden KfW-Programme in Anspruch genommen wird:

- „Energieeffizient Sanieren – Effizienzhaus“ (Kredit, Programmnummer 151)
- „Energieeffizient Sanieren – Effizienzhaus“ (Zuschuss, Programmnummer 430)
- „Energieeffizient Sanieren – Kommunen“ (Programmnummer 218, sofern Effizienzhaus)
- „Sozial Investieren – Energetische Gebäudesanierung“ (Programmnummer 157, sofern Effizienzhaus)

Österreich

Bundesförderung:

Voraussetzung für die Förderung einer Solaranlage ist, dass das Bestandsgebäude entweder bereits dem Standard der umfassenden Sanierung entspricht oder gleichzeitig eine förderungsfähige Sanierung (Gesamt- oder Teilsanierung) durchgeführt wird (Kapitel 3.1.5.2).

Zusätzlich zur Gebäudesanierung beträgt die max. Förderhöhe für die Umstellung bestehender Wärmeerzeugungssysteme (Kessel oder Solaranlage) in Ein- und Zweifamilienhäusern 20% der Investitionskosten bzw. max. 1.500€ oder in mehrgeschossigen Bauten 1.000€ pro Wohneinheiten.

Gefördert wird die Einbindung einer thermischen Solaranlage nach der Solar- Keymark-Richtlinie in das bestehende Heizsystem und eine Mindestgröße 15 m² Bruttofläche [**Kommunal Kredit 2012**].

Landesförderung:

Bundesland	Beschreibung & zu erwartende Leistungen für Solaranlagen
Burgenland	■ Finanzierung bis zu 30% der Investitionskosten, max. 1.700€ für Warmwasser, max. 2.500€ für Heizungsunterstützung ■ Wärmemengenerfassung ist Pflicht ■ Mind. Größe für Warmwasserbereitung, 4m² Kollektorfläche und 200l Speichervolumen ■ berechneter Nachweis über den Deckungsgrad der Anlage (15% des Wärmebedarf für Raumheizung bei Anlagen zur Heizungsunterstützung)
Kärnten	■ Sockelbetrag: 1.000€ für Warmwasser, 1.500€ für Heizungsunterstützung, plus 50€ pro m² Flachkollektor und Vakuumkollektor, ■ Finanzierung bis zu 50% der Investitionskosten max. 5.000€ ■ Mindestkollektorfläche bei Warmwasserbereitung 4m², bei Heizungsunterstützung 15m² ■ Mindestvolumen Speicher bei Flachkollektor 50l/m², bei Vakuumkollektor 70l/m²
Nieder-österreich	NÖ. Direktförderungen sind am 31.12.2010 ausgelaufen. ■ Seit 1.1.2011 gilt nur mehr die Förderschiene Eigenheimsanierung. (Annuitätenzuschuss, einkommensabhängig,...)

Sämtliche Angaben sind ohne Gewähr.

Bundesland	Beschreibung & zu erwartende Leistungen für Solaranlagen
Ober- österreich	■ Sockelbetrag: 1.100€, plus 100€ pro m² (Flachkollektor) oder 140€ pro m² (Vakuumkollektor), ■ Finanzierung bis zu 50% der Anlagekosten max. 3.800€ ■ Der Einbau eines Wärmemengenzählers ist Pflicht ■ Sollten die Kollektoren kein „Solar Keymark“ aufweisen verringert sich die Förderung auf 75€ pro m² (Flachkollektor) bzw. 110€ pro m² (Vakuumkollektor), die Obergrenze fällt auf 3.000€. ■ Mindestkollektorfläche: 4m² (Flachkollektor), 3m² (Vakuumkollektor), bei Erweiterung oder Austausch einer bestehenden Solaranlage entfällt der Sockelbetrag.
Salzburg	■ Basisförderung: 1-6 m²: 100€ pro m², 7-25 m² 50€ pro m², ■ Finanzierung bis zu 30% der Investitionskosten ■ Zusatzförderungen: Pufferspeicher (500€), Hocheffizienzpaket (600€), Solarpumpen (50€) ■ Pufferspeicher mindestens 100l/m² Kollektorfläche und/oder Boiler mindestens 75l/m² Kollektorfläche ■ Forderung Austria Solar Gütesiegel-Richtlinie oder gleichwertig
Steiermark	■ Sockelbetrag: 300€, plus 50€ pro m² Kollektorfläche, ■ Finanzierung bis zu max. 2.000€ ■ Bei Heizungseinbindung mit mind. 15m² Kollektorfläche erhöht sich der Sockelbetrag auf 500€ ■ Mind. Kollektorfläche 5m² Warmwasserbereitung, 15m² für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ■ Wärmemengenzähler ist Pflicht ■ Förderung des Landes an Gemeindeförderung gebunden
Tirol	■ 210€ pro m² Kollektorfläche, Mindestvolumen beim Speicher 50l/m² ■ Finanzierung bis zu max. 2.100€ pro Wohneinheit, erhöht sich bei Heizungsunterstützung auf 4.200€ ■ Warmwasseranlagen bis max. 14m², darüber wird nur die Kombination aus Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung gefördert ■ Wärmemengenerfassung ist Pflicht (Wärmemengenzähler)

Sämtliche Angaben sind ohne Gewähr.

Bundesland	Beschreibung & zu erwartende Leistungen für Solaranlagen
Vorarlberg	■ Sockelbetrag Warmwasserbereitung: 1.100€ plus 75€ pro m² Bruttokollektorfläche ■ Finanzierung bis zu max. 1.900€ ■ Sockelbetrag bei mind. 15% Heizungsunterstützung: 1.500€ plus 75€ pro m² Bruttofläche ■ Finanzierung bis zu max. 3.000€ ■ Sockelbetrag bei mind. 20% Heizungsunterstützung: 2.200€ plus 75€ pro m² Bruttofläche ■ Finanzierung bis zu max. 3.700€ ■ Wärmemengenerfassung ist Pflicht (Wärmemengenzähler)
Wien	■ Sockelbetrag Warmwasserbereitung: 1.000€ plus 70€ pro m² Bruttofläche ■ Finanzierung bis zu max. 30% der Investitionskosten ■ Sockelbetrag bei Heizungsunterstützung: 1.000€ plus 100€ pro m² Bruttofläche ■ Finanzierung bis zu max. 40% der Investitionskosten ■ Für Solaranlagen unter 5m² (Kleinwohnhäuser) gibt es nur den Sockelbetrag von 1000€ ■ Mind. Fläche Warmwasserbereitung 5m², Mindestvolumen Speicher 300l ■ Mind. Fläche Heizungsunterstützung 10m², Mindestvolumen Speicher 800l

Zusätzlich zur Bundes- und Länderförderung sind auch Gemeindeförderungen für den Neubau möglich. Diese sind jedoch von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich.

3.1.7 Entwicklung in der Bauordnung

3.1.7.1 EU-Gebäuderichtlinie

Die alte vom Europäischen Parlament verabschiedete Bestimmung zur Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz war die „Richtlinie 2002/91/EG“. Am 19.05.2010 wurde die überarbeitete Fassung verabschiedet und trat am 8 Juli 2010 in Kraft.

Alle Länder die die EU-Gebäuderichtlinie einhalten werden erhielten folgende Verpflichtungen.

- Alle neuen Gebäude müssen ab dem Jahre 2020 „nahezu Energieautark“ sein
 - Wird auf der Basis des Primärenergieverbrauchs bemessen und soll nahezu Null betragen
 - Wird durch den Einsatz von entsprechenden Energieeffizienzstandards & dezentraler erneuerbarer Energien erreicht
- Vorbildwirkung durch öffentliche Sektoren, Energetische Ziele sind für sie bereits ab 2018 in allen Gebäuden (Neubau/Bestand) einzuhalten
- Ausstellen des Energieausweises von mind. 1000m² auf 500m² herabgesetzt, wiederholtes herabsetzen 5 Jahre später auf 250m²

- Sanierungsverpflichtung der 1000m² fällt, nun müssen alle Eigenheime ab einer Sanierung der Gebäudehülle über 25% einen Energiestandard der Entsprechenden Landesnorm (EnEV, OIB) einhalten
- Einführung eines Systems von Sanktionen und Strafen bei einer nicht Einhaltung
- Energieeffiziente –Indikatoren (Ausweis) sind beim Verkauf oder der Vermietung unaufgefordert vorzulegen
- Bewertungsregeln für Gebäude unter Berücksichtigung von Gebäudehülle, Heizungsanlage, Warmwasserversorgung, Klimaanlage, Belüftung und Beleuchtung
- Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Neubauten, die spätestens alle fünf Jahre überprüft und ggf. angepasst werden müssen
- bei neuen Gebäuden ab 1 000m² Gesamtnutzfläche sind vor Baubeginn die technische, ökologische und wirtschaftliche Einsetzbarkeit regenerativer Energien zu prüfen
- Mindeststandards für die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz bei umfangreich renovierten Gebäuden
- Bereitstellung von Energieausweisen für alle größeren öffentlichen Gebäude zur allgemeinen Einsicht und zur Vorlage beim Bau, beim Verkauf und bei der Vermietung von Gebäuden
- regelmäßige Überprüfung der Effizienz von Wärme- oder Kälteerzeugern
- Erstellung der Energieausweise und Inspektion der Wärme- und Kälteerzeuger müssen von unabhängigen, qualifizierten Fachleuten durchgeführt werden [PÖHN 2010], [STOCK, TUSCHINSKI 2010]

3.1.7.2 Deutschland

In Deutschland besitzt jedes Bundesland eine eigene Landesbauordnung (LBO). Diese haben als Grundlage die Musterbauordnung (MBO), welche von Vertretern der Länder erstellt wurde. Somit unterscheiden sich die Landesbauordnungen nur wenig voneinander. Weiterhin gibt es viele Zusatzverordnungen für jede erdenkliche Bausubstanz.

In diesem Arbeitsteil wird hierbei nur kurz auf die Musterbauordnung, 1.BImSchV und die EnEV 09 eingegangen, da diese Pelletskessel und Solarthermieranlagen direkt betreffen.

Musterbauordnung

„Die Musterbauordnung sowie die Muster-Verordnungen sind keine Gesetze, sondern Orientierungsrahmen für die Bauordnungsgesetzgebung der Länder. Erst die einschlägigen Bestimmungen der Landesbauordnungen der 16 Länder und die aufgrund der Landesbauordnungen erlassenen Rechtsverordnungen sind die maßgeblichen gesetzlichen Grundlagen für den Vollzug der Aufgaben des DIBt.“ [Musterbauordnung 2008]

Die zurzeit gültige Musterbauordnung wurde im November 2002 erstellt und im Oktober 2008 durch die Bauministerkonferenz überarbeitet. Sie erläutert die Eigenschaften und gesetzlichen Bestimmungen für:

- Grundstück & Bebauung,
- Bauliche Anlagen,

- die am Bau Beteiligten,
- Bauaufsichtsbehörden
- Rechtsvorschriften bei Ordnungswidrigkeiten

1.BImSchV

Die 1.BImSchV ist eine Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen zur Durchführung und Einhaltung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Ohne die Einhaltung dieser Verordnung dürfen in Deutschland Feuerungsanlagen weder aufgestellt noch betrieben werden. Weiterhin leistet sie einen Beitrag zur Verminderung von Abgasen (Rauchgas), Staub und zur effizienteren Energieverwendung. Folgende Punkte sind seit dem 22.März 2010 einzuhalten:

- Werte für die Emissionsminderung an den neuen Stand der Technik angepasst
- Strengere Grenzwerte für den Staub und Kohlenmonoxid Ausstoß sowie deren Nachweis bei Einzelraumfeuerungen
- Übergangsfristen für Anlagen festgelegt, Feuerungsanlagen im Bestand die die Grenzwerte nicht einhalten erhalten ein Übergangsbetrieb von bis zu 15 Jahre
- Verpflichtende Messungen für moderne Brennwertheizungsanlagen geregelt

Eine weitere Verschärfung des Staub und CO Ausstoßes von Biomassefeuerungsanlagen wird am 31.12.2014 in Kraft treten. [**BImSchV 2010**]

EnEV 2009

Mit der Energie-Einsparverordnung (EnEV) wurden die Wärmeschutz-Verordnung und die Heizungsanlagenverordnung abgelöst. Die EnEV 2009 gilt für diejenigen Gebäude, die mit Hilfe von Energie beheizt oder gekühlt werden. Die EnEV 2009 betrifft auch die Anlagentechnik in Gebäuden: die Heizungs-, Kühlungs- und Raumluftechnik sowie die Versorgung mit Warmwasser und die Beleuchtungstechnik.

Als Maßstab für die Energieeffizienz gelten folgende Parameter:

- - der jährliche Primärenergiebedarf des Gebäudes
- - der Wärmeschutz der Gebäudehülle.

Bei der Novelle der EnEV im Jahr 2012 werden hinsichtlich EU-Gebäuderichtlinie folgende Punkte berücksichtigt:

- Die Einführung des Niedrigstenergiegebäude ab Anfang 2021 für alle Neubauten (für Behördengebäude zwei Jahre früher);
- Die Erweiterung der Aushangpflicht für Energieausweise (insbesondere Ausdehnung auf bestimmte private und auch auf kleinere Behördengebäude mit starkem Publikumsverkehr);
- die Vorgabe, dass künftig in Immobilienanzeigen in kommerziellen Medien zum Verkauf oder zur Vermietung von Gebäuden bzw. Wohnungen eine Energiekennzahl angegeben werden muss, wenn ein Energieausweis vorhanden ist, sowie
- die Einführung von Qualitätskontrollen für Energieausweise. (umschreiben oder zitieren)

Mit diesen und weiteren Maßnahmen wird versucht werden die EnEV an die geltenden Regeln der Neuen EU-Gebäuderichtlinie anzupassen. [TUSCHINSKI 2010]

3.1.7.3 Österreich

Jedes Bundesland besitzt eine eigene Bauordnung. Durch die föderalistische Gesetzeslage wird es laut der österreichischen Bundesverfassung zu keiner gemeinsamen Bauordnung kommen. Jedoch versucht das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) die einzelnen Verordnungen, Gesetze und Regeln zu harmonisieren. Im folgenden Arbeitsteil wird auf die Bauordnungen und die OIB Richtlinie 6 eingegangen.

Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6

Die ersten OIB Richtlinien wurden am 25. April 2007 unter Anwesenheit der Vertreter aller Bundesländer einstimmig beschlossen. Sie basieren auf den Beratungsergebnissen der zur Ausarbeitung eines Vorschlags zur Harmonisierung bautechnischer Vorschriften eingesetzten Länderexpertengruppe. In den 6 vorhandenen OIB Richtlinien wird versucht die Landesbauordnungen zu Harmonisieren.

Die OIB Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz) ist die erste die von allen 9 Bundesländern anerkannt wird. Sie beschreibt die Erstellung und das Layout des Energieausweises für Gebäude. Durch die OIB Richtlinie 6 wird Österreich einen Großteil dessen einhalten was die EU-Gebäuderichtlinie vorschreibt.

Der vorliegende Entwurf, beschlossen von der Generalversammlung des OIB am 6. Oktober 2011, für eine Überarbeitung der OIB-Richtlinie 6 sieht ab 01.01.2012 strengere Werte für den Heizwärme- und Kühlbedarf beim Neubau von Gebäuden vor. Neu eingeführt werden auch Anforderungen an den Endenergiebedarf beim Neubau bzw. bei größerer Renovierung von Nicht-Wohngebäuden. Ab 01.01.2012 sind im Energieausweis Angaben über den Primärenergiebedarf und die Kohlendioxid-Emissionen erforderlich. Auch die Bestimmungen über die Wärme-Rückgewinnung bei raumluftechnischen Zu- und Abluftanlagen sollen verschärft werden [**OIB 2011**].

Bauordnungen

In Österreich regelt das Inverkehrbringen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen der Artikel 15 a B-VG (Bundesverfassungsgesetz). Der Artikel 15 a B-VG wurden in den einzelnen Bundesländern kund gemacht und ist in diverse Landesgesetze umgesetzt worden. In den jeweiligen Landesgesetzen wird auf weitere entsprechende Landesgesetze, Bundesgesetze und EU - Richtlinien in der jeweils geltenden Fassung verwiesen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über Landesgesetze, in denen die Inhalte der 15 a B-VG Vereinbarung umgesetzt wurden [**15a B-VG 2008**].

Land	Schutzmaßnahmen betr. Kleinf Feuerungen 1995/1998 Einsparung von Energie 1995
Burgenland	Burgenländisches Luftreinhalte- und Heizungsanlagengesetz 1999 - Bgld. LHG 1999 – LGBl. Nr. 44, 30.März 2000
Kärnten	Kärntner Heizungsanlagengesetz -K-HeizG, LGBl. Nr. 63/1998
Niederösterreich	NÖ Bauordnung 1996, LGBl. 8200-3, NÖ Bautechnikverordnung 1997, LGBl. 8200/7-0, NÖ BTV 1997
Oberösterreich	OÖ. Luftreinhalte- und Energietechnik-Gesetz - Oö. LuftREnTG, LGBl. Nr. 114/2002, 28. November 2002
Salzburg	Heizungsanlagen–Verordnung, LGBl. Nr. 100/2001, 11.Dez. 2001
Steiermark	Steiermärkisches Feuerungsanlagengesetz – FAnIG, LGBl. Nr. 73, 24. Oktober 2001
Tirol	Tiroler Heizungsanlagenverordnung 2000, 19. Sept. 2000 zum Tiroler Heizungsanlagengesetz 2000, LGBl. Nr. 34, 15. März 2000
Vorarlberg	Verordnung der Landesregierung über das Inverkehrbringen von Kleinf Feuerungen, LGBl. Nr. 56/1998
Wien	Wiener Kleinf Feuerungsgesetz – WKIfG – LGBl. Nr. 43, 29.Juli 2005 Wiener Feuerpolizei- und Luftreinhaltegesetz

Tabelle 4: Umsetzung § 15 a BVG in den österreichischen Bundesländern

Quelle: **Eurobau.at 2012**

3.1.8 Analyse der Wärmenachfrageprofile

In diesem Kapitel werden die Einflussfaktoren auf das derzeitige Wärmenachfrageprofil - getrennt nach dem Warmwasserwärmebedarfsprofil und dem Raumwärmebedarfsprofil - analysiert. Die Summe dieser beiden Profile ergibt das Wärmenachfrageprofil.

3.1.8.1 Warmwasserwärmebedarfsprofile

In Normen und Richtlinien werden verschiedenen Warmwasserprofile oder Zapfprofile definiert. Die Daten dieser Norm-Profile werden mit den Daten aus einem Monitoringprogramm verglichen. Im Folgenden werden die aus Literaturquellen recherchierten Lastprofile beschrieben und Gemeinsamkeiten identifiziert. Der Schwerpunkt der Analyse ist der Nutzwarmwasserwärmebedarf. Wärmeverluste durch Warmwasserverteilsysteme werden nur am Rande betrachtet.

Warmwasserprofile aus Monitoringdaten

Die aus einem Monitoring [MUEHLBACHER, CARTER 2002] stammenden, gemittelten Daten werden getrennt für das Tagesprofil Werktag und Tagesprofil Wochenende in Abbildung 4 dargestellt.

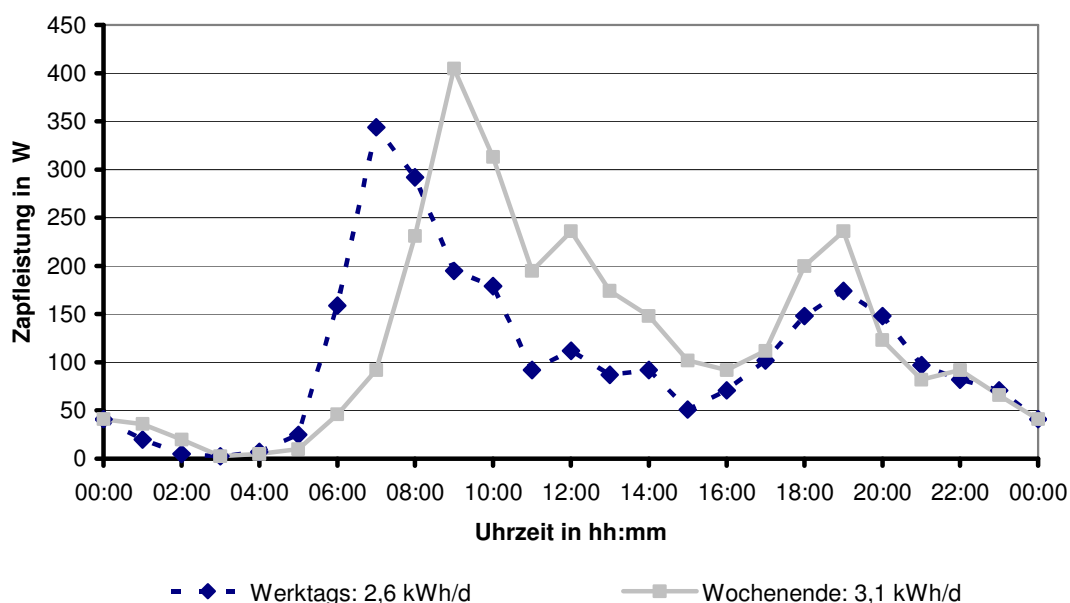


Abbildung 4: Mittlerer Tagesprofil für einen Jahreswarmwasserbedarf von 1 MWh pro Person
Quelle: MUEHLBACHER, CARTER 2002

In der Literaturquelle [MUEHLBACHER, CARTER 2002] wird für einen 4-Personen Haushalt ein Energiebedarf von 1000 kWh pro Person und Jahr angenommen. Daraus ergibt sich ein jährlicher Energiebedarf von 4000 kWh für die Warmwasserbereitstellung. Der Wärmebedarf pro Person und Tag entspricht exklusiv Verluste 2-3 kWh. Bei größeren Gebäuden kann sich aufgrund Zirkulations- und Anlaufverluste der Energieverbrauch auf das Doppelte erhöhen. In Abbildung 5 ist der mittlere Tagesgang der Pro-Kopf-Zapfmenge für die Winter- und Sommerperiode, unterteilt in Werk- und Wochenendtag dargestellt. Die Daten stammen aus einem Monitoring aus dem Jahr 2000 wobei die Energieverbrauchsdaten eines Mehrfamilienhauses mit 11 Wohnungen und 28 Bewohnern erfasst wurde [MUEHLBACHER 2008].

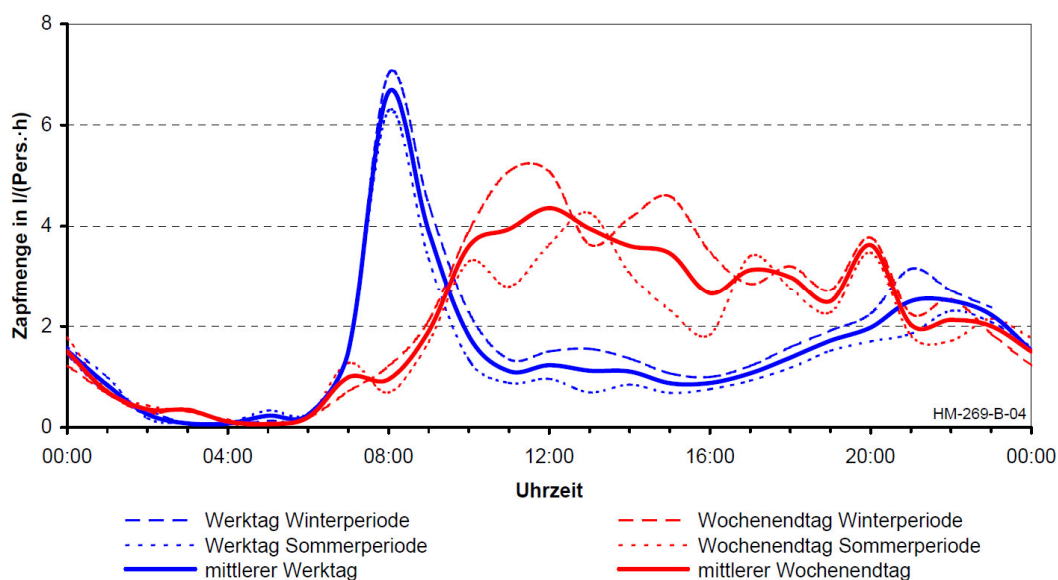


Abbildung 5: Mittlerer Tagesgang der Zapfmenge für die Winter- und Sommerperiode, unterteilt in Werk- und Wochenendtag für ein Mehrfamilienhaus

Quelle: **MUEHLBACHER 2008**

Bei einem Monitoring [**MUEHLBACHER 2008**] von insgesamt 16 Ein- und Mehrfamilienhäuser und 110 Bewohnern konnten folgende statistische Verbrauchswerte festgestellt werden:

		Minimum	Mittelwert	Maximum
Spezifische Zapfmenge	$l/(Pers.*d)$	22,4	58,3	116,6
Spezifisch Zapfenergiemenge (excl. Verluste)	$kWh/(Pers.*d)$	0,7	1,89	3,8
Zapfhäufigkeit	$Anz./(Pers.*d)$	3,5	8,5	11,6
Mittlere Zapfzeit	Min/Zapfung	0,6	1,2	3,3

Tabelle 5: Statistische Kenndaten des Warmwasserwärmebedarfs von 110 Personen

Quelle: **MUEHLBACHER 2008**

Norm- Warmwasserprofile

Für die Ermittlung des Norm-Nutzungsgrad für die Wassererwärmung ohne Heizbetrieb einer Kessel-Speicher-Kombination nach DIN 4702 Teil 8⁹, wird ein festgelegtes Zapfprogramm verwendet. Die täglich erforderliche Wärme zur Warmwassererwärmung bei Heizkessel mit bis zu 20 kW Kesselleistung beträgt bei dem Zapfprofil ZP120 7 kWh/d. Diese Warmwassermenge entspricht einem 3-4 Personenhaushalt. In Abbildung 6 sind die Zapfmengen als Warmwasserwärmemengen in Kilowattstunde pro Zapfung dargestellt. Die Zapfleistung ist für jede Zapfung konstant und beträgt 13,1 kW. Die hohe Warmwasserwärmemenge am Ende des Profils dient dazu, den Warmwasserspeicher zu entladen, um eine Bilanzierung über 24 h ohne gespeicherter Wärme zu ermöglichen. Das Zapfprofil nach DIN 4702 Teil 8 kann demnach nicht für einen realen Warmwasserwärmeverlauf herangezogen werden. Die Durchschnittliche kurze Zapfdauer von 1,4 Minuten und die aus der Zapfmenge und Temperaturdifferenz resultierende Zapfleistung entspricht den realen Bedingungen.

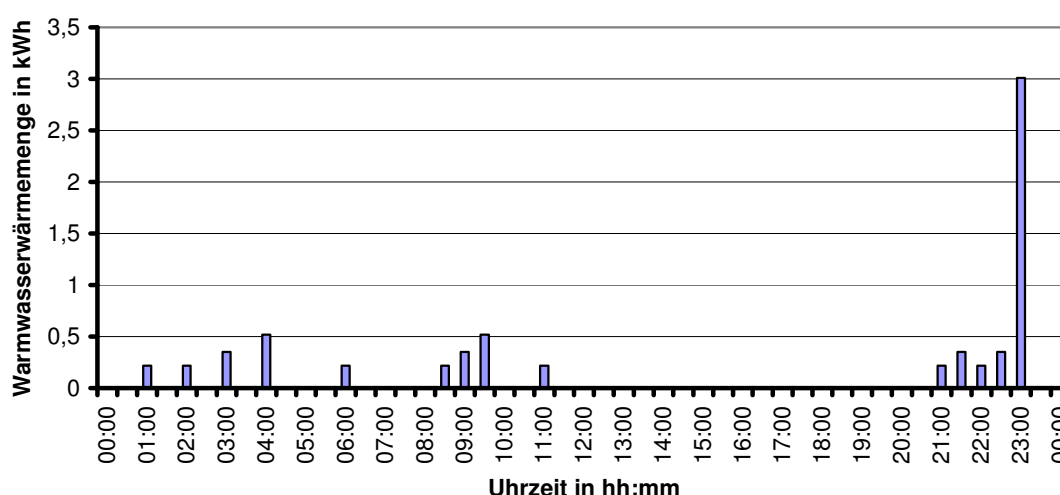


Abbildung 6: Zapfwärmemenge ZP120 nach DIN 4702 Teil 8 mit einer Temperaturspreizung von 36 K

Quelle: DIN 4702 Teil 8: Heizkessel Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors; eigene Umrechnung

Im Vergleich zur DIN 4702 Teil 8 definiert die Norm DIN EN 13203-2¹⁰ verschiedene Zapfprogramme für die tägliche Warmwasserverwendung in der Küche bzw. Handwaschbecken; zum Duschen und Baden und für die Kombinationen dieser Verwendungsarten. Das in Abbildung 7 dargestellte Zapfprogramm Nr. 3 zeigt das Warmwasserwärmebedarfsprofil für Küche, Dusche und Baden. Die Zapfprogramme nach DIN EN 13203-2 gelten für gasbeheizte Geräte, Durchlaufwassererhitzer und Kombi-Kessel mit einer maximalen Wärmebelastung von 70 kW und einem Speichervolumen ≤ 300 l.

⁹ DIN 4702 Teil 8; Heizkessel Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors

¹⁰ DIN EN 13203-2; Gasbeheizte Geräte für die sanitäre Warmwasserbereitstellung für den Hausgebrauch – Bewertung des Energieverbrauchs, Ausgabe: November 2006

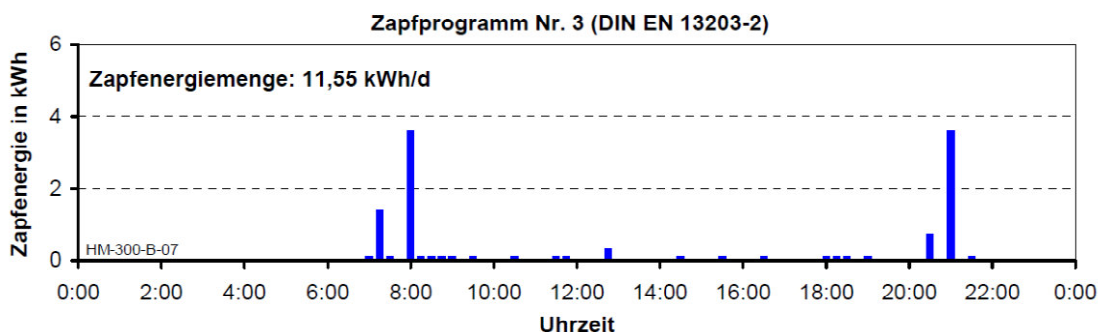


Abbildung 7: Zapfwärmemenge nach Zapfprogramm Nr.3 für Küche, Dusche und Baden

Quelle: DIN EN 13203-2

Verschiedene Norm-Warmwasserprofile ermöglichen den Vergleich von verschiedenen Geräten diverser Hersteller oder werden methodisch für die Typenprüfung bzw. Bestimmung des Normnutzungsgrades eingesetzt. Norm-Warmwasserprofile repräsentieren allerdings nur bedingt das tatsächliche Bedarfsprofil, da folgende Punkte unberücksichtigt bleiben:

- Schwankende Kaltwassertemperatur abhängig vom Wärmeverteilsystem
- Aufbau (Rohrquerschnitt, Isolierung, Länge) und Betriebsart (Zirkulations- oder Stichleitungsbetrieb) des Warmwasserverteilsystems
- Anzahl und Art der Zapfstellen
- Ein- oder Mehrfamilienhaushalt
- Jahreszeitlich bedingte Unterschiede des Bedarfsprofils
- Wochentagsabhängige Unterschiede des Bedarfsprofils

In [MUEHLBACHER 2008] sind Warmwasserbedarfsprofile beispielhaft für ein Einfamilienhaus mit einem 3-4 Personenhaushalt unter Berücksichtigung von typischen Nutzerverhalten, Zapfstellendaten und der Haushaltsgröße für den Vergleich von Norm-Zapfprofilen dargestellt (siehe Abbildung 8). Die Messdaten stammen von Monitoringprogrammen, bei denen abhängig vom Zapfstellentyp (Handwaschbecken, Dusche und Badewanne) mittlere Zapfenergiemengen und Zapfvolumenströme gemessen wurden. Die Profile in Abbildung 8 unterscheiden sich nach Wochentag und Nutzerverhalten in Normal-, Bade und Wochenendtag. Die Zapfenergiemenge eines Normaltages von 6,56 kWh/h bzw. eines Wochenendtages von 7,26 kWh/d entspricht der DIN 4702 Teil 8. Die Warmwasserspitze eines Normaltages morgens um 7:00 Uhr entspricht zeitlich und in der Zapfenergiemenge dem Norm-Zapfprofil nach DIN EN 13203-2 ist. In dieser Norm ist um 8:00 Uhr und 21:00 Uhr ein hoher Zapfenergiebedarf von größer 3 kWh zu erkennen, der bei den Monitoringdaten während eines Badetages um ca. 17:00 Uhr und 19:00 Uhr auftritt.

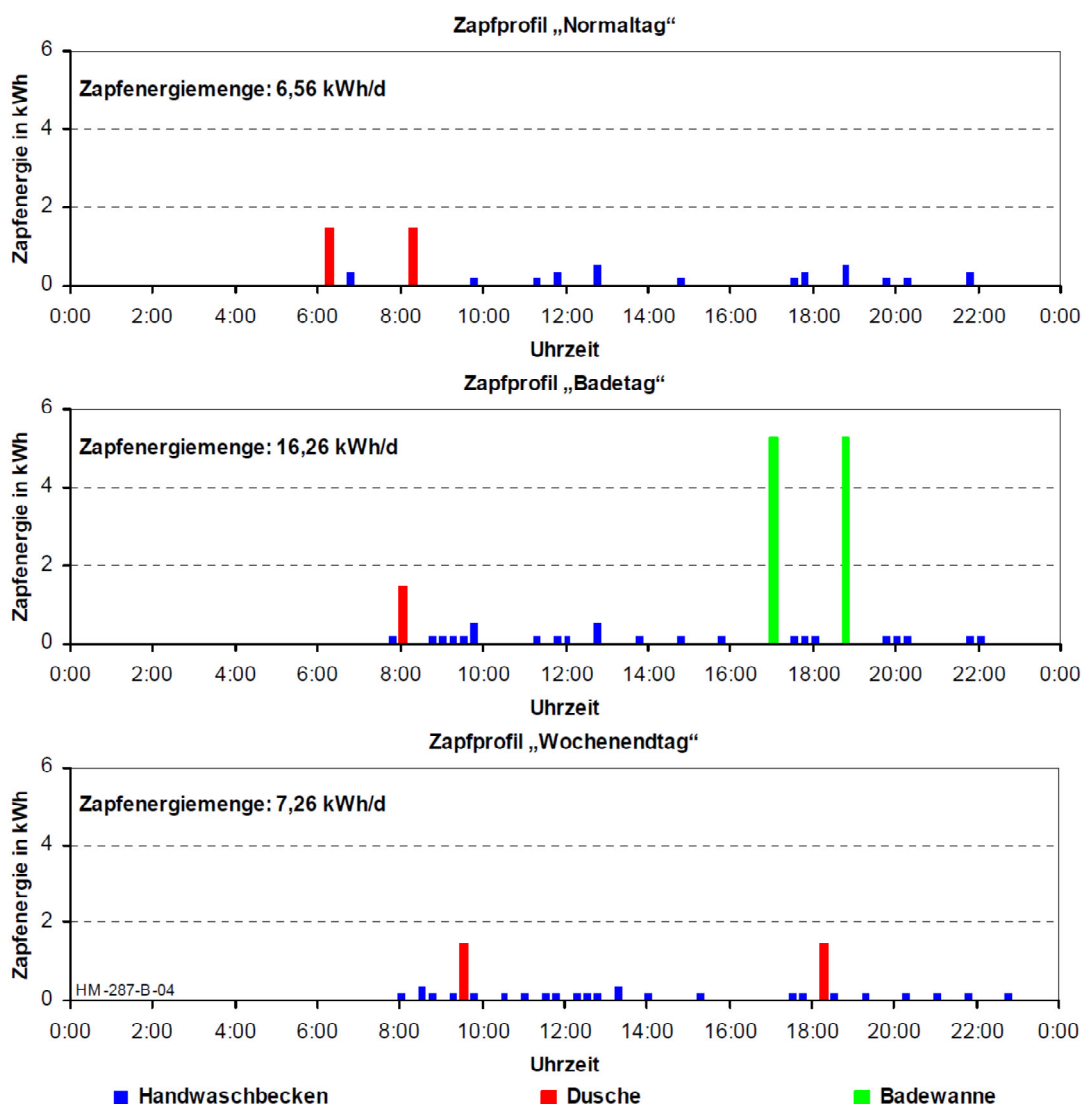


Abbildung 8: Warmwasserwärmebedarfsprofile für Normaltag, Badetag und Wochenende für einen Drei- bis Vierpersonenhaushalt in Abhängigkeit vom Zapfstellentyp

Quelle: **MUEHLBACHER 2008**

Zusammenfassung Warmwasserwärmebedarfsprofil

Monitoringdaten von insgesamt 110 Bewohnern von Ein- und Mehrfamilienhäusern zeigen eine Bandbreite der Zapfmenge von 22,4 bis 116,6 Liter pro Person und Tag, eine Zapfhäufigkeit von 3,5 bis 11,6 Zapfungen pro Person und Tag sowie die spezifische Zapfenergiemenge (exklusiv Verluste) zwischen 0,7 bis 3,8 kWh pro Person und Tag [**MUEHLBACHER 2008**].

Der größte Einflussfaktor auf den Warmwasserwärmebedarfsverlauf ist das Nutzerverhalten. Das Nutzerverhalten von Bewohnern in Bezug auf Warmwasser ist von vielen verschiedenen Faktoren wie zum Beispiel Alter, Gewohnheiten, Beruf, Wochentag, Jahreszeit usw. abhängig.

Ein eindeutiger Unterschied an der Zapfenergiemenge und dem Warmwasserbedarfsprofil kann zwischen Werktag und Wochenende und aufgrund saisonaler Schwankungen gemacht werden. Aufgrund der typisch höheren Anwesenheitszeiten der Nutzer an Wochenenden ist der

Warmwasserwärmebedarf um ca. 20 % höher als an Werktagen. Werktagen werden charakterisiert durch eine Bedarfsspitze in den Morgenstunden (05:00 bis 07:00 Uhr), die nur einer geringen jahreszeitlichen Schwankung unterliegt und einen höheren Bedarf während der Abendstunden (ab 18:00). Dieser höhere Bedarf beginnt im Winter um eine Stunde früher und ist um ca. 25% höher als im Sommer. Aufgrund der Möglichkeit und Gewohnheit, am Wochenende (bzw. auch an arbeitsfreien Tagen) morgens länger zu schlafen, tritt der morgendliche Warmwasserwärmebedarf um ca. 2 Stunden später als an einem Werktag auf. Der restliche Warmwasserwärmebedarfsverlauf am Wochenende hat keine charakteristischen Merkmale und ist von unterschiedlichen Nutzerverhalten geprägt. Das Warmwasserbedarfsprofil am Wochenende ist weitgehend unabhängig von der Jahreszeit. [MUEHLBACHER 2008].

Im Vergleich zu einem verlaufenden Tagesprofil, aufgrund unterschiedlicher Nutzungszeiten von mehreren Bewohnern eines Mehrfamilienhauses ist ein Zapfprofil eines Einfamilienhauses durch kurze Zapfzeiten (im Mittel 1,4 Minuten/Zapfung) und höherer Zapfleistung (13,1 KW) charakterisiert (DIN 4702 Teil 8).

Die gesamte Primärenergie, die für die Warmwasserwärmebereitstellung aufgebracht werden muss, ist zusätzlich noch von den Verlusten des Wärmeerzeugers sowie des Wärmeverteilsystems und der Kaltwassertemperatur abhängig. Je nach Aufbau (Rohrquerschnitt, Isolierung, Länge, Anzahl und Art der Zapfstellen) und Betriebsweise (Zirkulations- oder Sticheleitungsbetrieb) des Wärmeverteilsystems kann sich der Energiebedarf für die Warmwasserwärmebereitstellung verdoppeln.

3.1.8.2 Raumwärmebedarfsprofil

Das Raumwärmebedarfsprofil ist von verschiedenen Faktoren abhängig. In der Literatur finden sich Bedarfsprofile für die Raumwärme, die aufgrund unterschiedlichster Annahmen erstellt wurden, wodurch ein direkter Vergleich der Profile nicht möglich ist. Im Folgenden wird dargestellt wie die Faktoren 1) Nutzerverhalten, 2) Klimatische Bedingungen, 3) Heizwärmebedarf, 4) Wärmespeicherkapazität und 5) Thermische Trägheit der beheizten Zone das Raumwärmebedarfsprofil beeinflussen.

1) Nutzerverhalten: Abhängig von regelungstechnischen Möglichkeiten, über die eine Heizung verfügt und den Einstellmöglichkeiten, die der Verbraucher nutzt, variiert das Raumwärmebedarfsprofil. Während bei einem eingestellten Dauerbetrieb der Heizung, ersichtlich bei Messobjekt 1 (MO1) und Messobjekt 2 (MO2) in Abbildung 9, die Stundenmittelwerte des Tagesverbrauchs nahezu konstant bleiben, schwankt der normierte Raumwärmeverbrauch bei Messobjekt 3 (MO3) und Messobjekt 4 (MO4) da dieser durch einstellbare Heizzeiten, Warmwasserspeicherladezeiten und aktiver Nachtabenkung vom Nutzer beeinflusst wird [MUEHLBACHER 2008].

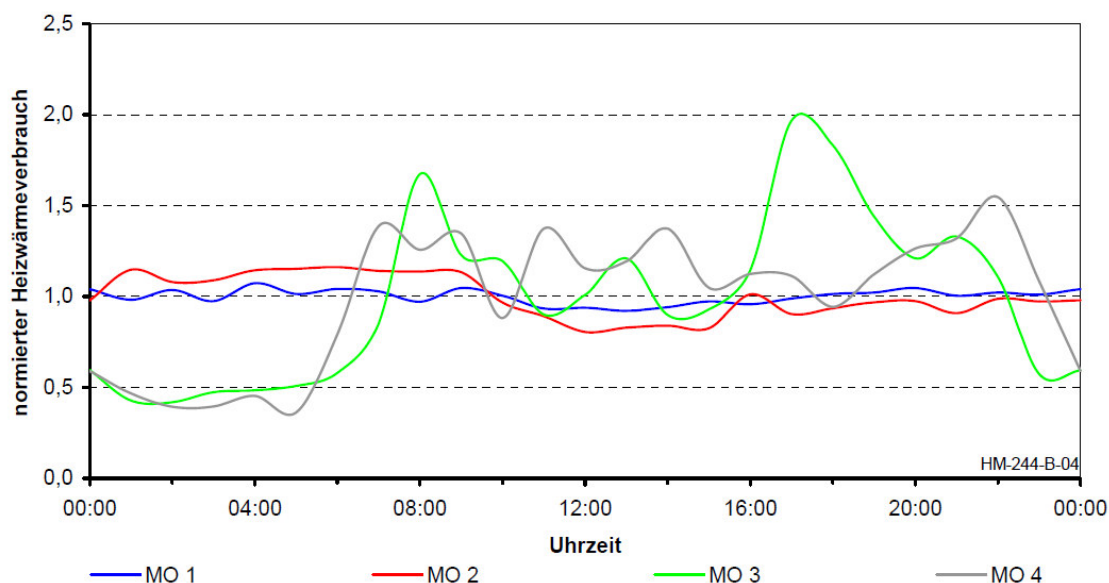


Abbildung 9: normierter Heizwärmebedarf von untersuchten Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Reihenhäuser bezogen auf den Stundenmittelwert des Tagesverbrauchs an Werktagen
Quelle: [MUEHLBACHER 2008]

Nutzungsprofile beeinflussen das Raumwärmebedarfsprofil auch durch den Eintrag interner thermischer Gewinne (Personen, Geräte, Beleuchtung), durch das Lüftungsverhalten (Luftwechselzahlen) und den Nutzungszeiten. Werte für die Nutzungsprofile und das Referenzklima sind der ÖNORM B 8110-5 „Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile“ zu entnehmen.

2) Klimatische Bedingungen: Folgende klimatische Bedingungen beeinflussen das Raumwärmebedarfsprofil: jährlicher Verlauf von Außentemperatur, solare Einstrahlung und Windgeschwindigkeit und -richtung. Durch Langzeitmessungen der klimatischen Bedingungen und deren statistische Auswertung können Referenzjahre für bestimmte Klimazonen erstellt werden. Werte für das Referenzklima und die Nutzungsprofile sind der ÖNORM B 8110-5 „Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile“ zu entnehmen. Die Charakteristik des täglichen und jährlichen Außentemperaturverlaufs beeinflusst maßgeblich das Raumwärmebedarfsprofil. In der Richtlinie VDI 4655: „Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen“ sind typische Lastprofile festgelegt. Die Grundlage der Lastprofile sind ein- bis zweijährige Messdaten von Ein- und Mehrfamilienhäusern. Ein Referenzlastprofil ist die Auswahl desjenigen Profils aus der Menge definierten Typtage, das dem typischen Verlauf der gemessenen Tage am nächsten kommt. Die Tageslastgänge sind nach den Kriterien Werktag/Sonntag, heiter/bewölkt und Übergang/Sommer/Winter in zehn Kategorien unterteilt worden. In der Richtlinie werden für jeden Typtag normierte, kumulierte Tagesenergiebedarfskurven erstellt. Die daraus erstellten Lastprofile sind vom Jahresenergiebedarf des untersuchten Gebäudes abhängig. In Abbildung 10 sind für den Gebäudetyp Einfamilienhaus und einem mittleren Jahresheizwärmebedarf von 30,5 MWh typische Raumwärmebedarfsprofile in Abhängigkeit der Jahreszeit (Übergangsjahreszeit und Winter) und der Bewölkung (bewölkt und heiter) dargestellt. Da die Datengrundlage der VDI-Richtlinie 4655 auf den Energieverbrauch von Gas-Brennwertgeräten basiert,

sind diese von sehr hohen Schaltzyklen und Spitzenleistungen geprägt. Deshalb wurde die Datengrundlage der VDI-Richtlinie 4655 mittels Kurvendarstellung modifiziert, um möglichst einem tatsächlichen Wärmenachfrageprofil zu entsprechen.

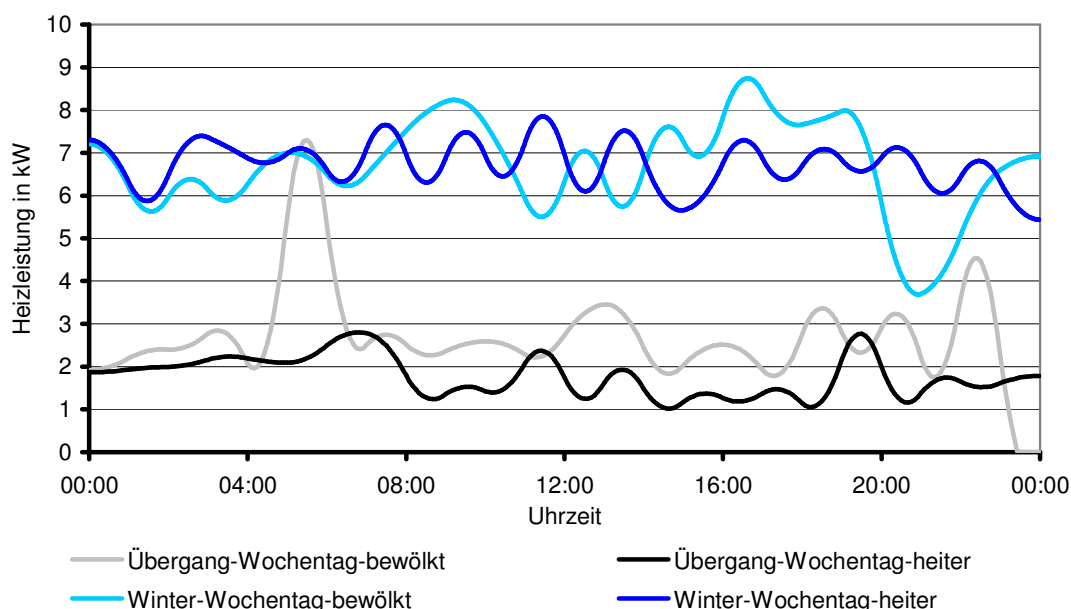


Abbildung 10: Raumwärmebedarfsprofile für bestimmte Typtage nach VDI-Richtlinie 4655
Quelle: VDI-Richtlinie 4655 und eigene Berechnungen

3) Heizwärmebedarf: Die rechnerisch ermittelte Wärmemenge, die einem Gebäude innerhalb der Heizperiode zuzuführen ist, um eine gewünschte Innentemperatur zu erreichen, wird als Heizwärmebedarf bezeichnet. Der Heizwärmebedarf ist eine Baukenngröße und wird von folgenden Faktoren beeinflusst: Gebäudehülle (Gebäudedämmstandard, Oberflächen/Volumen Verhältnis, Orientierung), klimatische Bedingungen (Außentemperatur, solare Einstrahlung) und der baulichen Nutzungsart. Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs werden interne und solare Gewinne berücksichtigt. Der Heizwärmebedarf für den Energieausweis wird in Österreich nach OIB – Leitfaden¹¹ bzw. EN 832¹²: berechnet. Der Heizwärmebedarf gibt die durch Berechnung ermittelte Wärmemenge an, die im langjährigen Mittel während einer Heizsaison den Räumen des Gebäudes zugeführt werden muss, um die Einhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur sicherzustellen. Der Heizwärmebedarf Q_h wird durch Bilanzierung gemäß EN 832 wie folgt ermittelt:

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta \times (Q_i + Q_s) \dots \text{kWh/a}$$

¹¹ OIB - Leitfaden: Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen; Österreichisches Institut für Bautechnik; Nummer OIB-382-010/99; März 1999

¹² DIN EN832:2003-06 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude

Q_h	Heizwärmebedarf in der Heizperiode	kWh/a
Q_T	Transmissionswärmeverluste in der Heizperiode	kWh/a
Q_V	Lüftungswärmeverluste in der Heizperiode	kWh/a
η	Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne (ist abhängig von der Wärmespeicherkapazität des Gebäudes siehe Punkt 4)	-
Q_i	interne Wärmegewinne in der Heizperiode	kWh/a
Q_s	solare Wärmegewinne über transparente Bauteile in der Heizperiode	kWh/a

Tabelle 6: Benennung der Faktoren zur Berechnung des Heizwärmebedarfs nach EN 832

Bei Neubauten wird hauptsächlich durch verbesserten Gebäudedämmstandard und Nutzung solarer Gewinne der Heizwärmebedarf reduziert und dadurch das Niveau des Raumwärmebedarfsprofils herabgesetzt.

Neben dem stationären Verfahren (Heizperioden-Bilanzverfahren) und dem quasi-stationären Verfahren (Monats-Bilanzverfahren) gibt es das dynamische Verfahren (Gebäudesimulation) als Methode zur Berechnung des Heizwärmebedarfs. In Österreich gilt die quasi-stationäre Methode als Mindestanforderung für die Berechnung des Energieausweises. Für die Berechnung des zeitlichen Verlaufs des Heizwärmebedarfs muss ein dynamisches Verfahren (Gebäudesimulation) angewandt werden.

4) Wärmespeicherkapazität des Gebäudes: Hohe Wärmespeicherkapazitäten von Gebäuden vergleichsmäßigen das Wärmenachfrageprofil, da kurzfristige Lastschwankungen des Raumwärmebedarfs ausgeglichen werden können. Eine hohe Wärmespeicherfähigkeit von Gebäuden (bei Massivbauten) bewirkt einen höheren Ausnutzungsgrad der internen und solaren Gewinne. Jedoch nach längeren Stillstandszeiten des Wärmebereitstellungssystems (z.B. Urlaubsabschaltung), die dazu führen dass thermische Speichermassen auskühlen, ist kurzfristig ein höherer Wärmebedarf, als bei Gebäuden mit geringer Wärmespeicherkapazität, erforderlich. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C wird gemäß ÖNORM B 8110-3¹³ unter Einbeziehung der Übergangswiderstände und Umrechnung von Speichermassen in Speicherkapazitäten oder entsprechend dem vereinfachten Ansatz nach OIB-Leitfaden berechnet:

$$\begin{aligned} C &= 15 \times V_B \text{ in Wh/K} && \text{für leichte Bauweisen} \\ C &= 30 \times V_B \text{ in Wh/K} && \text{für mittelschwere Bauweisen} \\ C &= 60 \times V_B \text{ in Wh/K} && \text{für schwere Bauweisen} \end{aligned}$$

C	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes	Wh/K
V_B	beheiztes Brutto-Volumen des Gebäudes	m^3

Tabelle 7: Benennung der Faktoren zur Berechnung der Speicherfähigkeit nach OIB-Leitfaden

5) Thermische Trägheit: Eine relevante Kenngröße für das Wärmebereitstellungsprofil, die aus der Wärmespeicherfähigkeit berechnet wird, ist die thermische Trägheit der beheizten Zone. Die thermische Trägheit ist eine Gebäudezeitkonstante in h, die gemäß EN 832 wie folgt ermittelt wird:

$$\tau = \frac{C}{L_T + L_V} \text{ in h}$$

τ	Gebäudezeitkonstante	h
C	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes	Wh/K
L_T	Transmissions-Leitwert der Gebäudehülle	W/K
L_V	Lüftungs-Leitwert der Gebäudehülle	W/K

Tabelle 8: Benennung der Faktoren zur Berechnung der thermischen Trägheit nach EN 832

Je nach Wärmeverteilsystem (z.B. Heizkörper, Fußbodenheizung) beeinflusst die thermische Trägheit der beheizten Zone die Reaktionsgeschwindigkeit der Wärmebereitstellung. Ein Fußbodenheizungssystem (integriert in thermischer Masse) reagiert langsamer auf eine schwankende Wärmeanforderung als ein Heizkörper. Die thermische Trägheit beeinflusst das Wärmenachfrageprofil bei gleichbleibendem Heizwärmebedarf.

¹³ ÖNORM B 8110-3 (Vornorm vom 1. März 1989) "Wärmeschutz im Hochbau - Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse"

3.1.8.3 Zukünftige Wärmebereitstellungsprofile

Ausgehend von den derzeitigen Wärmenachfrageprofilen (siehe Kapitel 3.1.8.1 und 3.1.8.2) und dem Trend zu energieeffizienten, wärmegedämmten Neubauten und mehr Komfort bei der Warmwasserbereitstellung, können zukünftige Wärmebereitstellungsprofile erstellt und analysiert werden. In Tabelle 9 sind die Jahresbedarfsdaten für Raumwärme und Warmwasser für den Vergleich der Wärmebereitstellungsprofile der Gebäudetypen Bestand, thermisch saniertes Gebäude, Neubau, Neubau 2020 und Neubau 2020 mit 25% mehr Warmwasserverbrauch aufgelistet.

		Bestand	thermisch saniert	Neubau	Neubau 2020	Neubau 2020 WW+25%
Gebäudedaten	-	4 Personen und 130 m ² Bruttogeschoßfläche				
Jahresraum- wärmebedarf	MWh	30,4	15,2	6,4	1,6	1,6
Jahreswarm- wasserbedarf	MWh	1,6	1,6	1,6	1,6	2
Energie- kennzahl	kWh/m ² a	234	117	49	12	12
Verhältnis Warmwasser zu Heizwärme	-	1:19	1:10	1:4	1:1	1:0,8

Tabelle 9: Rahmendaten für den Vergleich von Wärmebereitstellungsprofilen verschiedener Bauklassen.
Quelle: eigene Annahmen

Das Verhältnis Warmwasser zu Heizwärme in Tabelle 9 verdeutlicht am besten die Verschiebung der Wärmenachfrage weg von Heizwärme hin zu Warmwasser. Im Gegensatz zum Heizwärmebedarf, der besonders bei Gebäuden mit hoher thermischer Speichermasse und bei Fußbodenheizsystemen über den gesamten Tag gleichmäßig verteilt ist, ist der Warmwasserbedarf nutzerabhängig und durch tagszeitabhängige Leistungsspitzen geprägt. Die Wärmenachfrageprofile in Abbildung 11 sind mit den Rahmendaten aus Tabelle 9 und in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4655 erstellt worden. Abbildung 11 zeigt den ausgeprägten Spitzenlastbedarf aufgrund der Warmwasserbereitstellung beim Neubau 2020 im Vergleich zum Bestand oder sanierten Gebäuden. Dieser Spitzenbedarf wird bei steigenden Komfortansprüchen (z.B. Zirkulationssystem) bei der Warmwassernutzung noch verstärkt (Neubau 2020 +25 % Warmwasserbedarf).

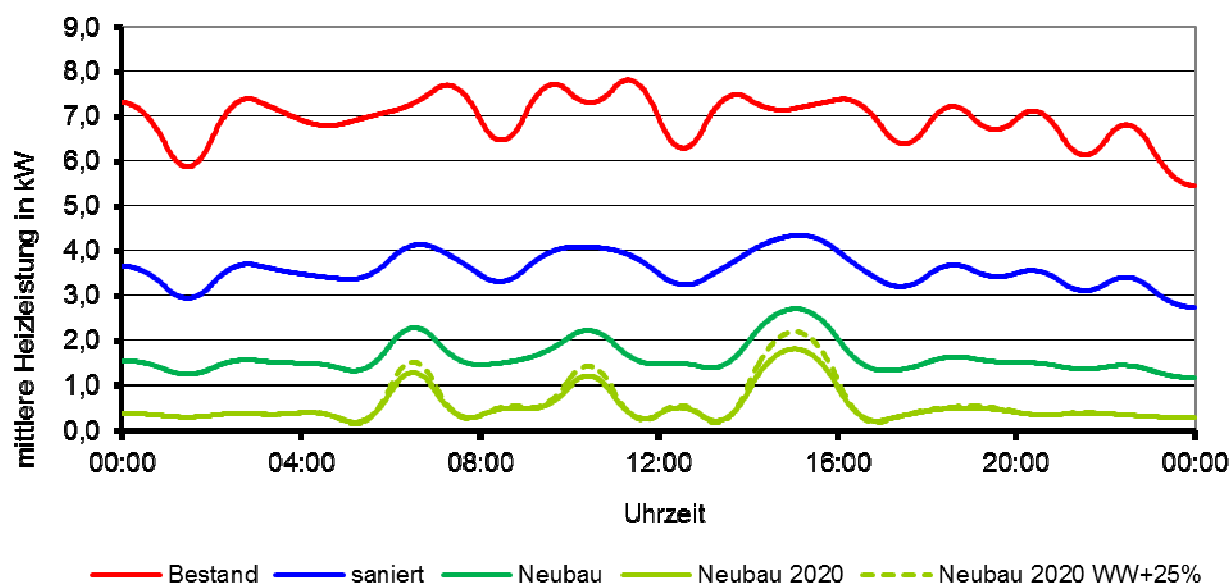


Abbildung 11: Wärmebereitstellungsprofile in Abhängigkeit des Gebäudestandards für den Typtag: Winter-Wochentag-heiter

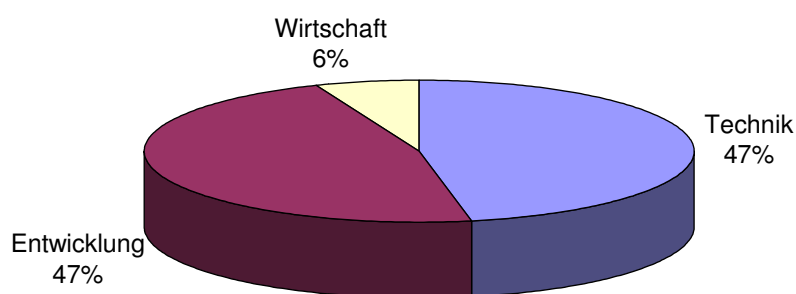
Quelle: in Anlehnung nach VDI-Richtlinie 4655 und eigene Berechnungen

3.1.9 Auswertung des Fragebogens

Zur Ermittlung der Vor- und Nachteile, der wirtschaftlichen Aspekte und der Marktentwicklung von Pelletskessel, Solaranlagen und Kompaktheizsystemen sowie die Anforderungen an Wärmebereitstellungssysteme und zukünftiger Wärmenachfrageprofile wurden Interviews mit Branchenexperten geführt. Die Ergebnisse der 16 befragten Personen sind im Folgenden aufbereitet und tabellarisch zusammengefasst.

Allgemeine Fragen:

„In welchem Berufsfeld sind Sie zur Zeit der Befragung tätig?“



Wie lange Arbeiten Sie bereits in ihrem Berufsfeld? [in a]	Alter	Geschlecht	
Mittelwert	Mittelwert	Männlich	Weiblich
11,4	37	87,5%	12,5%

3.1.9.1 Gebäudeheiztechnik

1) Wie schätzen Sie die Effektivität von Holzpellets- Solarthermie-Kompaktheizungssysteme in folgenden Bauklassen ein?

Bauklasse	hervorragend	gut	befriedigend	ausreichend	unzureichend	Keine Angabe
Bestand	13%	25%	44%	12%	6%	
Saniert	25%	69%	6%			
Neubau	56%	44%				
Besser als Neubau	25%	38%	13%	6%	6%	12%

2) Finden Sie, dass ein Pelletsbrenner integriert in einem Pufferspeicher und solarthermischer Heizungsunterstützung wirtschaftlich ist?

Bauklasse	sehr wirtschaftlich	wirtschaftlich	nicht wirtschaftlich	Keine Angabe
Bestand	31%	50%	13%	6%
Saniert	50%	44%		6%
Neubau	63%	25%	6%	6%
Besser als Neubau	25%	31%	25%	19%

2 a) Welche Vorteile bzw. Nachteile sehen Sie in einem solchen System? Welche Verbesserungsmöglichkeiten bestehen?

VORTEILE:	Anzahl der Antworten
geringer Platzbedarf, kompakte Bauweise	9
schnelle, einfache Montage	6
zentrale, abgestimmte Regelung, leicht bedienbar	4
Effizienz, Wirkungsgrad, energiesparend	4
wartungsarm	1
NACHTEILE:	
Investitionskosten, Betriebskosten	2
Begrenzung der Speichergröße nach oben	1
Größe des Puffers nicht frei wählbar	2
zu hohe Leistung für Gebäudekategorie: Besser als Neubau	2
einzelne Komponenten können nur schwer getrennt ausgetauscht werden	3
nur dort sinnvoll einsetzbar, wo Pellets UND Solar verwendet werden soll	1
Platzbedarf	1
aufwändigere Installation	1
VERBESSERUNGSMÖGLICHKEITEN:	

geringere Heizleistung vom Kessel erforderlich	3
genaue Abstimmung der Puffer-Größe bezügl. Temperaturniveau, Verhältnis Warmwasser und Raumwärme	2

3) Finden Sie, dass ein Pelletsbrenner integriert in einem Pufferspeicher und solarthermischer Heizungsunterstützung allgemein attraktiv ist?

Bauklasse	sehr attraktiv	attraktiv	nicht attraktiv	Keine Angabe
Bestand	19%	62%	6%	13%
Saniert	44%	50%		6%
Neubau	69%	25%		6%
Besser als Neubau	37%	37%	13%	13%

3 a) Warum?	Anzahl der Antworten
geringer Platzbedarf, kompakte Bauweise	4
schnelle, einfache Montage	3
ein Ansprechpartner für Kessel, Puffer	1
einzelne, abgestimmte Regelung	2
nur Erneuerbarer Energieträger	1
Effizienz	1
Bestand: In Altbauten sollten als erstes Energiesparpotentiale voll ausgeschöpft werden	1
Saniert: Im Zuge einer grundlegenden Gebäudesanierung sollte dies Investition getätigt werden	1
Neubau: Das Gebäude kann optimal an die Installationsbedingungen angepasst werden	1
Passiv: In kleinem Maßstab in Ordnung, sonst zu hohe Investitionskosten bei geringer Auslastung	1
Kombination im Allgemeinen sehr attraktiv, bei höherem Wärmebedarf stellt sich die Frage ob ein Kombigerät ausreichend dimensioniert ist.	1

4) Wie hoch schätzen Sie das Einsparungspotential durch Optimierung bzw. Weiterentwicklung der Regelung von Pelletskesseln mit solarthermischer Heizungsunterstützung?			
hoch	mittel	gering	Keine Angabe
56%	28%	16%	
Begründung:			
Regelung weist bereits einen hohen Stand auf			
Verbesserung der Kesseltechnik & Materialien ist von größerer Entscheidung			
Wenn jetzt vor Ort schon alles richtig eingestellt ist, dann ist das weitere Potenzial mittel, wenn nicht dann hoch.			
bessere Ausnützung der Sonnenenergie			
"intelligente" Steuerungs- und Regelungstechnik, beruhend auf nahezu realistischen Verbraucher-Simulationen, helfen die Energie effizienter und verbrauchsspezifischer zu nutzen			
Bisher ist Regelung nicht auf Einzelkomponenten optimiert. Oft hat z.B. Solaranlage noch eigene Steuerung.			
angepasste Regelung: schnelles reagieren auf Sonne, Wärmebedarf, etc.			

3.1.9.2 Marktentwicklung

5) Welchen aktuellen Bedarf sehen Sie für die Solarthermie bei verschiedenen Bauklassen?				
Bauklasse	kein Bedarf	Bedarf für Warmwasserunterstützung	Bedarf für Warmwasser- und Heizungsunterstützung	Keine Angabe
Bestand		72%	22%	6%
Saniert		22%	78%	
Neubau		6%	94%	
Besser als Neubau		22%	78%	

6) Wie wird sich der österreichische/ deutsche Markt von Solarthermieranlagen in den nächsten 10 Jahren ändern?				
Bauklasse	wächst	bleibt gleich	schrumpft	Keine Angabe
Bestand	56%	32%	6%	6%
Saniert	63%	31%		6%
Neubau	56%	25%	13%	6%
Besser als Neubau	31%	38%	25%	6%

7) Welchen Bedarf sehen Sie für Pelletskessel bei verschiedenen Bauklassen?				
Bauklasse	kein Bedarf	Bedarf für Heizungsunterstützung	Bedarf für Warmwasser- und Heizungsunterstützung	Keine Angabe
Bestand			100%	
Saniert			100%	
Neubau			100%	
Besser als Neubau	31%	6%	50%	13%

8) Wie wird sich der österreichische/ deutsche Markt von Pelletskessel in den nächsten 10 Jahren ändern?				
Bauklasse	wächst	bleibt gleich	schrumpft	Keine Angabe
Bestand	75%	22%		3%
Saniert	87%	13%		
Neubau	56%	31%	13%	
Besser als Neubau	22%	44%	25%	9%

9) Wie sehen Sie die Kostenentwicklung von Solarthermie bzw. Pelletskessel in Bezug auf ihre Preisentwicklung? (Investitions- und Betriebskosten)				
Heizsystem	Preissteigerung	preisstabil	Preissenkung	Keine Angabe
Solarthermie	19%	37%	44%	
Pelletskessel	25%	56%	19%	

10) Wie groß schätzen Sie den Markt für Solarthermie-Pellets-Kompaktheizungssysteme in der Größenordnung bis 25kW ein?					
	Bis 1000 Stk / a	1001 Stk / a bis 5000 Stk / a	5001 Stk / a bis 10000 Stk/a	mehr als 10000 Stk/a	Keine Angabe
Österreich	31%	19%	13%	6%	31%
Deutschland	6%	19%	25%	19%	31%

3.1.9.3 Wärmenachfrageprofil

11) Wie hoch schätzen Sie den Einfluss folgender Faktoren auf die tägliche Schwankungsbreite des Warmwasserbedarfs?					
Faktoren:	niedrig	mittel	hoch	Sehr hoch	Keine Angabe
Personenanzahl / Haushalt	6%	25%		69%	
Jahreszeit	38%	34%	22%	6%	
Wochentag	31%	22%	47%		
Nutzerverhalten		6%	38%	56%	
Warum?					Anzahl der Antworten
Nutzerverhalten ist die größte Variable					4
Personenanzahl multiplizieren Nutzerverhalten					1
bei Berufstätigen wird am Wochenende der Bedarf steigen					1
wochentags sind oft weniger Personen im Haus als am Wochenende					1

12a) Wie wird sich der Jahresenergiebedarf [in kWh] für Warmwasser/Raumwärme in zukünftigen Einfamilienhäuser bzw. kleinere Mehrfamilienhäuser ändern?				
	wird geringer	bleibt gleich	wird steigen	Keine Angabe
Einfamilienhäuser-Warmwasser	19%	56%	25%	
Einfamilienhäuser-Raumwärme	87%	13%		
kleinere Mehrfamilienhäuser-Warmwasser	13%	62%	25%	
kleinere Mehrfamilienhäuser-Raumwärme	81%	19%		
Warum?				Anzahl der Antworten
WARMWASSER				
Warmwasser ist bewohnerabhängig, wird sich nicht ändern.				1
Warmwasser = Komfort (Whirlpool, Sauna,...) -> steigt				1
einsparen von Wasser				1

RAUMWÄRME	
effiziente Bauweise (Dämmung)	6
bessere Technik	3
lukrative Förderung für Gebäude und Heizung	1
Steigerung der Effizienz (Dämmung wird meist mit mehr Komfort weggemacht)	1
sparsames Verhalten	1

12a) Wie wird sich der Jahresenergiebedarf [in kWh] für Warmwasser/Raumwärme in zukünftigen Einfamilienhäuser bzw. kleinere Mehrfamilienhäuser ändern?

	wird geringer	bleibt gleich	wird steigen	Keine Angabe
Einfamilienhäuser-Warmwasser	25%	62%	13%	
Einfamilienhäuser-Raumwärme	94%	6%		
kleinere Mehrfamilienhäuser-Warmwasser	25%	62%	13%	
kleinere Mehrfamilienhäuser-Raumwärme	87%	13%		

Warum?	Anzahl der Antworten
Warmwasser = Komfort (Whirlpool, Sauna....) -> steigt	1
RAUMWÄRME:	
effiziente Bauweise	5
effiziente Technik	3
lukrative Förderung für Gebäude und Heizung	1
sparsames Verhalten	1
Hoher Anteil an Glasflächen erhöhen oft den Anteil der notwendigen installierten Leistung	1
Durch vermehrten Einsatz von Solarthermie und durch niedrigeren Raumwärmebedarf kann das Heizsystem reduziert werden	1

13) Welche Anforderungen werden Ihrer Meinung nach an zukünftige Wärmebereitstellungssysteme (für Raumwärme und Warmwasser) gestellt?

	Anzahl der
--	------------

	Antworten
Sparsam, hohe Effizienz	7
Niedrige Investitionskosten	5
Platzsparend und Kompaktheit	5
Umweltfreundlich, niedrige Emissionen	5
Einfache Bedienung	4
Bessere Hygiene (Ablagerungen, Schutz vor Legionellen)	3
Geringer bis kein Wartungsaufwand	3
Vollautomatisch	3
Niedrige Leistungsbereiche, da Gebäude besser isoliert werden	3
Gutes Service des Herstellers	3
Zuverlässig	3
Erfüllung von individuellen Komfortansprüchen	2
Intelligente Regelung	2
Niedrige Betriebskosten	2
Hohe Flexibilität-> modulierend, Anpassung an aktuellen Verbrauch	2
Schnelle und einfache Montage	1
Wirtschaftlich im Vergleich zu Öl und Gas	1
Niedriger Hilfsenergieeinsatz	1
Design: Geräte im Wohnraum müssen gut aussehen	1
Gute Qualität und Verarbeitung	1
Niedriger Geräuschpegel	1

14) Wird die Anwendung eines Zirkulationssystems in Ein-/Zweifamilienhäusern zunehmen?			
Ja	abnehmend	gleichbleibend	Keine Angabe
19%	44%	25%	13%

3.1.10 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

3.1.10.1 Marktanalyse Gebäude

Die Zielmärkte für Solarthermie-Biomasse Kompaktanlagen sind sanierte Gebäude und der Neubau von größeren Einfamilienhäuser (> 200m²) bzw. Mehrfamiliengebäude (siehe Tabelle 10).

Ein-/Zweifamilienhäuser	Deutschland	Österreich
Neubau im Jahr 2010	78.000	16.000
Bestand	15,5 Mio (75% vor 1978)	1,75 Mio (60% vor 1980)
Sanierungsrate in % pro Jahr	1,2%	1,2%
Sanierte Gebäude pro Jahr	186.600	21.000

Tabelle 10: Neubau, Bestand und sanierte Gebäude in Deutschland und Österreich

Quelle: **Statistisches Bundesamt Genesis 2010; Statistik Austria 2010; AMTMAN 2011; EEAP 2007; Energie 2030; STIESS 2010**

Die größere Masse an Bautätigkeiten wird in der Sanierung des Bestandes liegen, da Deutschland und Österreich ihre Sanierungsrate mind. verdoppeln wollen um ihre Ziele auf 2020 gesehen zu erreichen. Die Neubaurate ist zwar gleichbleibend, jedoch fallen Einfamilienhäuser mit sehr hohem Dämmstandard aus dem Marktsegment für Solarthermie-Biomasse Kompaktanlagen.

3.1.10.2 Marktanalyse Gebäudetechnik

Aus den Marktdaten (siehe Tabelle 11) geht hervor, dass der Markt für Pelletszentralheizungen in Deutschland noch Nachholbedarf aufweist. Solarthermieranlagen sind in beiden Ländern etabliert. Österreich besitzt mit 327 kW_{th} pro 1.000 Einwohner nach Zypern die höchste solarthermisch installierte Leistung pro Einwohner [ESTIF 2011, Austria Solar 2011].

Für den Verkauf von kompakten Biomasse-Solarthermie Heizsystemen ist es wichtig, dass das Heizmedium Pellets stärker ins Licht der Öffentlichkeit tritt.

Für Biomasse-Solarthermie Kompaktanlagen sind keine Marktdaten vorhanden.

	Deutschland	Österreich
Heizkesseltausch pro Jahr	60.000	6.720
2010 installierte Pelletskessel <100 kW	8.500	8.100
2010 installierte Solarthermieranlagen	115.000	15.000

Tabelle 11: jährlicher Heizkesseltausch und neu installierte Pelletskessel in Deutschland und Österreich im Jahr 2010

Quellen: **Solar Promotion 2011, Austria Solar 2011, FURTNER, HANEDER 2012**

3.1.10.3 Förderung

In Österreich und Deutschland wird rund ein Drittel dessen was die beiden Länder an Energie verbrauchen zur Beheizung von Gebäude verwendet. Wiederum der größere Teil davon geht durch Gebäude mit veralteter Gebäudehülle und/oder Gebäudetechnik verloren. Um eine Verbesserung zu erzielen, werden in beiden Ländern Systeme zur thermischen Verbesserung von Gebäuden gefördert. Deutschland und Österreich gehen bei der Förderung von Energieeffizienten Gebäuden/Gebäudetechniksystemen unterschiedliche Wege. In Deutschland wird bundesweit gefördert, während in Österreich die Bundesländer einzelne Förderbestimmungen besitzen. Dennoch verfolgen beide Länder damit ein und dasselbe Ziel, die Verringerung des Gesamtenergieverbrauchs.

In den kommenden Jahren werden die Preise für fossile Energieträger weiter steigen und Heizsysteme, die mit erneuerbarer Energie betrieben werden, ohne Förderung konkurrenzfähig. Eine Förderung zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von erneuerbaren Energien wird somit nicht mehr benötigt und eingestellt werden. In Niederösterreich ist zum Beispiel die Investitionsförderung für Pelletskessel oder Solarthermieranlagen mit 01.01.2011 eingestellt worden.

3.1.10.4 Entwicklung in der Bauordnung

In den vorangegangenen und kommenden Jahren sind Gesetze/Verordnungen in Bezug auf die Bereitstellung/Nutzung von Energie immer strenger geworden. Durch stark steigende Energiepreise (Energieträgerpreise) und eine immer stärkere fortschreitende Umweltbelastung ist in diesem Verlauf

auch kein Ende in Sicht. Jedoch sind die Zeiträume in denen diese Gesetze/Verordnungen in Kraft treten so gewählt, dass für die Hersteller und Kunden solcher Systeme keine unlösbaren Probleme entstehen. Eine EU-weite Vorgabe für die nationalen Bauordnungen ist die EU-Gebäuderichtlinie. Ein Auszug aus der EU-Gebäuderichtlinie umfasst folgende Punkte:

- Neue Gebäude ab 2020 müssen „nahezu Energieautark“ sein
 - Die Berechnung erfolgt auf Basis des Primärenergieverbrauchs
 - Durch Energieeffizienzstandards und dezentraler erneuerbarer Energie
- Ab einer Sanierung der Gebäudehülle von über 25% bei Eigenheimen muss der Energiestandard der jeweiligen Landesnorm (in Österreich OIB-Leitfaden¹⁴) erreicht werden.
- Regelmäßige Überprüfung der Effizienz von Wärme- und Kälteerzeugern
- Einführung eines Systems von Sanktionen und Strafen bei einer Nichteinhaltung

3.1.10.5 Analyse der Wärmenachfrageprofile

Warmwasserwärmebedarf:

Die Bandbreite der gesammelten Daten zeigt den großen Einfluss verschiedenster Faktoren auf den Warmwasserwärmebedarf. Monitoringdaten aus der Literaturquelle [MUEHLBACHER 2008] zeigen eine Zapfhäufigkeit von 3,5 bis 11,6 Zapfungen pro Person und Tag sowie die spezifische Zapfenergiemenge zwischen 0,7 bis 3,8 kWh pro Person und Tag (exklusiv Verluste). Warmwasserprofile sind hauptsächlich abhängig von der Personenzahl pro Wohneinheit und deren Nutzerverhalten. Charakteristische Profile aufgrund, ähnlicher Nutzergewohnheiten an Werktagen und Wochenendtagen sowie jahreszeitlich bedingt, können erstellt und bewertet werden. Warmwasserbedarfsspitzen treten aufgrund der Körperpflege durch Baden bzw. Duschen während der Morgen- bzw. Abendstunden auf. Die Zapfenergiemenge eines Handbeckens von ca. 0,1 kWh/Zapfung spielt im Vergleich zu einem Vollbad von ca. 6 kWh/Zapfung und einer Zapfleistung von 20 – 30 kW eine untergeordnete Rolle.

Raumwärmebedarf:

Raumwärmebedarfsprofile werden hauptsächlich durch Nutzerverhalten, klimatischen Bedingungen, dem Heizwärmebedarf des Gebäudes, der Wärmespeicherkapazität des Gebäudes und der thermischen Trägheit beeinflusst.

Nutzerverhalten: Abhängig von regelungstechnischen Möglichkeiten, über die eine Heizung verfügt und den Einstellmöglichkeiten, die der Verbraucher nutzt, kann das Raumwärmebedarfsprofil im Bereich zwischen 50 bis 200% des durchschnittlichen normierten Heizwärmeverbrauchs variieren [MUEHLBACHER 2008].

Klimatische Bedingungen: Die Charakteristik des täglichen und jährlichen Außentemperaturverlaufs sowie der solaren Einstrahlung beeinflusst maßgeblich das Raumwärmebedarfsprofil.

¹⁴ OIB - Leitfaden: Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen; Österreichisches Institut für Bautechnik; Nummer OIB-382-010/99; März 1999

Heizwärmebedarf: Die rechnerisch ermittelte Wärmemenge, die einem Gebäude innerhalb der Heizperiode zuzuführen ist, um eine gewünschte Innentemperatur zu erreichen, wird als Heizwärmebedarf bezeichnet. Der Heizwärmebedarf für den Energieausweis wird in Österreich nach OIB – Leitfaden¹⁵ bzw. EN 832¹⁶ berechnet. Für die Berechnung des zeitlichen Verlaufs des Heizwärmebedarfs muss ein dynamisches Verfahren (Gebäudesimulation) angewandt werden.

Wärmespeicherkapazität des Gebäudes und thermische Trägheit: Hohe Wärmespeicherkapazitäten von Gebäuden vergleichmäßigen das Wärmenachfrageprofil, da kurzfristige Lastschwankungen des Raumwärmebedarfs ausgeglichen werden können. Je nach Wärmeverteilsystem (z.B. Heizkörper, Fußbodenheizung) beeinflusst die thermische Trägheit der beheizten Zone die Reaktionsgeschwindigkeit der Wärmebereitstellung. Ein Fußbodenheizungssystem, integriert in thermischer Masse, reagiert langsamer auf eine schwankende Wärmeanforderung als ein Heizkörper. Die thermische Trägheit beeinflusst das Wärmenachfrageprofil bei gleichbleibendem Heizwärmebedarf.

Für zukünftige Wärmebereitstellungsprofile wird im Vergleich zum Bestand eine Reduzierung des Grundlastbedarfs um den Faktor 3-4 bei sanierten Gebäuden und 6-8 bei Neubauten erwartet. Derzeitige und zukünftige Wärmebereitstellungsprofile sind durch ausgeprägte nutzerabhängige Leistungsspitzen, aufgrund der Warmwasserbereitstellung für Duschen und/oder Baden in den Morgen- und Abendstunden, gekennzeichnet. Im zukünftigen Neubau kommt, aufgrund besser werdenden Wärmedämmstandards, dem Warmwasserverbrauch, im Verhältnis zum Raumwärmebedarf, immer mehr Bedeutung zu.

3.1.10.6 Leistungsanforderungen an Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräte

Die Ableitung von Leistungsanforderungen für Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräte erfolgt aus der Analyse von Wärmenachfrageprofilen und der Expertenbefragung.

Die Leistungsanforderungen an Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräte sind je nach Heizwärmebedarf des Gebäudes und Nutzerverhalten der Bewohner unterschiedlich. Während der Heizwärmebedarf hauptsächlich von dem energetischen Gebäudestandard bzw. Energiekennzahl beeinflusst wird, ist der Warmwasser-Wärmebedarf von den Nutzergewohnheiten abhängig (siehe Abbildung 12).

¹⁶ DIN EN832:2003-06 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude

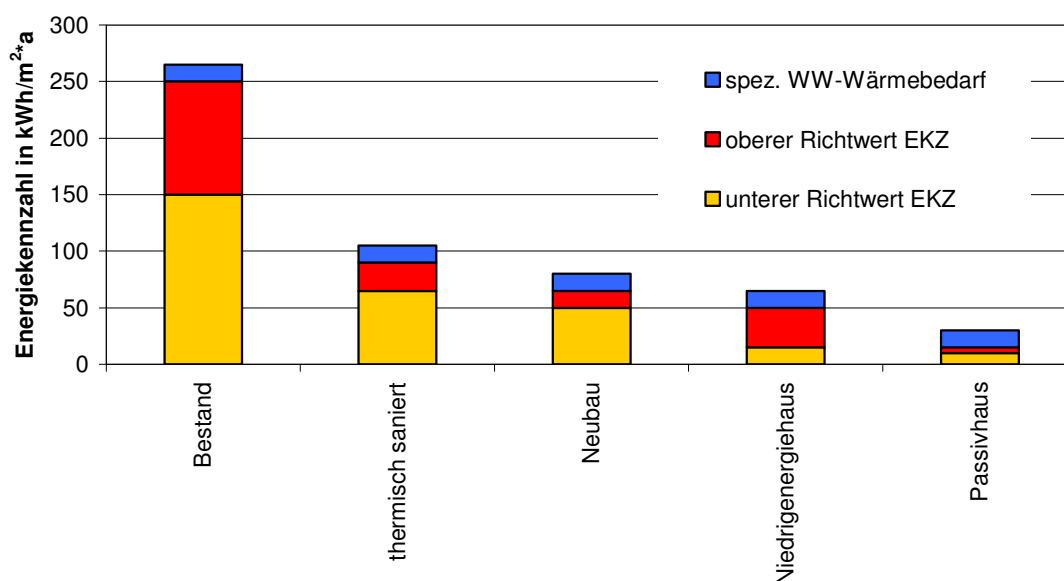


Abbildung 12: Energiekennzahl und spez. Warmwasserwärmebedarf unterschiedlicher Gebäudetypen
Quelle: eigene Berechnungen

In Abhängigkeit des energetischen Gebäudestandards und bei Annahme eines Einfamilienhauses mit einer Wohnfläche von 130m², unterscheiden sich die Leistungsanforderungen an Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräte wie folgt:

Bestand: Bei Bestandsgebäuden besteht während der Heizsaison eine Leistungsanforderung für die Wärmebereitstellung im Bereich von 12 bis 20 kW_{th}, die hauptsächlich durch die Biomassefeuerung bereitgestellt werden kann. Die Auslegung der Solaranlage erfolgt für die Warmwasserwärmebereitstellung.

Thermisch Saniert: Durch die Sanierung von Bestandsgebäude kann der Heizwärmebedarf um ca. 50% - 70% reduziert werden. Der energetische Standard von Neubauten kann z.B. wegen fehlender Südausrichtung zur optimalen Nutzung solarer Gewinne oder wegen der bestehenden Gebäudeform nicht erreicht werden. Die Leistungsanforderung für die Wärmebereitstellung liegt im Bereich von größer 8 kW_{th}.

Neubau und Niedrigenergiehaus: Im zukünftigen Neubau kommt, aufgrund besser werdender Wärmedämmstandards, dem Warmwasserverbrauch im Verhältnis zum Raumwärmebedarf immer mehr Bedeutung zu. Die Anlagengröße der Biomassefeuerung, der Solaranlage und des Pufferspeichers kann optimal auf den Raumwärmebedarf des Neubaus und dem typischen Warmwasserwärmefachfrageprofil ausgelegt werden. Die Leistungsanforderung für die Wärmebereitstellung liegt im Bereich von größer 5 kW_{th}.

Besser als Neubau (Passivhaus): Durch interne und solare Gewinne und die Wärmerückgewinnung von Kompaktlüftungsaggregat kann ein Großteil der Grundlast (< 0,5 kW) abgedeckt werden. Die zusätzliche Leistungsanforderung eines Solarthermie-Biomasse Kompaktgerätes beschränkt sich hauptsächlich auf die Bereitstellung von Warmwasser und auf die Abdeckung der Wärmelast während

der kältesten Tage im Jahr. Die wirtschaftliche Auslegung eines Solarthermie-Biomasse Kompaktgerätes ist nur in Kombination mit einem Nahwärmenetz für mehrere Passivhaus-Wohneinheiten (Wohnhausanlage, Reihenhäuser,...) sinnvoll. Der Fokus ist hierbei auf den unterschiedlichen Wärmeleistungsbedarf zwischen Grund- und Spitzenlast zu richten.

Aus der Expertenbefragung von insgesamt 16 Personen, konnten noch weitere technische und allgemeine Anforderungen für zukünftige Wärmebereitstellungssysteme für Raumwärme und Warmwasser erfasst werden.

Allgemeine Anforderungen:

- Niedrige Investitionskosten und Betriebskosten
- Platzsparend und Kompaktheit
- Umweltfreundlich, niedrige Emissionen
- Einfache Bedienung und Erfüllung von individuellen Komfortansprüchen
- Gutes Service des Herstellers
- Design: Geräte im Wohnraum müssen gut aussehen

Technische Anforderungen:

- Sparsam, hohe Effizienz
- Bessere Hygiene (Ablagerung, Schutz vor Legionellen)
- Geringer bis kein Wartungsaufwand
- Vollautomatisch
- Niedrige Leistungsbereiche, da Gebäude besser isoliert werden
- Zuverlässigkeit
- Intelligente Regelung
- Hohe Flexibilität -> modulierend, Anpassung an aktuellen Verbrauch
- Schnelle und Einfache Montage
- Niedriger Hilfsenergieeinsatz
- Gute Qualität und Verarbeitung
- Niedriger Geräuschpegel

3.2 Monitoring von vier Anlagen

3.2.1 Vermessene Objekte

Aus dem Kundenkreis der Firma SOLARFOCUS wurden drei geeignete Anlagenstandorte identifiziert, die folgende gemeinsame Merkmale aufweisen:

- Gebäudetyp: Einfamilienhaus
- Benötigte Kesselleistung: max. 14,9 kW
- Typ und Größe der installierten Kollektorfläche: 3 oder 4 x Sunny Line

- Dachausrichtung des Solardaches: Süd
- Trinkwasserbereitung über Frischwassermodul mit 26 l/min Schüttleistung

Außerdem wurde bei der Auswahl der Monitoringobjekte auf eine jeweils verschiedene Bauweise der Häuser geachtet:

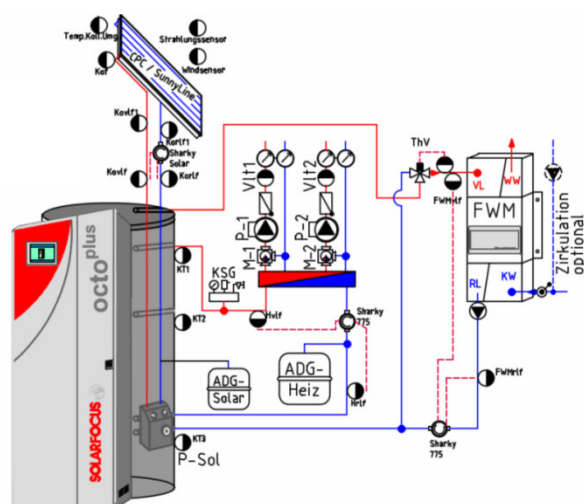


Abbildung 13: Monitoring – Hydraulisches und elektrisches Schema für die drei Objekte am Feld (Quelle: Solarfocus)

- Objekt 1: Neubau, massive Bauweise
- Objekt 2: Renovierter Bestand, massive Bauweise, mäßig wärmegeklämmt
- Objekt 3: Neubau, Leichtbauweise
- Objekt 4: Renovierter Bestand, massive Bauweise, gut wärmegeklämmt

In allen drei Objekten wurden die Solarthermie-Biomasse Kompaktgeräte neu installiert und erstmalig in Betrieb genommen. Im Wesentlichen wurde an allen Standorten das Hydraulik- und Messschema wie in Abbildung 13 verwirklicht. In den weiteren Abbildungen (Abbildung 14 bis Abbildung 17) sieht man die Häuser und die installierte Messtechnik.



Abbildung 14: Die Sonnenkollektoren am Haus 1 vor der Installation der Messtechnik (Quelle: Solarfocus)



Abbildung 15: Die Sonnenkollektoren am Haus 2 (Quelle: Solarfocus)

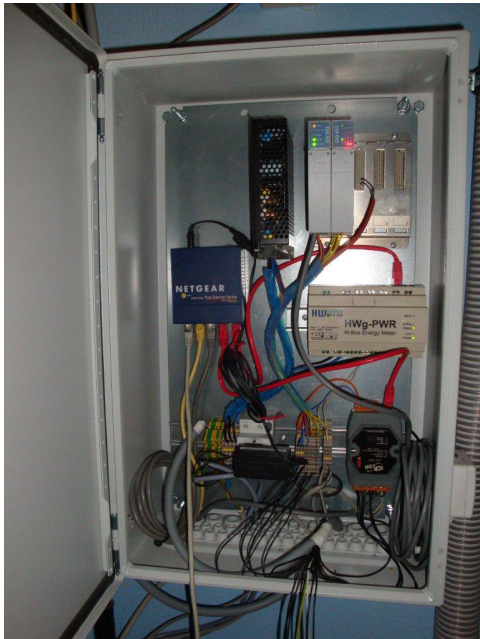


Abbildung 16: Schaltschrank für die Messtechnik im Haus 2 (Quelle: Solarfocus)



Abbildung 17: Haus 3 am Tag der Installation der Messtechnik (Quelle: Solarfocus)

3.2.2 Ergebnisse

Die Auswertung der vermessenen Anlagen ist in Tabelle 12 jeweils für das Betriebsjahr 2012 und das Betriebsjahr 2013 dargestellt. In Tabelle 13 sind die Energiesummen für die Betriebsjahre 2012 und 2013 zu sehen. Dabei wurden die nachstehenden Kennzahlen verwendet:

Thermischer Saison Performance Faktor:

$$SPF_{th} = \frac{\int (Q_{Heizung} + Q_{BWW}) dt}{\int Q_{Pellets} dt} \quad [1]$$

Systemeffizienz:

$$SE = \frac{\int (Q_{Heizung} + Q_{BWW}) dt}{\int (Q_{Pellets} + Q_{Solar}) dt} \quad [2]$$

Solarer Deckungsgrad:

$$SD = \frac{\int Q_{Solar} dt}{\int (Q_{Heizung} + Q_{BWW}) dt} \quad [3]$$

Der Energieeintrag durch die Holzpellets wird wie folgt berechnet:

$$\dot{Q}_{Pellets} = \dot{m}_{Pellets} NHV_{wb}$$

mit NHV_{wb} = Heizwert (Net Heating Value on a wet basis)

Spezifischer Solarkollektorertrag in kWh/m²:

$$SK = \frac{\int Q_{Solar} dt}{Aperturfläche} \quad [4]$$

Tabelle 12: Thermischer Saison Performance Faktor (SPF_{th}) und Solarer Deckungsgrad SD für den angegebenen Betrachtungszeitraum

Betrachtungszeitraum	Anlage	SPF _{th} (-)	SE (-)	SD (-)	SK (kWh/m ² a)
01.01.2012 – 31.12.2012	1	0.8073	0.6900	0.2106	370.53
01.01.2012 – 31.12.2012	2	0.8573	0.7306	0.2022	378.12
01.04.2012 – 31.12.2012	3	1.0579 ¹⁷	0.8754	0.1970	363.39 ¹⁸
01.01.2013 – 31.12.2013	1	0.8032	0.7157	0.1523	332.03
01.01.2013 – 31.12.2013	2	0.8910	0.7707	0.1752	322.07
01.04.2013 – 31.12.2013	3	0.9837	0.8522	0.1569	234.81

¹⁷ Hierbei handelt es sich um den angegebenen Zeitraum, also 9 Monate, daher ist die Bilanz nicht korrekt

¹⁸ Hierbei handelt es sich um (kWh/m²) für den angegebenen Zeitraum, also 9 Monate

Tabelle 13: Energiesummen in kWh der vermessenen Anlagen für den Betrachtungszeitraum

<i>Betrachtungszeitraum</i>	<i>Anlage</i>	<i>Pellets</i> (kWh)	<i>Globalstrahlung</i> (kWh)	<i>Solarenergie</i> (kWh)	<i>Warmwasser</i> (kWh)	<i>Heizung</i> (kWh)
01.01.2012 – 31.12.2012	1	15866	9438	2697	990	12710
01.01.2012 – 31.12.2012	2	16359	5727 ¹⁹	2836	2702	11322
01.04.2012 – 31.12.2012	3	13076	9658	2725	1881	11952
01.01.2013 – 31.12.2013	1	19760	8770	2417	104 ²⁰	15768
01.01.2013 – 31.12.2013	2	15476	9653	2416	2463	11325
01.04.2013 – 31.12.2013	3	11409	10201	1761	2970	8253

Um einen besseren Eindruck von der Systemcharakteristik der vier Anlagen zu erhalten wird in Abbildung 18 die Häufigkeit der Speichertemperaturen im unteren Bereich (bei 18% der Speicherhöhe), im mittleren Bereich (bei 58% der Speicherhöhe) und im oberen Bereich (bei 66% der Speicherhöhe) dargestellt.

Zwischen den Anlagen sind folgende Unterschiede in der Verteilung der Temperaturen erkennbar:

- Die untere Speicherschicht der Anlagen 1 und 3 ist im Mittel um rund 10 K niedriger, was theoretisch zu einem höheren Potenzial der solaren Einspeicherung führen müsste.
- Die Temperaturen der Speicherschichten in der Mitte und im oberen Bereich des Speichers sind bei der Anlage 2 gleichverteilter als bei der Anlage 1 und 3, mit Ausnahme der maximalen Häufigkeit bei der Solltemperatur des Pufferspeichers.
- Die Temperatur der Speicherschichten in der Mitte des Speichers sind bei Anlage 1 und 3 niedriger als bei Anlage 2.
- Die Temperatur im oberen Bereich des Speichers der Anlage 3 ist ca. 10 K niedriger als bei Anlage 1 und 2.

Wie man in der Abbildung 19 erkennen kann, liefern die Solaranlagen der Anlage 1, 3 und 4 Energie relativ gleichverteilt bei Temperaturen zwischen 30 und 90°C. Bei der Anlage 2 hingegen gibt es eine signifikante Häufigkeit bei höheren Temperaturen zwischen 50 und 85°C was mit der, im Vergleich zu Anlagen 1 und 3, höheren mittleren unteren Speichertemperatur von etwa 40°C korrespondiert. Die Häufung sehr niedriger Temperaturen im Solarkreis bei Anlage 2 wird auf einen Spülvorgang zurückgeführt, welcher keinen Energiegewinn für das System bedeutet und somit nicht weiter interpretiert wird.

In Abbildung 20 ist die Häufigkeit der Rauchgastemperaturen größer 60°C am Austritt aus dem Rauchgaswärmeübertrager der Anlagen 1 bis 4 dargestellt. Darin ist eine ausgeprägte Häufung der Rauchgastemperatur von ca. 150°C bei Anlage 2 und 4 erkennbar, wohingegen bei Anlage 1 eine Häufung bei ca. 120°C und bei Anlage 3 nahe 100°C auftritt. Es lässt sich dadurch ein etwas geringerer Kesselwirkungsgrad bei Anlage 2 vermuten.

¹⁹ Dieser Wert ist aufgrund von fehlenden Messdaten im Zeitraum von November 2011 bis April 2012 niedrig.

²⁰ Hier liegen evtl. Messungenauigkeiten vor, da der Wert sehr niedrig erscheint. Innerhalb des Projektzeitraumes konnten die Ungenauigkeiten allerdings nicht gefunden werden.

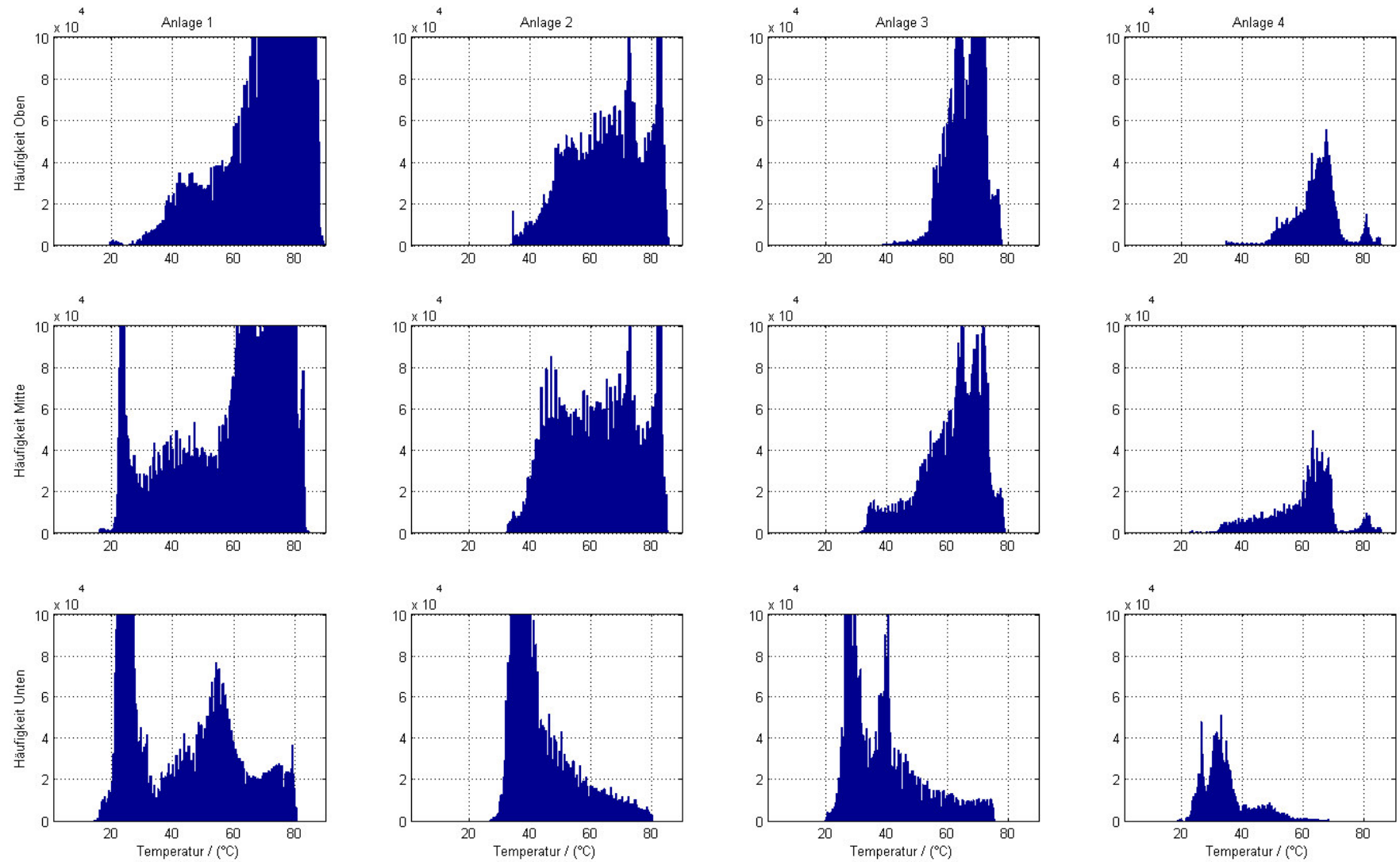


Abbildung 18: Häufigkeit der Speichertemperaturen der Anlagen über den gesamten Messzeitraum

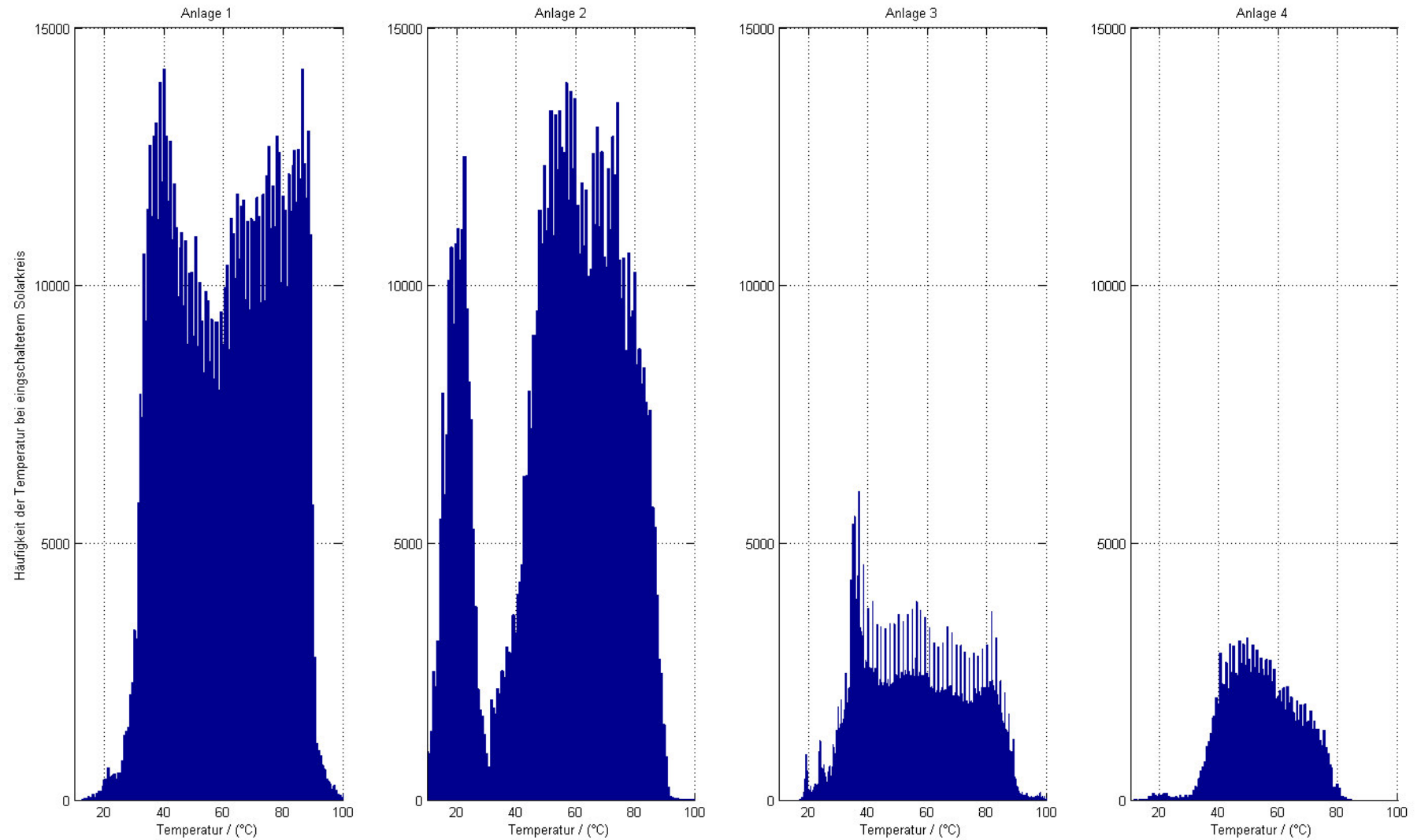


Abbildung 19: Häufigkeit der Liefertemperatur der Solaranlage bei eingeschalteter Solarkreispumpe der Anlagen über den gesamten Messzeitraum

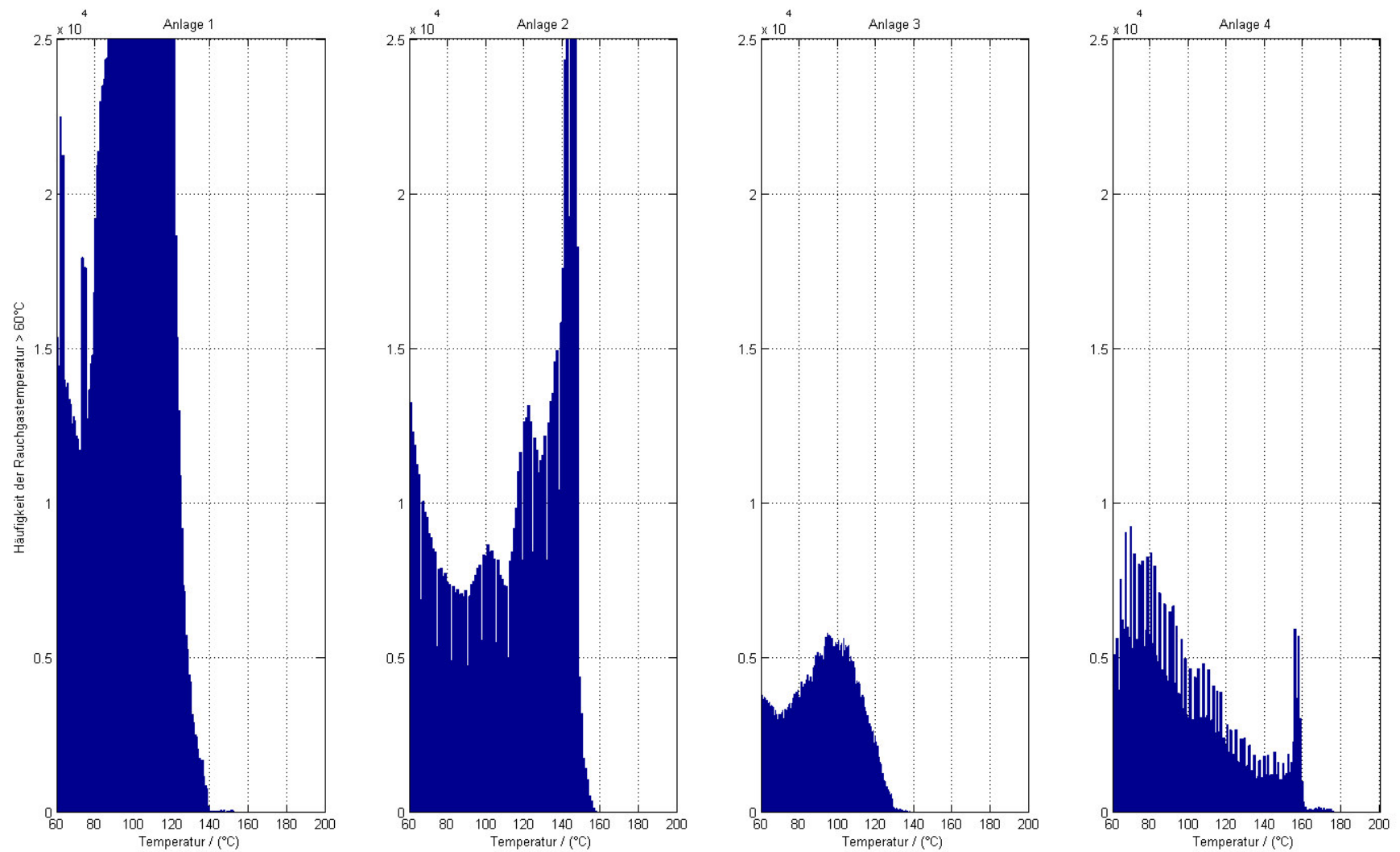


Abbildung 20: Häufigkeit der Rauchgastemperaturen größer 60°C am Austritt aus dem Rauchgaswärmeübertrager im Speicher der Anlagen über den gesamten Messzeitraum

3.3 Labormessung für die Modellparametrierung

3.3.1 Solarkollektor

Die Labormessungen wurden auf einem Freifeld am Dach des AIT – Austrian Institute of Technology am Standort TechBase im Wiener 21. Gemeindebezirk durchgeführt. Hierzu wurde ein Prüfstand eingesetzt, welcher für akkreditierte Prüfungen vorgesehen ist und somit einem umfangreichen Qualitätsmanagement unterliegt. Dadurch wird gewährleistet, dass die Messergebnisse mit sehr hoher Genauigkeit und Verlässlichkeit ermittelt werden können. In der Regel werden die akkreditierten Prüfungen mit dem Verfahren mit stationären Bedingungen nach EN 12975-2:2006 Kapitel 6.1 durchgeführt. Das für die Simulation im Projekt KOMBINE herangezogene Kollektormodell mit dem TRNSYS-Type 832 erfordert jedoch Messungen und eine Parametrisierung nach dem Verfahren mit quasi-dynamischen Bedingungen (QD-Verfahren) nach EN 12975-2:2006, Kapitel 6.3. Dieses Verfahren wurde zum ersten Mal bei AIT umgesetzt. Die Modellgleichung des QD-Verfahrens wird folgendermaßen dargestellt, wobei die Gleichung von $K_{\Theta b}(\Theta)$ nur für Flachkollektoren gültig ist:

$$\begin{aligned} \frac{\dot{Q}}{A} &= F' \cdot (\tau\alpha)_{en} \cdot K_{\Theta b}(\Theta) \cdot G_b + F' \cdot (\tau\alpha)_{en} \cdot K_{\Theta d} \cdot G_d - c_6 \cdot u \cdot G^* - c_1 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a) \\ &- c_2 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - c_3 \cdot u \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a) + c_4 \cdot (E_L - \sigma \cdot T_a^4) - c_5 \cdot \frac{d\vartheta_m}{dt} \\ K_{\Theta b}(\Theta) &= 1 - b_0 \left(\left(\frac{1}{\cos(\Theta)} \right) - 1 \right) \end{aligned}$$

Bei der Durchführung der Messung wurde eine Reihe von Vorteilen des QD-Verfahrens festgestellt. Diese sind zusammengefasst folgende:

- Die Unterscheidung zwischen Diffus- und Direktstrahlung wird im Gegensatz zur Methode unter stationären Bedingungen ermöglicht.
- Die Abhängigkeit der thermischen Leistung des Kollektors von unterschiedlichen Windstärken wird sowohl bei der optischen Effizienz als auch bei Wärmeverlusten ermittelt.
- Die direkte Ermittlung der effektiven thermischen Kapazität ist ein integraler Bestandteil des QD-Verfahrens. Dies vereinfacht und verbessert das Kollektormodell und ist für alle bekannte Kollektortypen geeignet.
- Die Abhängigkeit der thermischen Leistung des Kollektors von langwelliger Strahlung ist Bestandteil der Modellgleichung und kann gegebenenfalls ermittelt werden.
- Die Modellgleichung ist auf den jeweiligen Kollektortypen anpassbar. Das heißt, dass Terme der Modellgleichung vernachlässigt werden können. Dies ist sinnvoll, sofern sich bei der Parametrierung herausstellt, dass gegebenenfalls einzelne oder mehrere Parameter nicht mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden können. Das bedeutet, dass die thermische Leistung des gemessenen Kollektors nicht von den Einflüssen welche durch die jeweiligen Terme der Modellgleichung dargestellt werden, abhängig ist.

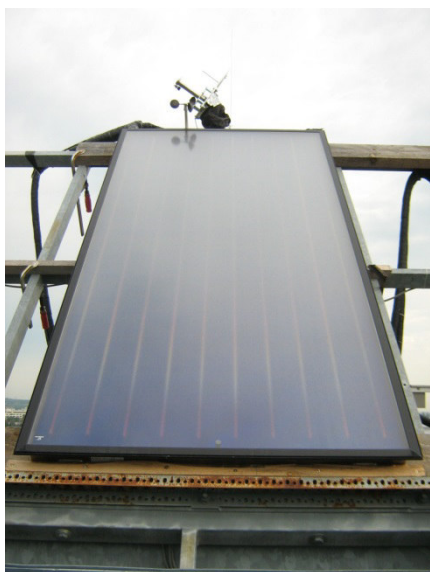


Abbildung 21: Aufbau Solarkollektor auf dem Prüfstand (Quelle: AIT)

Alles in allem ergibt sich eine umfangreichere Charakterisierung der thermischen Leistung des Kollektors bei geringerem zeitlichen und personellen Aufwand. Dies ermöglicht eine bessere Errechnung von Erträgen und die Charakterisierung von allen bekannten Kollektortypen.

Das QD-Verfahren wird unter natürlichen Umgebungsbedingungen und somit mit natürlicher Sonneneinstrahlung durchgeführt. Der Messaufbau beinhaltet neben Temperatur-, Massenstrom- und Strahlungsmessungen auch Messungen der Geschwindigkeit der Umgebungsluft. Der Messaufbau wurde gemäß EN 12975-2 durchgeführt und ist in Abbildung 21 dargestellt.

Die Parametrisierung der Modellgleichung erfolgte mit MS Excel. Dazu wurde die Methode der multilinenaren Regression eingesetzt. Die ermittelten Parameter sind in Tabelle 14 aufgelistet:

Tabelle 14: Parameter für den Solarkollektor nach dem QD-Verfahren (Quelle: AIT)

Parameter	$F' \cdot (\tau\alpha)_{en}$	b_0	$K_{\Theta d}$	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
Wert	0,7988	0,2547	0,9170	2,723	0,0147	0,1319	-0,0755	7141,2	0,00576
Einheit	-	-	-	W/m ² K	W/m ² K ²	Ws/m ³ K	-	Ws/m ² K	s/m

3.3.2 Solarwärmeübertrager

Um die Parameteridentifizierung für das Simulationsmodell abzuschließen wurde der Solarwärmeübertrager der vierten Anlage detailliert vermessen. Dazu wurde ein elektrischer Durchlauferhitzer installiert, um die Vorlauftemperatur und den Massenstrom auf definierte Werte einstellen zu können. Als Wärmeträgermedium wurde, wie im realen Betrieb üblich, ein Glykol-Wassergemisch mit einer Glykol Konzentration von 40 Vol-% verwendet. Folgende, für den realen Betrieb praktikablen Werte, wurden für die Messkampagne gewählt:

Die Vorlauftemperatur wurde auf die Werte 40°C, 50°C und 70°C eingestellt und der Volumenstrom zwischen 180 l/h, 340 l/h, 460 l/h und 600 l/h variiert (siehe dazu Tabelle 15).

Tabelle 15: Messwerte für die Messkampagne am Solarwärmeübertrager der vierten Anlage

Vorlauftemperatur in °C	Volumenstrom in l/h			
40				600
50	180	340		
70	180	340	460	600

Für die stationären Messergebnisse bei unterschiedlichem Massenstrom und Vorlauftemperatur wurde durch Korrelation nach [VDI] gemäß

$$UA = \ln \left(\frac{T_{RL,solar} - T_{Sp,mean}}{T_{VL,solar} - T_{Sp,mean}} \right) \cdot \frac{\dot{m}_{solar}}{c p_{solar}} \quad [1]$$

die Wärmeübertragungsfähigkeit UA und in weitere Folge, nach den Standardgleichungen der Strömungsmechanik und Wärmeübertragung [VDI], die Wärmeübergangszahl innen und außen am Wärmeübertrager, sowie die Reynoldszahl und die Nußeltzahl ermittelt.

Dabei kann man entsprechend Abbildung 22 feststellen, dass sich die Wärmeübertragungsfähigkeit, abhängig vom Massenstrom, zwischen 200 und 400 W/K in der zu erwartenden Größenordnung einstellt. Aufgrund des, bezogen auf Wärmeübertrager im Allgemeinen, relativ großen Reservoirs auf der Sekundärseite des Wärmeübertragers (speicherseitig) stellt sich, auch bei Erhöhung des Massenstromes im Wärmeübertrager, eine Sättigung der Wärmeübergangszahl ein. Dies wird auch bei Wärmeübertrager mit Phasenwechsel beobachtet. Die lässt sich so erklären, dass sich im Speicher für den stationären Betrieb, ohne Zapfung auf der Lastseite, eine nahezu homogene und konstante Temperatur einstellt. Aufgrund der endlichen Fläche des Wärmeübertragers stellt sich in diesem Fall auch eine maximale übertragbare Leistung ein. Die Temperatur die sich im Speicher einstellt, hängt von den thermischen Verlusten des Speichers an seine Umgebung ab und von der Umgebungstemperatur selbst ab. Je größer die Verluste sind und je niedriger die Umgebungstemperatur des Speichers ist, desto niedriger ist die homogene Temperatur die sich im Speicher einstellt und desto höher ist die Wärmeübertragungsfähigkeit.

Das Ergebnis der Reynoldszahl zeigt, dass der übliche Betrieb im Übergangsbereich zwischen laminarer und turbulenter Strömung stattfindet ($2320 < Re < 10000$). Im Allgemeinen ist die Wärmeübertragung im voll turbulenten Bereich ($Re > 10000$) höher, allerdings steigt dann der Druckverlust und damit die erforderliche Pumpenarbeit und somit der elektrische Energiebedarf der Umwälzpumpe. Eine weitere Untersuchung im Zug dieses Projekts ist nicht angedacht und würde auch keine nennenswerten Verbesserungen ergeben.

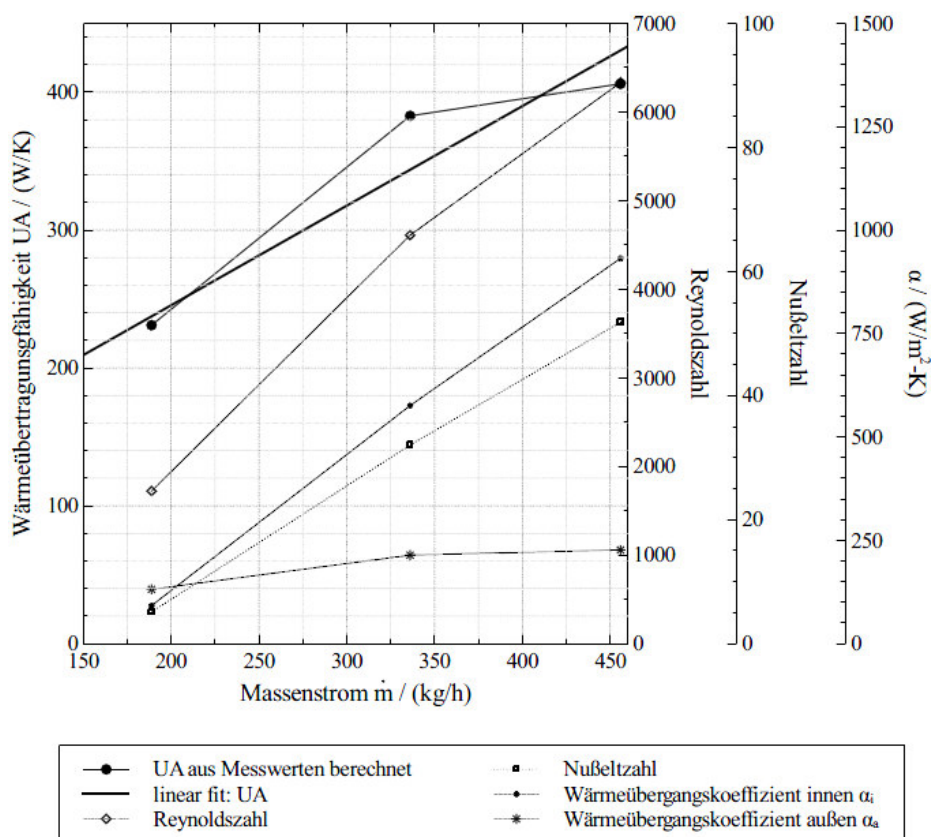


Abbildung 22: Ausgewertete Wärmeübertragungsfähigkeit aus den Messreihen für den Solarwärmeübertrager im Zuge der erweiterten Labormessung an der vierten Anlage

3.3.3 Pelletskessel

3.3.3.1 Beschreibung des Versuchsobjekts

Der octopus von der Firma Solarfocus ist ein Pelletsbrenner integriert in einem 500 Liter Pufferspeicher mit Solarregister. Die Pellets-Brennereinheit ist in Sturzbrandtechnologie ausgeführt und direkt am Pufferspeicher angeflanscht. Die beiden Wärmetauscherrohre beinhalten Schnecken für die Abreinigung und um den Verbrennungsgasweg durch den Pufferspeicher zu verlängern. Der Leistungsbereich des untersuchten octopus kann zwischen 2,9 bis 14,9 kW moduliert werden. Die Kesselleistung wird durch das drehzahlgeregelte Saugzuggebläse vorgegeben. Aufgrund der Lambdaregelung (konstanter Restsauerstoffgehalt) wird die Taktfrequenz der Pelletförderschnecke eingestellt. Mittels Schichtladelanze gelangt das Heizungswasser zurück in den Pufferspeicher. Das Gesamtnettogewicht der Anlage beträgt 285 kg, wobei die Brennereinheit 55 kg schwer ist. Der Durchmesser des Pufferspeichers ohne Isolierung ist 70 cm.

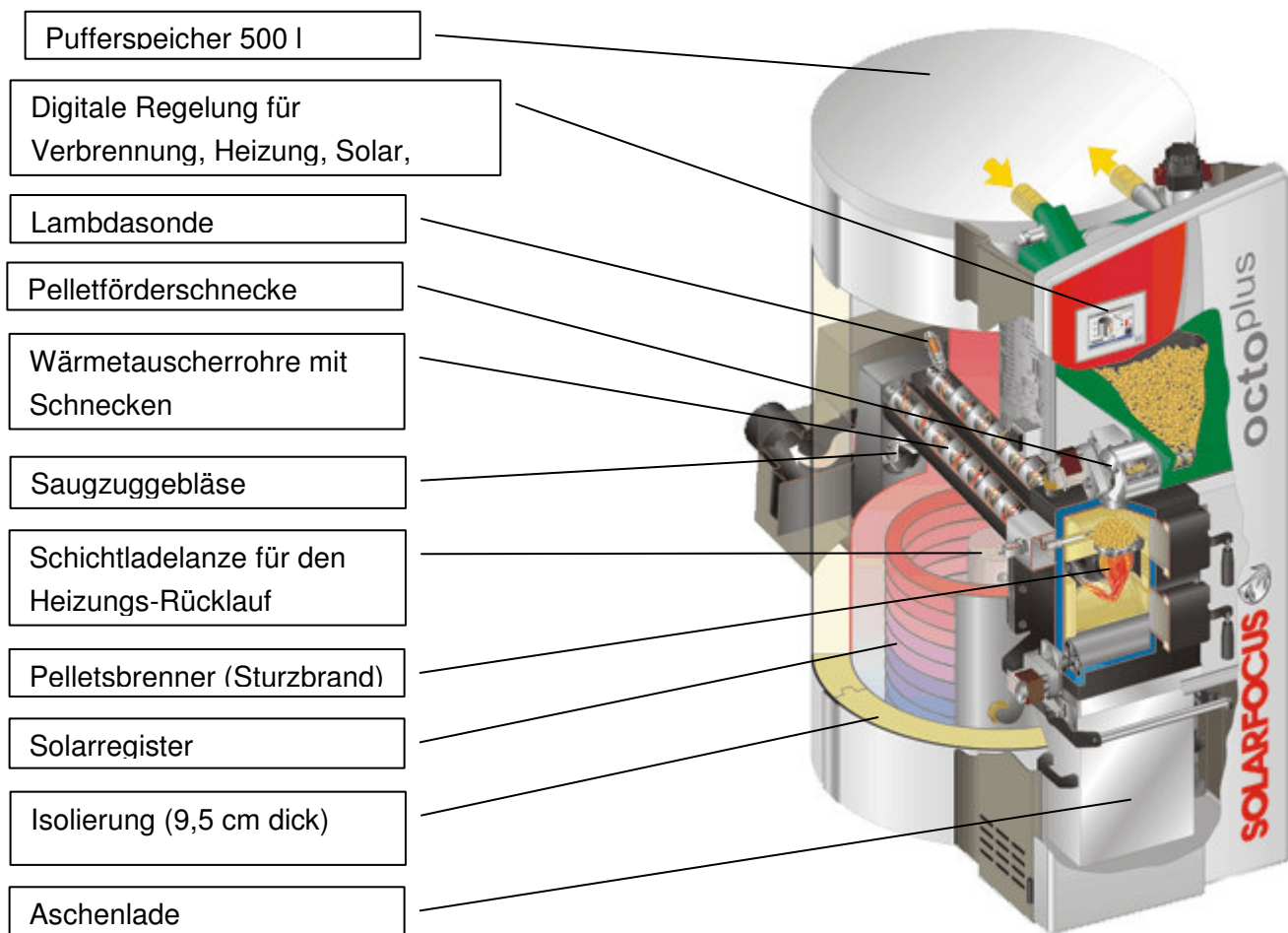


Abbildung 23: Schnittbild der Versuchsanlage octo^{plus} von solarfocus mit Bezeichnung von Einzelteilen

Quelle: http://www.solarfocus.at/cms/front_content.php?idart=131

Für die Warmwassererwärmung wurde das Frischwassermodule FWM(Z)26 mit einer maximalen Wärmeübertragerleistung von 63 kW_{th} und einer Warmwassermenge von 26 l/min eingesetzt.

3.3.3.2 Messaufbau

Um einen praxisnahen Versuchsbetrieb zu ermöglichen, erfolgten der Mess- und Versuchsaufbau sowie die Labormessungen innerhalb einer Messkabine. Die Messkabine mit den Abmaßen von ca. 2,5 m x 3,5 m x 2,5 m entspricht einem typischen Heizraums eines Einfamilienhauses. Zur Bestimmung der Brennstoffwärmeleistung wurde einerseits die Fördermenge pro Schneckenumdrehung und andererseits die Gesamtmasse der Anlage, des Ausdehnungsgefäß (ADG) und der Pellets im Tagesbehälter kontinuierlich mittels Palettenwaage erfasst. Um eine Gewichtsentlastung bei der Wiegung sicherzustellen wurden die Anschlussverbindungen für den Kamin und die hydraulischen Anschlüsse flexibel ausgeführt (siehe Abbildung 24).

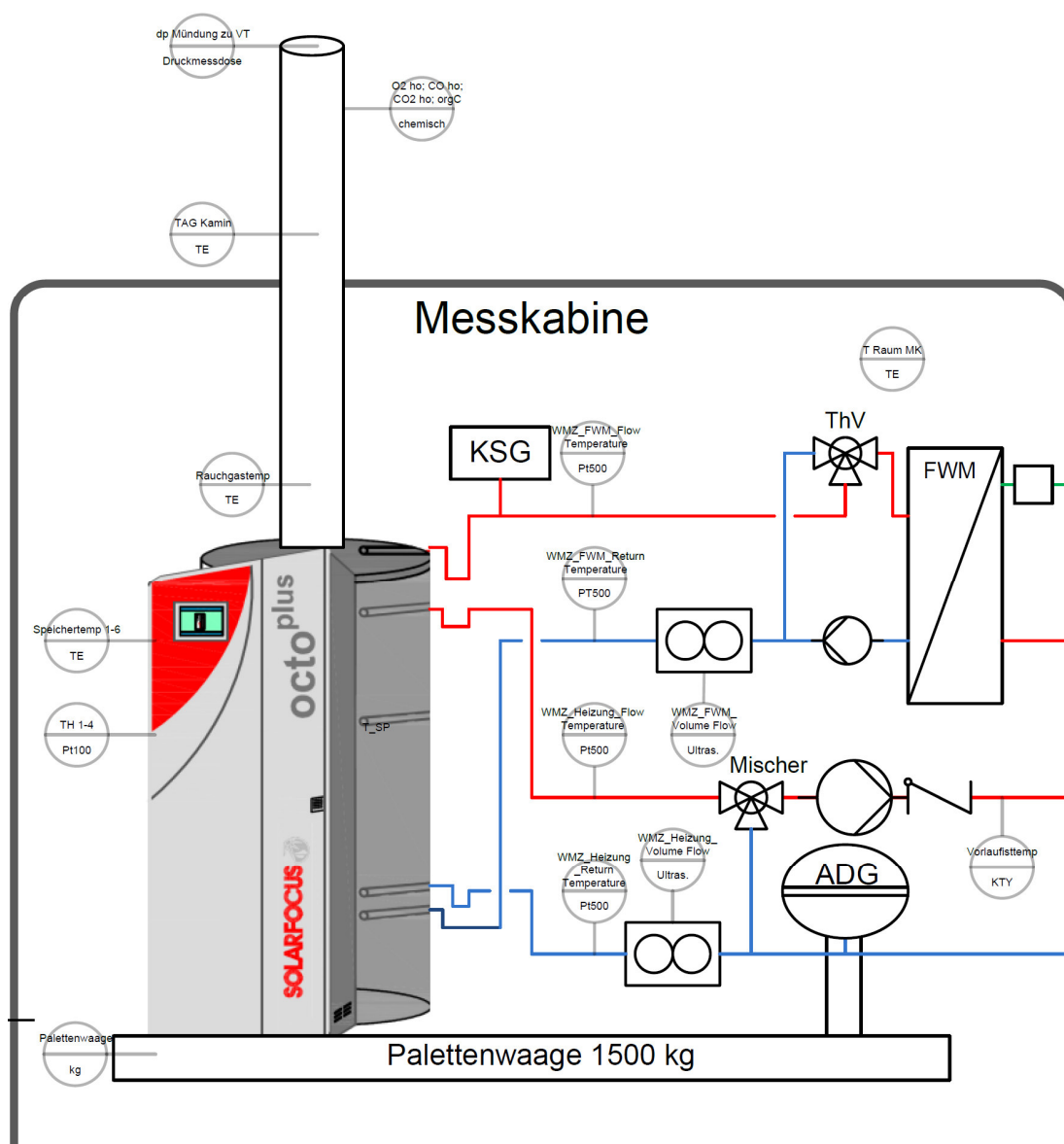


Abbildung 24: Messaufbau für die Labormessungen innerhalb der Messkabine

Quelle: Bionenergy2020+

Die chemische Analyse (O_2 ; CO_2 ; CO) der Verbrennungsgase erfolgte außerhalb der Messkabine. Der Differenzdruck an der Mündung des Kamins (dp Mündung Kamin) wurde mittels Druckmessdose erfasst und als Regelwert verwendet. Die Verbrennungsgastemperaturmessstellen befanden sich unmittelbar am Austritt der Versuchsanlage und im Kamin außerhalb der Messkabine (siehe Tabelle 16).

Bezeichnung	Beschreibung	Sensor	Genauigkeit
Palettenwaage	Bruttomasse der Gesamtanlage	DMS	kleinste Ablesbarkeit: 50 g; max. Belastbarkeit: 1500 kg
dp Mündung Kamin	Differenzdruck Mündung Kamin zu Umgebung	induktiv	-50 bis 50 Pa; Genauigkeit: +- 2%
TAG Kamin	Verbrennungsgas-temperatur Kamin	Thermo-element	-40°C - 333°C: $\pm 2,5^\circ\text{C}$; 333°C - 1200°C: $\pm 0,0075 \cdot t(^\circ\text{C})$
O ₂	Restsauerstoff	magneto-pneumatisch	0 – 25 v%; ± 1 % vom max. Messwert
CO ₂	Kohlendioxid	NDIR	0 – 25 v%; $\pm 0,5$ % vom max. Messwert
CO	Kohlenmonoxid	NDIR	0 – 3100 ppm; $\pm 0,5$ % vom max. Messwert

Tabelle 16: Sensortabelle zur Erfassung der Abgaszusammensetzung, Temperatur im Kamin, Differenzdruck an der Kaminmündung und der Bruttomasse der Gesamtanlage

Quelle: Bioenergy2020+

Die Warmwasserbereitstellung erfolgte über ein Frischwassermodul (FWM). Der hydraulische Anschluss für den Vorlauf des FWM ist an oberster und für den Rücklauf des FWM an unterster Stelle des Pufferspeichers. Die Kesselsicherheitsgruppe (KSG) in der Vorlaufleitung des Frischwassermoduls ist mit einem Überdruckventil und mit einem Manometer ausgerüstet. Das Thermische Vorschaltventil (ThV) mischt Kaltwasser zum Vorlauf des FWM, um die Temperatur im Wärmetauscher des Frischwassermoduls zu begrenzen um dadurch einen Kalkausfall des Frischwassers zu verhindern. Die drehzahlregelte Pumpe wird aktiviert sobald der Strömungsschalter in der Kaltwasserleitung eine Warmwasserzapfung registriert. Für die Raumwärmebereitstellung befinden sich der Vorlaufanschluss unterhalb des FWM-Vorlaufanschlusses und der Rücklaufanschluss oberhalb des FWM-Rücklaufanschlusses. Mittels Heizkreisregelung und dem elektronisch verstellbaren Mischer konnte eine konstante Vorlauftemperatur (Vorlaufisttemp) für das Wärmeverteilsystem eingestellt werden. Der Volumenstrom im Heizkreis ist abhängig von der Pumpendrehzahl und dem hydraulischen Druckverlust in den Leitungen. Während der Versuche im Technikum von Bioenergy2020+ wurde kein Solarkreis am Solarheizregister des Pufferspeichers angeschlossen.

Um eine vollständige Bilanzierung der Energieströme zu ermöglichen wurden die Vor- und Rücklauftemperaturen und die Massenströme mittels Wärmemengenzähler (WMZ) der Warmwasser- und der Raumwärmebereitstellung erfasst (siehe Tabelle 17).

Bezeichnung	Beschreibung	Sensor	Genauigkeit
WMZ_FWM_Flow Temp.	Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Frischwassermodule	Pt500; 2 Leiter	ca ± 0,2 °C
WMZ_FWM_Return Temp.		Pt500; 2 Leiter	ca ± 0,2 °C
WMZ_FWM_Volume Flow	Volumenstrom Frischwassermodule	Ultraschall	Klasse 2 und 3 nach EN1434
WMZ_Heizung_Flow T.	Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Heizkreis	Pt500; 2 Leiter	ca ± 0,2 °C
WMZ_Heizung_Return Temp.		Pt500; 2 Leiter	ca ± 0,2 °C
WMZ_Heizung_Volume Flow	Volumenstrom Heizkreis	Ultraschall	Klasse 2 und 3 nach EN1434
Vorlaufisttemp.	Vorlaufisttemperatur im Heizkreis	KTY 81-110	+/- 3 % vom Messwert

Tabelle 17: Sensortabelle zur Erfassung der Nutzwärmeströme während der Labormessungen

Quelle: Bioenergy2020+

Ein wesentlicher Untersuchungsschwerpunkt ist die Erfassung der Temperaturschichtung des Heizungswassers im Pufferspeicher. Für diesen Zweck wurden zu den 3 bestehenden Oberflächenthermoelementen (Speichertemperatur Unten, Mitte und Oben Serie) 6 weitere am Pufferspeicher innerhalb der Isolierung angebracht. Zusätzlich wurde die Heizungswassertemperatur mittels 4 Tauchhülsen, verteilt über die Höhe des Pufferspeichers, gemessen (siehe Abbildung 25).

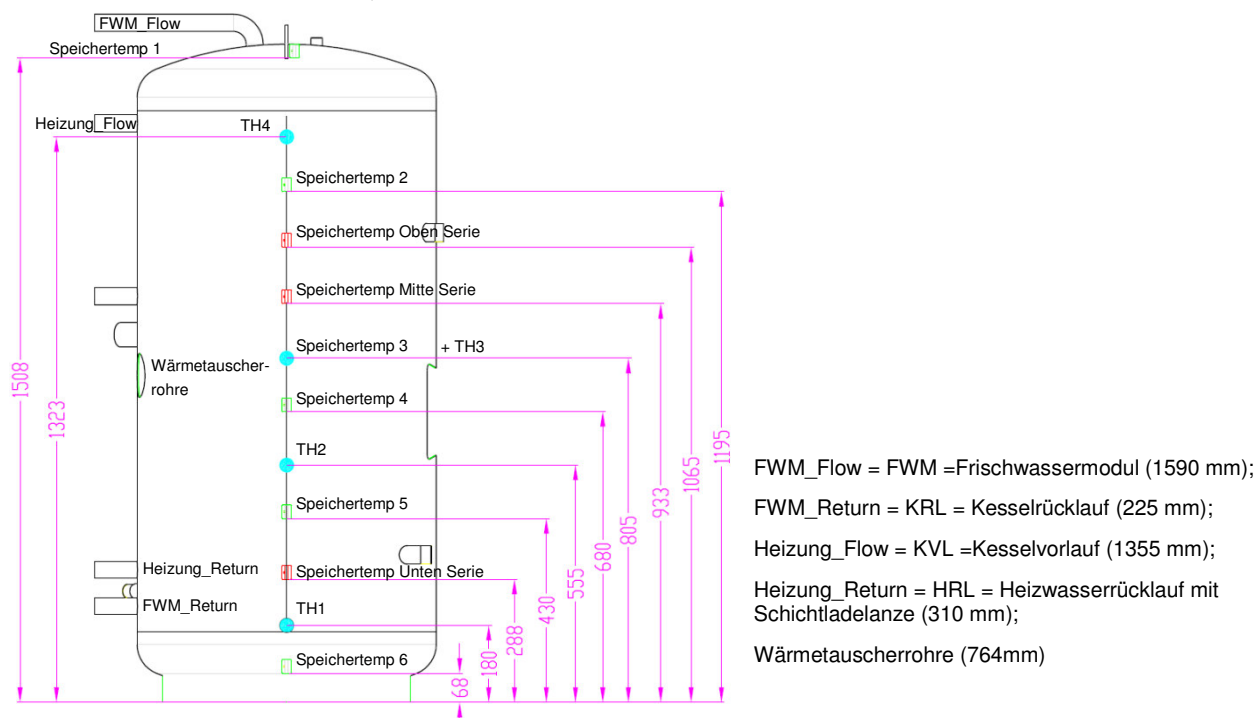


Abbildung 25: Geometrie des Pufferspeichers und Dokumentation der Temperaturfühler; Angaben in mm

Quelle: Solarfocus

Zur Erfassung der geregelten Rücklauftemperatur und Wärmeabnahmeleistung wurden Kalt-, Warmwasser-, Vor- und Rücklauftemperaturen und Massenströme gemessen (siehe Tabelle 19).

Bezeichnung	Beschreibung	Sensor	Genauigkeit
WMZ_WW_Flow Temp.	Warmwassertemperatur	Pt500 2 Leiter	ca $\pm 0,2$ °C
WMZ_WW_Return Temp.	Kaltwassertemperatur	Pt500 2 Leiter	ca $\pm 0,2$ °C
WMZ_WW_Volume Flow	Warmwasservolumenstrom	Ultraschall	Klasse 2 und 3 nach EN1434
T VL WA	Vorlauf- und Rücklauf- temperatur Wärmeabnahme	Pt500 2 Leiter	ca $\pm 0,2$ °C
T RL WA		Pt500 2 Leiter	ca $\pm 0,2$ °C
Massenstrom	Volumenstrom Wärmeabnahme	magnetisch - induktiv	0-30 l/s; $\pm 0,5\%$ vom Messwert; 0,01 – 10m/s $\pm 0,2\%$ DN 08.

Tabelle 19: Sensortabelle zur Erfassung der Temperaturen und Massenströme der Wärmeabnahme

Quelle: Bioenergy2020+

3.3.3.3 Messprogramm (AP4)

Das Messprogramm wurde so gewählt, dass aufgrund der generierten Messdaten, einerseits eine Parametrierung des Kesselmodells (Trnsys Type 869) und andererseits eine Parametrierung des Speichermodells ermöglicht werden konnte.

Die Messungen für die Parametrierung des Kesselmodells umfassten folgende Messgruppen: Voll- und Teillastverhalten bei stationärem Betrieb, intermittierender Betrieb und das Abfahren von Lastzyklen typischer Tagesprofile. Im Folgenden werden die einzelnen Messgruppen beschrieben:

Messgruppe 1a): **Voll- und Teillastverhalten bei stationärem Betrieb:** Die Betriebspunkte wurden in 4 Leistungsschritte (30%, 50%, 75%, 95%) bei je 5 verschiedenen Rücklauftemperaturen (20°C, 25°C; 30°C; 35°C und 56°C) aufgeteilt und bei konstanten Bedingungen vermessen. Insgesamt wurden 20 stationäre Bedingungen bei einer Dauer von mindestens einer Stunde vermessen. Die Einstellung der Kesselleistung erfolgte durch das Begrenzen der Saugzugdrehzahl auf einen Prozentwert. Wird zum Beispiel die minimale Saugzugdrehzahl auf 94 % und die maximale auf 95 % eingestellt, erreicht der Kessel eine Nennwärmeleistung von 14,9 kW. Bei der Versuchsdurchführung soll die Wärmeabgabeleistung an den Pufferspeicher und die Wärmebedarfsleistung, die durch die Wärmeabnahme eingestellt wird, gleich sein. Die gewünschte Rücklaufsolltemperatur konnte bei konstantem Heizkreismassenstrom über die Vorlaufsolltemperatur der Heizkreisregelung eingestellt werden. Die Rücklauftemperaturen wurden so gewählt, dass sie den realen Bedingungen von Wärmeverteilsystemen entsprechen. Während des stationären Betriebs und teilweise während der Einschaltphase wurden die Energieströme, Temperaturen im Pufferspeicher sowie der elektrische Verbrauch der Anlage aufgezeichnet. Die Einstellparameter sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

Saugzugdrehzahl		30 %	50 %	75 %	95 %
Kesselleistung	kW	4,7	7,8	11,8	14,9
Max. LDZ (Lüfterdrehzahl)	%	30	50	75	95
Min. LDZ (Lüfterdrehzahl)	%	29	49	74	94
Rücklaufsolltemperatur (T WA RL)	°C	20/ 25/ 30/ 35/ 56	20/ 25/ 30/ 35/ 56	20/ 25/ 30/ 35/ 56	20/ 25/ 30/ 35/ 56
Massenstrom Heizkreis	m ³ /h	1,056			
eingestellte Vorlaufsolltemperatur	°C	22/ 27/ 32/ 37/ 57	25/ 30/ 35/ 40/ 61	28/ 33/ 38/ 43/ 63	29/ 34/ 39/ 44 /66
max. KesselSoll Temperatur	°C	85 °C			
Startdifferenz	°C	20 °C			

Tabelle 20: Einstellparameter für die Versuche bei stationärem Betrieb

Quelle: Bioenergy2020+

In Abbildung 27 ist beispielhaft der Verlauf eines stationären Betriebs bei einer SOLL-Wärmebedarfsleistung von 14,9 kW und einer SOLL- Rücklauftemperatur von 56 °C dargestellt. Da während des Versuches die Wärmeabgabeleistung an den Pufferspeicher etwas höher als die Wärmebedarfsleistung war, stiegen die Puffertemperaturen und somit auch die Vorlauftemperatur an. Dadurch stieg auch die Wärmebedarfsleistung und erreichte den Sollwert von 14,9 kW. Die SOLL-Rücklauftemperatur über den Versuchszeitraum konnte sehr genau eingestellt werden.

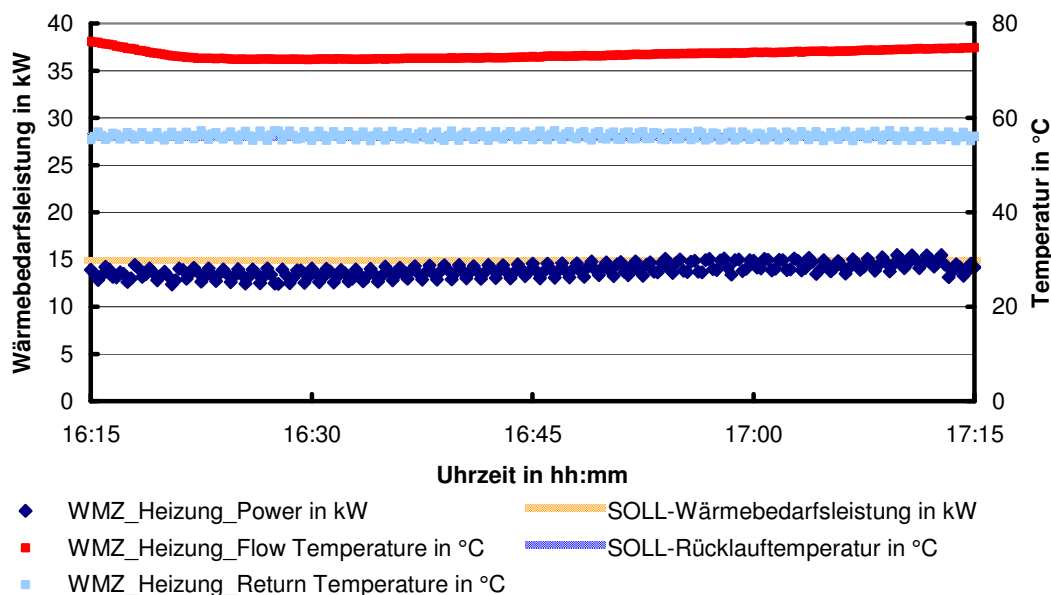


Abbildung 27: Stationärer Betrieb bei 14,9 kW Wärmebedarfsleistung und 56°C Rücklauftemperatur

Quelle: Bioenergy2020+

Messgruppe 1b): **Intermittierender Betrieb:** Bei dem intermittierenden Betrieb wurde die Wärmebedarfsleistung über die Wärmeabnahme auf 30%, 60% und 90% der minimalen Nennwärmeleistung (2,9 kW) eingestellt. Die Rücklauftemperatur wurde dabei konstant auf 56°C geregelt. Während der Versuchsdurchführung wurde die Kesselleistung für einen modulierenden Betrieb im Bereich von 4,7 kW bis 14,9 kW eingestellt. Die Energieströme, Temperaturen im Pufferspeicher sowie der elektrische Verbrauch der Anlage wurden bei einigen Ein- und Ausschaltzyklen vermessen. Die Einstellparameter sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

% der minimalen Nennleistung		30 %	60 %	90 %
Wärmebedarfsleistung	kW	0,9	1,7	2,6
Kesselleistung modulierend	%	30 – 95%		
Nennrücklauftemperatur	°C	56		

Tabelle 21: Einstellparameter für die Versuche bei intermittierendem Betrieb

Quelle: Bioenergy2020+

In Abbildung 28 ist der Verlauf einer Versuchsdurchführung im intermittierenden Betrieb bei 2,6 kW SOLL- Wärmebedarfsleistung und 56 °C SOLL- Rücklauftemperatur mit drei Aus- und Einschaltzyklen dargestellt.

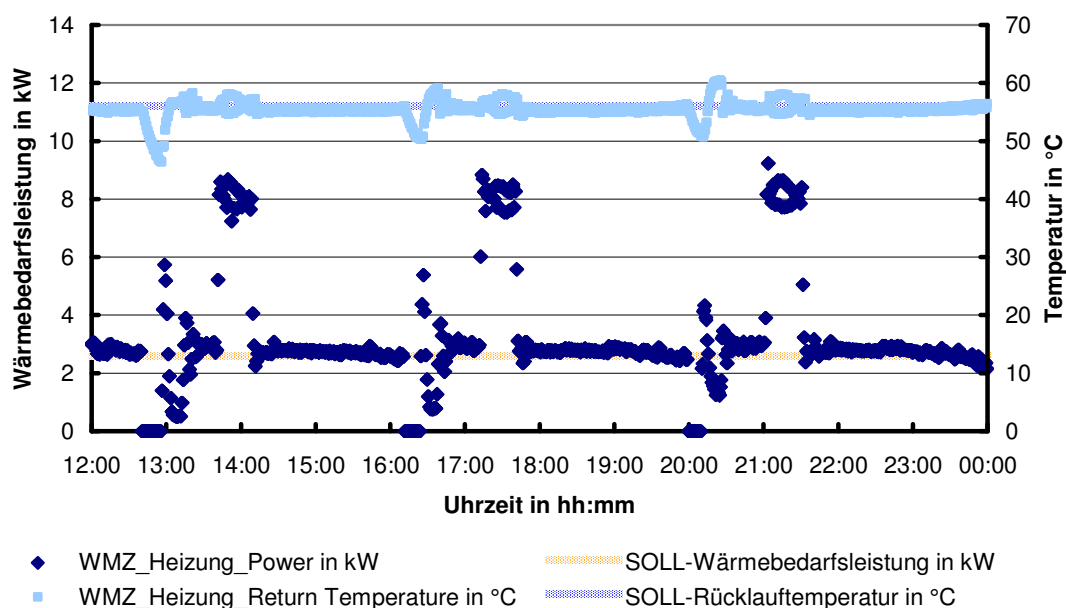


Abbildung 28: Intermittierender Betrieb bei 2,6 kW Wärmebedarfsleistung und 56 °C Rücklauftemperatur

Quelle: Bioenergy2020+

Messgruppe 1c): **Lastzyklen:** Bei diesem Messprogramm wurde die Versuchsanlage nach verschiedenen Tageslastkurven in Anlehnung der Richtlinie VDI 4655 und DIN 4702 Teil 8 betrieben. In der Richtlinie VDI 4655: „Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen“ sind typische Lastprofile festgelegt. Für die Labormessungen sind vier Lastprofile der Typtage Übergang-Wochentag-bewölkt (ÜWB), Übergang-Wochentag-heiter (ÜHW), Winter-Wochentag-bewölkt (WWB) und Winter-Wochentag-heiter (WWH) für die Raumwärmebereitstellung verwendet

worden. Jeder Typtag umfasste 24 Versuchsbetriebsstunden. Das nach DIN 4702 Teil 8 festgelegte Zapfprogramm zur Warmwassererwärmung wurde als Warmwasserwärmebedarfsprofil parallel zu jedem Raumwärmebedarfsprofil angewendet. Die Wärmebedarfsprofile wurden über die elektronisch steuerbare Wärmeabnahme abgefahren (siehe Kapitel 3.3.3.2). Die Lastprofile sind unter der Annahme eines mittleren Jahresheizwärmebedarf von 30,5 MWh und einer Warmwasserwärmemenge von 7 kWh pro Tag erstellt worden. Für die Versuchsdurchführung wurde ein modulierender Betrieb im Bereich von 4,7 kW bis 14,9 kW Kesselleistung eingestellt. Die Energieströme, Temperaturen im Pufferspeicher sowie der elektrische Verbrauch der Anlage wurden kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. Die Einstellparameter sind in Tabelle 22 zusammengefasst.

Typtag		ÜWB	ÜWH	WWB	WWH
Typtage nach VDI 4655		Übergang		Winter	
		Wochentag			
		bewölkt	heiter	bewölkt	heiter
Zapfprogramm nach DIN 4702 Teil 8		Zapfprofil ZP 120			
Kesselleistung modulierend	kW	4,7 – 14,9			
Max. LDZ (Lüfterdrehzahl)	%	95			
Min. LDZ (Lüfterdrehzahl)	%	30			
max. KesselSoll Temperatur	°C	85			
Startdifferenz	°C	20			
Minimale Kesseltemperatur	°C	45			
Solltemperatur Speicher Oben	°C	60			
Trinkwassersolltemperatur	°C	48			
Vorlaufsolltemperatur	°C	40			

Tabelle 22: Einstellparameter für die Versuche nach Lastzyklen

Quelle: Bioenergy2020+

In Abbildung 29 ist das SOLL-Lastprofil des Typtages ÜWH für die Raumwärmebereitstellung im Vergleich zu den IST-Messwerten der Leistungsaufzeichnung dargestellt. Unterschreitet die Speichertemperatur in der Mitte des Pufferspeichers einen bestimmten unteren Grenzwert wird die Wärmebereitstellung reduziert und der Pelletsbrenner startet um den Puffer wieder aufzuladen. Eine Reduktion der Wärmebereitstellung aufgrund zu niedriger Pufferspeichertemperaturen ist in Abbildung 29 zum Beispiel um 04:00 und 08:00 Uhr erkennbar.

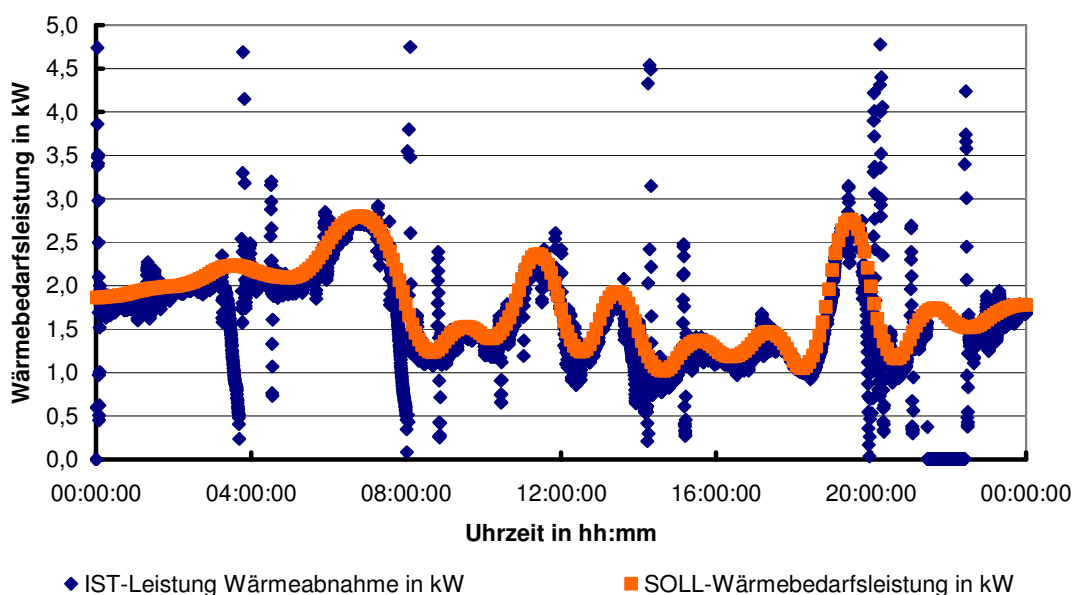


Abbildung 29: Vergleich der SOLL-Wärmebedarfsleistung mit der IST-Leistung Wärmeabnahme des Lastprofils ÜWH

Quelle: Bioenergy2020+

Für die Parametrierung des Speichermodells wurde der Pufferspeicher geladen und anschließend mit konstanter Rücklauftemperatur wieder entladen. Im Folgenden wird die Messgruppe Beladen und Entladen mit Brenner beschrieben:

Messgruppe 2a): **Beladen und Entladen mit Brenner:** Bei diesem Messprogramm wurde der Pufferspeichereinhalt von Umgebungstemperatur auf mindestens 60°C bei Speichertemperatur_Mitte beladen. Während des Beladevorgangs wurde keine Wärme vom Pufferspeicher entnommen. Anschließend erfolgte die Entladung mit einer konstanten Rücklauftemperatur bis die Temperaturen der einzelnen Schichtungen im Pufferspeicher wieder auf 20°C absanken. Die Einstellparameter sind in Tabelle 23 zusammengefasst.

Be- und Entladen des Pufferspeichers		
Kesselleistung modulierend	%	30 – 95%
Max. LDZ (Lüfterdrehzahl)	%	95
Min. LDZ (Lüfterdrehzahl)	%	30
Vorlaufsoltemperatur	°C	Wurde nicht geregelt: Heizkreispumpe und Mischer wurden manuell geschaltet
Mischer (manuell)		Stufe 4
WMZ_Heizung_Volume Flow (konstant)	m³/h	0,2
Rücklauftemperatur (konstant)	°C	20

Tabelle 23: Einstellparameter für den Versuch: Be- und Entladen des Pufferspeichers mit Brenner

Quelle: Bioenergy2020+

In Abbildung 30 sind die Temperaturverläufe der Pufferschichtungen und die Pufferbeladung dargestellt. Nach ca. 1,5 Stunden Kesselbetrieb und Beladen des Pufferspeichers wird dieser mit konstanter Rücklauftemperatur und konstantem Heizkreismassenstrom entladen. Die Entladedauer, bis die Speichertemperaturen, mit Ausnahme der Speichertemperatur 1, wieder 20°C erreichen, ist ca. 2,5 Stunden. Da sich die Messstelle Speichertemperatur 1 oberhalb des Vorlaufanschlusses Heizkreis befindet, wird diese kaum entladen und sinkt nur um ca. 5 K. Diese Speicherschicht des Pufferspeichers ist für die Warmwasserbereitstellung reserviert.

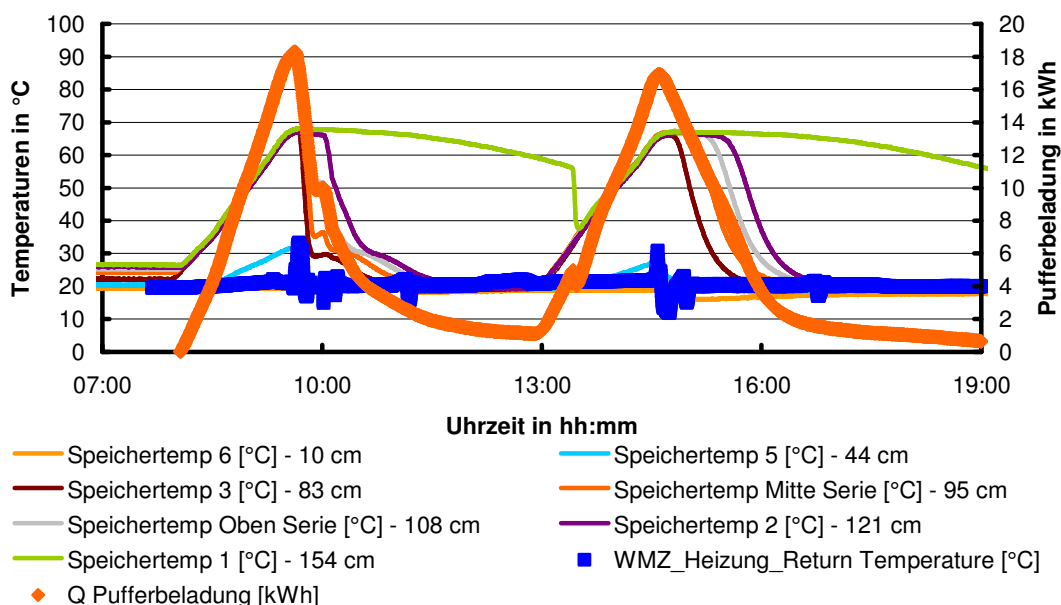


Abbildung 30: Temperaturverläufe und Pufferbeladung bei zweimaliger Be- und Entladung mit Brenner; die Abstände in cm beziehen sich auf die Pufferspeicherunterkante

Quelle: Bioenergy2020+

3.3.3.4 Qualitätssicherung der Messsensoren (AP4)

Um die Genauigkeit der im Monitoring verwendeten Messsensoren zu überprüfen erfolgte im Labor eine Qualitätssicherung der Messsensoren. Dazu wurden die Ergebnisse der verwendeten Messgeräte mit den Ergebnissen von Labormessgeräten verglichen. Konkret wurde von folgenden Messsensoren eine Qualitätssicherung durchgeführt:

- Lambdasonde zur Bestimmung des Restsauerstoffgehalts
- Bestimmung der Brennstoffwärmeleistung durch Drehzahlmessung der Pelletförderschnecke
- Oberflächenthermoelemente zur Bestimmung der Pufferspeichertemperaturen

3.3.3.4.1 Restsauerstoffmessung

Die Messung des Restsauerstoffgehalts mit der serienmäßig eingebauten Lambdasonde wurde mit dem Ergebnis der Gasanalyse verglichen. Eine wichtige Information hierbei ist, dass mittels Gasanalyse der Restsauerstoffgehalt im trockenen Verbrennungsgas und mittels Lambdasonde der Restsauerstoffgehalt im feuchten Verbrennungsgas gemessen wird. Deshalb muss durch Ermittlung des Wassergehalts im Verbrennungsgas der Wert auf die feuchte Abgasmenge umgerechnet werden um einen Vergleich mit

der Lambdasonde anstellen zu können. Der Wassergehalt des Verbrennungsgases kann entweder direkt gemessen oder in Abhängigkeit des Wassergehalts des Brennstoffes berechnet werden. In Abbildung 31 ist der Vergleich der unterschiedlich gemessenen und umgerechneten Restsauerstoffgehalte dargestellt. Die Verzögerungszeit aufgrund der längeren Messstrecke der Gasanalyse im Vergleich zur Lambdasonde wurde im Diagramm in Abbildung 31 berücksichtigt.

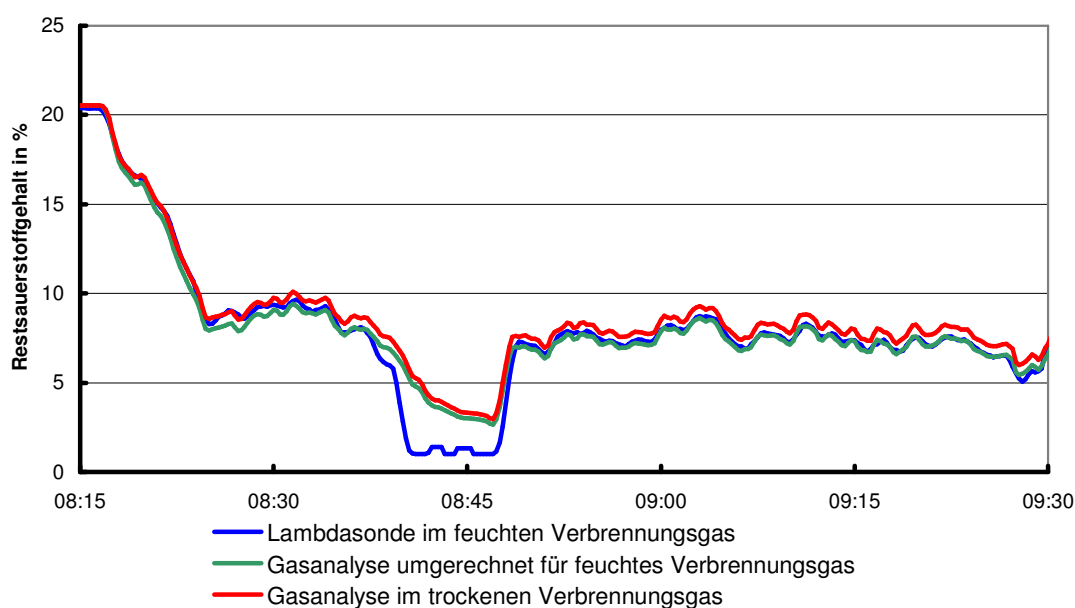


Abbildung 31: Vergleich des Restsauerstoffgehalts gemessen mittels Lambdasonde und Gasanalyse

Quelle: Bioenergy2020+

Bei gleicher Bezugsbasis lassen sich folgende Unterschiede zwischen Lambdasonde und Gasanalyse feststellen:

- Bei einem Messbereich von unter 5 Vol%_{abs} liefert die Lambdasonde einen zu niedrigen Restsauerstoffgehalt. In Abbildung 31 ist um ca. 08:45 Uhr ein nicht nachvollziehbares Absinken zu erkennen.
- Während des Starts im Bereich zwischen 8 Vol%_{abs} bis 20,9 Vol%_{abs} liegen die mittels Lambdasonde gemessenen Werte im Mittel um ca. 2,5 %_{rel} höher. Der Wassergehalt wurde bei diesem Vergleich in Abhängigkeit des Brennstoffwassergehalts berechnet. Die Messwerte wurden mit einem Intervall von 15 Sekunden aufgezeichnet und über die Dauer von 0,5 Stunden gemittelt.
- Während des Kesselbetriebes bei 5 Vol%_{abs} bis 10 Vol%_{abs} liegen die mittels Lambdasonde gemessenen Werte im Mittel um ca. 1,2%_{rel} (Wassergehalt wurde direkt im Verbrennungsgas gemessen) höher bzw. um 3,1 %_{rel} (Wassergehalt wurde in Abhängigkeit des Brennstoffwassergehalts berechnet) niedriger. Die Messwerte wurden mit einem Intervall von 15 Sekunden aufgezeichnet und über die Dauer von 3 Stunden gemittelt.

Bei Berücksichtigung des Wassergehalts im Verbrennungsgas kann die Lambdasonde im Messbereich von 5 Vol%_{abs} bis 20,9 Vol%_{abs} als Instrument für das Monitoring für vergleichende Messungen verwendet werden.

3.3.3.4.2 Bestimmung der Brennstoffwärmeleistung

Die Bestimmung der Brennstoffwärmeleistung über die Drehzahl der Pelletförderschnecke wurde mit der Wiegung mittels Palettenwaage verglichen. Um die Brennstoffwärmeleistung über die Drehzahl bestimmen zu können wurde in einem eigenen Versuch die Fördermenge pro Umdrehung ermittelt. Dabei wurde 5-mal die geförderte Pelletsmenge pro 20 Umdrehungen mit einer Laborwaage gemessen. Die Förderschnecke lief dabei durchgehend ohne Taktung. Dabei stellten sich ein Mittelwert von 743,6 g/20 Umdrehungen und eine Standardabweichung von 8,55 g heraus. Mit diesem mittleren Umrechnungsfaktor und mit der Drehzahlmessung der Förderschnecke kann die Brennstoffwärmeleistung bestimmt werden. Bei der Labormethode wurde die gesamte Masse der Anlage, dem Heizungswasser inklusive Ausdehnungsgefäß, die Asche und der Pelletvorrat kontinuierlich gemessen. Die Gewichtsabnahme während des Betriebs aufgrund der Verbrennung von Pellets kann in die Brennstoffwärmeleistung umgerechnet werden. Der Vergleich der Messergebnisse beider Methoden bei unterschiedlichen Brennerleistungen ist in Tabelle 24 dargestellt.

Brennerleistung	Quelle	Schnecken-drehzahl	Palettenwaage	Abweichung
100 %	Labor	3,909 kg/h	3,862 kg/h	- 1,2 %
50 %	Labor	1,895 kg/h	1,825 kg/h	- 3,7 %
30 %	Labor	0,958 kg/h	0,679 kg/h	- 29 %
39,6 %	TÜV-Prüfbericht	0,71 kg/h		

Tabelle 24: Vergleich von Messergebnissen verschiedener Methoden zur Bestimmung der Brennstoffwärmeleistung

Quelle: Bioenergy2020+, TÜV-Austria 10-UW/Wels-EX-053/1

Beim TÜV-Prüfbericht wurde bei Teillast (39,6 % Brennerleistung) eine stündlich verbrannte Brennstoffmenge von 0,71 kg/h festgestellt, was deutlich unterhalb dem Ergebnis der Bestimmung mittels Schneckendrehzahl bei 30 % Brennerleistung liegt. Da die Förderkennlinie der getakteten Pelletschnecke nicht linear ist, ist die Bestimmung der Brennstoffwärmeleistung mittels Schneckendrehzahl bei kleinen Leistungen nicht mehr möglich. Um diesen Fehler auszugleichen muss eine Förderkennkurve bei unterschiedlichen Taktungen der Pelletförderschnecke bestimmt werden.

3.3.3.4.3 Messung der Pufferspeichertemperatur

Die Genauigkeit und die Trägheit von Oberflächenthermoelementen zwischen Pufferspeicher und Isolierung wurden mit Widerstandstemperturfühler Pt100, die in Tauchhülsen im Pufferspeicher eingebaut sind, verglichen.

Beim Vergleich der gemittelten Messwerte des Pt100, eingebaut in 81 cm Pufferhöhe in Tauchhülse TH3 und des Oberflächentempertursensors KTY 81-110, am Pufferspeicher in 83 cm Höhe angelegt, konnte folgende festgestellt werden: Der Messwert des Oberflächentempertursensors ist im Mittel um 1,4 K niedriger als der gemittelte Wert des Widerstandsthermometers Pt100, obwohl sich diese um 2 cm tiefer befindet und deshalb niedrigere Temperaturen anzeigen müsste. Die Messwerte wurden mit einem Intervall von 15 Sekunden aufgezeichnet und über die Dauer von 8,75 Stunden gemittelt.

Die Verzögerung der Oberflächentemperatur im Vergleich zum Pt100 in der Tauchhülse ist durch den Vergleich der lokalen Maxima und Minima erkennbar und beträgt ca. 2 bis 3 Minuten.

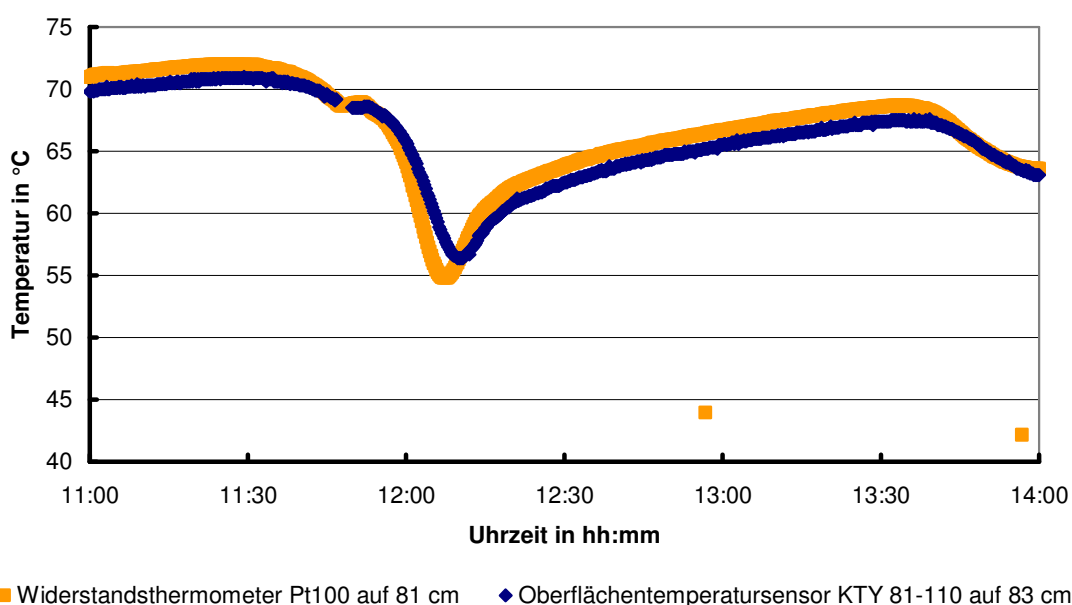


Abbildung 32: Vergleich der Temperaturmesssensoren Pt100 in der Tauchhülse und des Oberflächentempertursensors KTY 81-110.

Quelle: Bioenergy2020+

Da die Abweichung zwischen dem Pt100 in der Tauchhülse und dem Oberflächentempertursensor innerhalb der Messgenauigkeit des KTY 81-110 von +/- 3 % des Messwerts liegt, ist der Fehler vernachlässigbar und die Werte sind bei Berücksichtigung der Verzögerung vergleichbar.

3.4 Modellparametrierung und Simulation

3.4.1 Verwendetes Simulationsmodell

Die verwendete Simulationsumgebung ist TRNSYS (Transient System Simulations). Zur Parametrierung wird die TRNOpt Schnittstelle zu GenOpt (Generic Optimization Programm) verwendet. Die Hauptkomponenten des Simulationsmodells werden durch die folgenden Komponenten Modelle abgebildet:

UA ₄	0.537	kJ/h-K	Wärmeübertragungsfähigkeit des vierten (obersten) Viertels des Speichermantels
UA _{top}	0.03985	kJ/h-K	Wärmeübertragungsfähigkeit der Speicher oberseite
UA _{solar}	800	kJ/h-K	Wärmeübertragungsfähigkeit des Solarwärmeübertragers

3.4.3 Vergleich von Simulation und stationärer Labortest

In Abbildung 34 ist eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und simulierten Temperaturverläufen zu sehen. In Abbildung 35 sind die entsprechenden Leistungen der Heizungsentnahme aus dem Pufferspeicher zu dargestellt. Eine ebenso gute Übereinstimmung zu erkennen. Die Messdaten aus dem Laborversuch sind für eine stationäre Leistung von 12,75 kW, bei einer Rücklauftemperatur von 30°C dargestellt.

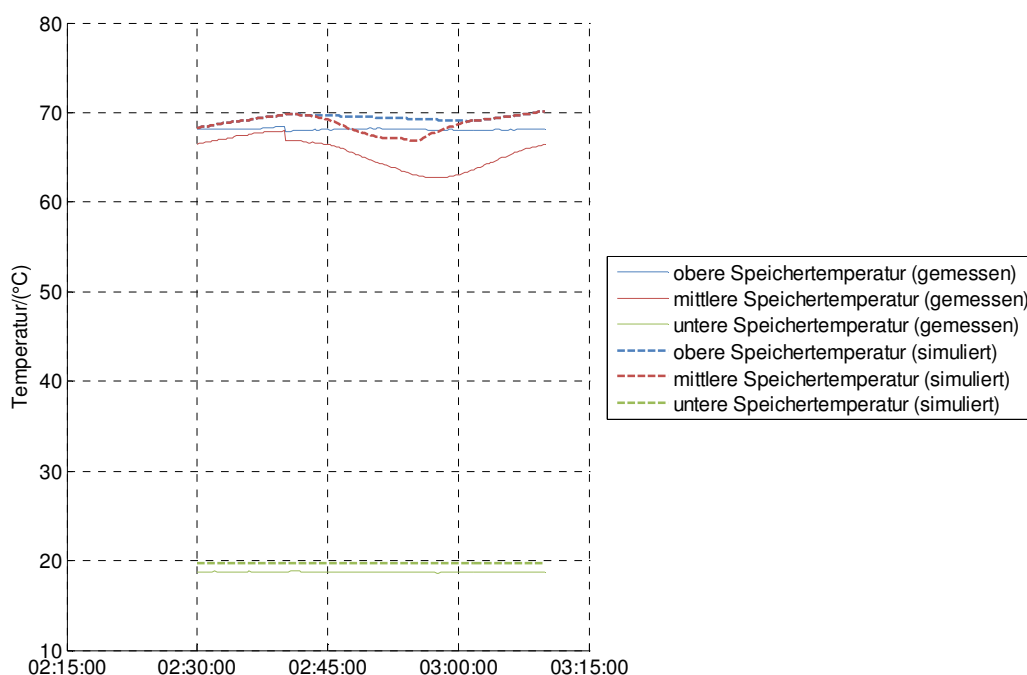


Abbildung 34: Gemessene und simulierte Temperaturverläufe beim Laborversuch mit 75% Leistung und 30°C Rücklauftemperatur

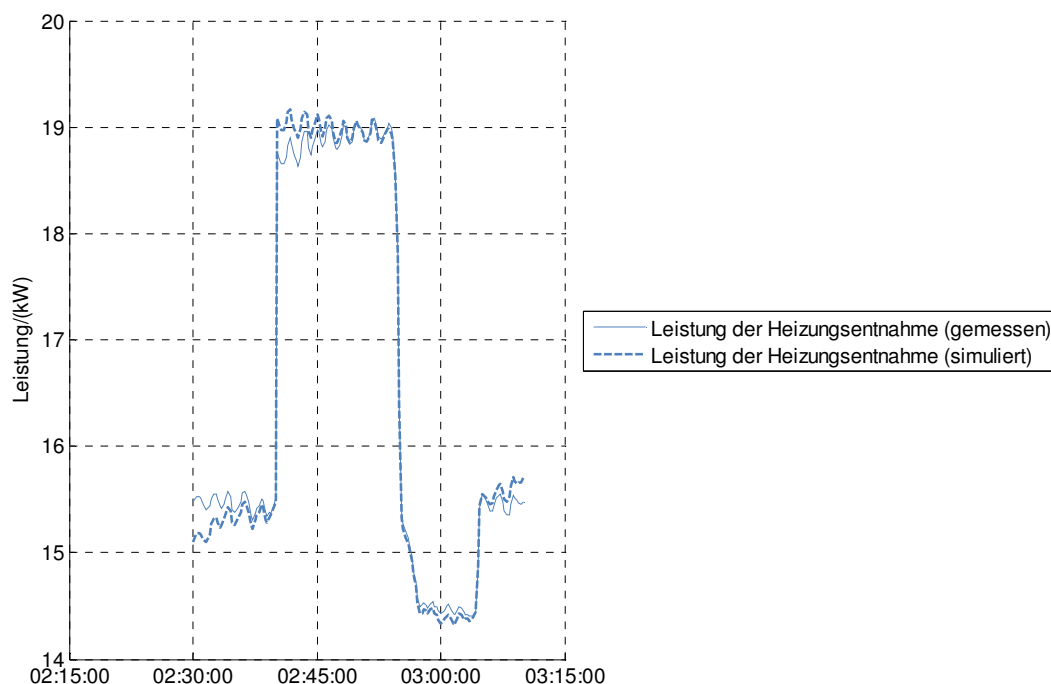


Abbildung 35: Gemessene und simulierte Leistungen beim Laborversuch mit 75% Leistung und 30°C Rücklauftemperatur

3.4.4 Vergleich von Simulation und Monitoring des gesamten Systems

Abbildungen 12 und 13 zeigen die Verläufe von Speichertemperaturen und Leistungen an der Entnahme des Pufferspeichers für die Heizung und für das Brauchwasser, sowie die zugeführte Leistung durch die Solaranlage als Messdaten aus dem Monitoring der Anlage „Koller“ und als Simulation.

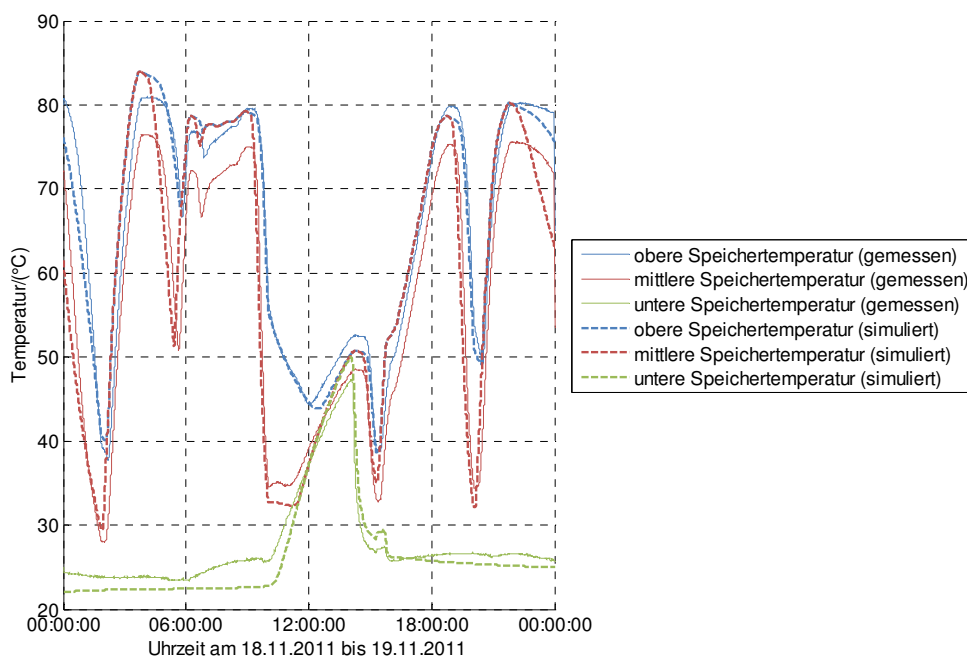


Abbildung 36: Gemessene und simulierte Temperaturverläufe der Anlage Koller

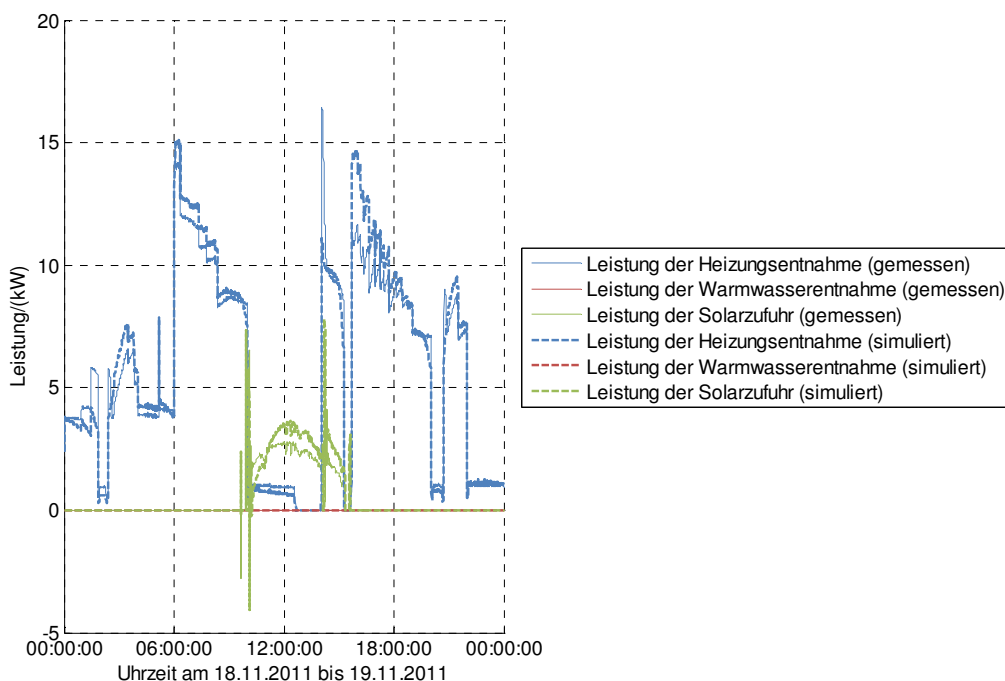


Abbildung 37: Gemessene und simulierte Leistungen der Anlage Koller

3.4.5 Adaptierung der Systemsimulation für Reglerentwurf und Optimierung

Um die Optimierung der Regelalgorithmen durchzuführen, wurde für die Phase I in AP 6 das Simulationsmodell der gesamten Anlage um die vollständige Regelung des Serienproduktes erweitert.

Die *Parameterstudien* zeigen beispielsweise, dass bessere Dämmung des Speichers den Verbrauch von Pellets senken kann. Eine Verdoppelung der Dämmung bringt eine Einsparung von 12 % für Pellets und eine Steigerung der solaren Gewinne um 13 % für den betrachteten Simulationszeitraum. Die Ergebnisse sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Ergebnisse der Variantenstudie (Quelle: AIT)

	Solar		Pellets	
	(kWh)		(kWh)	
Referenz	1645.7	100%	9191.0	100%
Optimierung	1886.4	15%	7904.8	-14%
130% Dämmung	1597.3	-3%	8614.5	-6%
150% Dämmung	1557.9	-5%	8362.9	-9%
200% Dämmung	1450.8	-12%	7956.5	-13%
+2 m ² Kollektor	2047.7	24%	8895.0	-3%
+4 m ² Kollektor	2266.1	38%	8728.7	-5%
Optimierung / 150% Dämmung	1767.3	7%	7407.5	-19%
Optimierung / 200% Dämmung	1651.0	0%	7169.9	-22%

3.5 Reglerentwurf und Optimierung

Ausgehend von den bereits erstellten thermischen Simulationsmodellen der Anlage aus AP 5 zur Parametrisierung wurde das bestehende Modell weiterentwickelt um die Abhängigkeiten der einzelnen Anlagenkomponenten voneinander abzubilden. Es ist nicht mehr ausschließlich gemessenes Datenmaterial sondern die Output-Signale davorliegender Komponenten für die Performance maßgebend. Die Regelung der Anlagen wurde in einer geeigneten Simulationsumgebung, hier MATLAB, abgebildet und ein Interface zur thermischen Simulationssoftware genutzt um beide Systeme zu verbinden. Um Aussagen über Optimierung der Anlage treffen zu können muss ein Referenz-Szenario gefunden werden. Es wurde versucht mit der abgebildeten Regelung das Verhalten der Anlagen möglichst genau abzubilden. Des Weiteren wurde ein innovatives regelungstechnisches Verfahren herangezogen, um das System im laufenden Betrieb zu optimieren. Dabei wurde der Ansatz der optimalen, modellprädiktiven Regelung (MPC) gewählt, bei welcher mathematische Modelle des geregelten Systems zum Einsatz kommen. Das System wurde mit Hilfe von Differentialgleichungen (early lumping) beschrieben und in Matlab/Simulink nachgebildet. Dabei war es wichtig alle, für die Regelung relevanten Temperaturdynamiken einzubinden. Das vorliegende KOMBINE System sieht drei entkoppelte Regelkreise (Heizkreis, Frischwasserzufuhr und Solarkreis) vor. Alle drei Regelkreise sind mit Reglern ausgestattet, die auf Sollwertvorgabe reagieren. Die Frage, die sich im Rahmen der Bearbeitung des AP6 gestellt hat, ist ob ein überlagertes Energiemanagement die Führung der unterlagerten Regelkreise übernehmen kann.

Abbildung 38 liefert Einblick in die angedachte Struktur des MPC Ansatzes um bessere Energieeffizienz im laufenden Betrieb zu erzielen. Die optimale Leistungsmodulation des Brenners wurde herangezogen, wobei der Pelletsverbrauch (in kg/s) hierbei als Zielgröße definiert wurde.

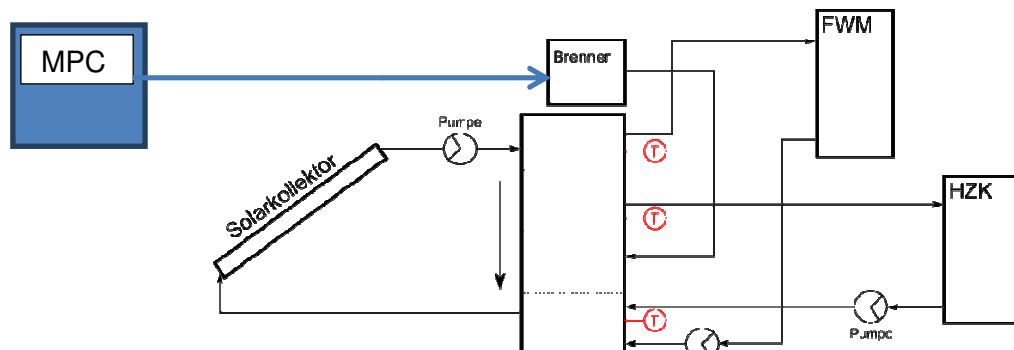


Abbildung 38: KOMBINE System Konfiguration: drei entkoppelte Regelkreise (Solar, Frischwasser (FWM) und Heizung (HZK)) - MPC dient überlagert als Energiemanagement für die unterlagerten Regelkreise und greift dabei in die Brennermodulation ein um diese optimal zu gestalten.

Die MPC wurde im Rahmen des AP6 simulationstechnisch evaluiert um zu sehen ob der unterlagerte Optimierungsalgorithmus die Leistungsmodulation des Brenners tatsächlich energieeffizient gestaltet.

Für die Optimierung der Regelung wurde die Optimierungssoftware GenOPT herangezogen, da diese sehr umfangreiche Solver beinhaltet, stabil läuft und eine Schnittstelle zu der thermischen Simulationsumgebung bietet. Abbildung 39 zeigt ein Ablaufdiagramm der Optimierung. Als Kostenfunktion wurden die Minimierung des Brennstoffeinsatzes und der Verluste der Anlage sowie die Maximierung der solaren Gewinne festgesetzt.

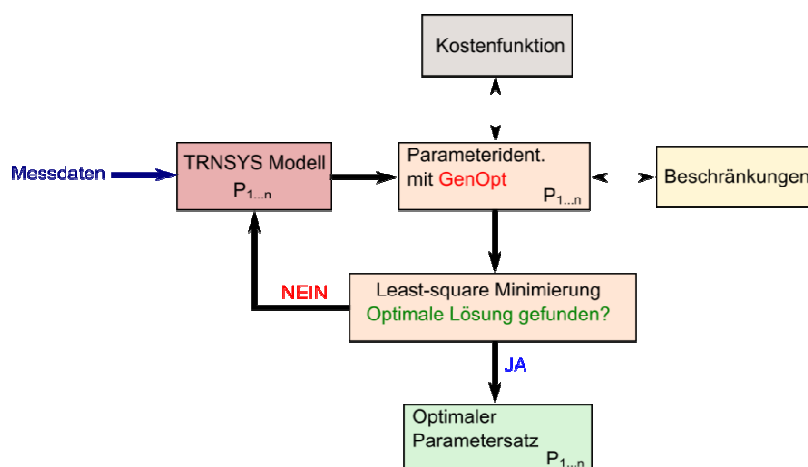


Abbildung 39: Ablaufdiagramm der Parameteroptimierung (Quelle: AIT)

Die beiden größten Einflussfaktoren auf die Zielfunktion sind der Verbrauch an Pellets und der solare Ertrag. Die Optimierungsrechnungen wurden ebenfalls über den gesamten Simulationszeitraum durchgeführt (Jan – Jul 2012).

Tabelle 28 gibt einen tabellarischen Überblick über die Ergebnisse der Simulation bzw. einen prozentualen Vergleich zu den Monitoringdaten.

Die durch die Optimierung gefundenen Parameter wurden einer Überprüfung durch die Hersteller unterzogen um sicher zu stellen, dass der Betrieb der Anlage in der Praxis nicht beeinträchtigt wird. Nach einer gemeinsamen Abstimmung wurde der optimierte Parametersatz geringfügig an die praktische Einsatztauglichkeit angepasst. Tabelle 27 gibt eine Übersicht über die Parameter die gemeinsam mit den Herstellern festgelegt wurden.

Tabelle 27: angepasster optimierter Parametersatz für die Regelung (Quelle: AIT)

	Optimierte Parameter
Kollektorkreis Einschalttemperaturdifferenz in °C	7.0
Speichertemperatur Oben Soll in °C	63.0
Speichertemperatur Hysterese in °C	10.0
Speichertemperatur Mitte Soll in °C	62.0
Energiequellen Minimaltemperatur in °C	35.0

Tabelle 28: Ergebnisse der Referenz-Simulation und Optimierung (Quelle: AIT)

	[kWh]	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	SUMME
PELLETS	Monitoring	2875.18	2767.19	1497.98	1561.37	179.58	173.08	169.86	9224.24
	Referenz	2641.42	2475.13	1543.09	1648.16	308.16	293.38	281.68	9191.03
		-9%	-12%	3%	5%	42%	41%	40%	0%
	Optimierung	2465.43	2270.67	1343.48	1443.73	135.25	127.33	118.91	7904.80
		-17%	-22%	-11%	-8%	-33%	-36%	-43%	-17%
SOLAR	Monitoring	56.00	116.00	318.00	313.00	324.00	297.00	258.00	1682.00
	Referenz	60.38	102.20	281.53	263.69	347.68	307.46	282.74	1645.68
		7%	-14%	-13%	-19%	7%	3%	9%	-2%
	Optimierung	69.87	122.85	316.35	302.17	393.90	356.59	324.71	1886.44
		20%	6%	-1%	-4%	18%	17%	21%	11%

Simulation der modellprädiktiven Regelung:

Zum Zweck der Evaluierung der Funktionsfähigkeit der neu angedachten, innovativen Regelung des KOMBINE Systems (MPC Regelung), wurden repräsentative Simulationsstudien durchgeführt. Die MPC wurde in Matlab/Simulink programmiert und als nichtlineares Optimierungsproblem der Form

Mit der Kostenfunktion:

$$J(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) := \int_t^{t+T_p} \mathcal{F}(\mathbf{x}(\tau), \mathbf{u}(\tau), \tau) d\tau + \mathcal{G}(\mathbf{x}(t+T_p), t+T_p)$$

Mit der dynamischen Systemformulierung:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \text{ with } \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$$

Mit den Systembeschränkungen:

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}(t-T_p)) = 0$$

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) \leq 0$$

definiert.

Der MPC Regler ist in Matlab Code formuliert, während die dynamische Systembeschreibung (mathematisches Modell) in der Programmiersprache C geschrieben worden ist. Das Systemmodell ist ein Differentialgleichungssystem n-ter Ordnung, wobei n der Anzahl der Diskretisierungspunkte (Knoten) für den Speichertank entspricht. Zusätzlich kommt eine Differentialgleichung erster Ordnung für den Solarkreis hinzu, sowie eine Differentialgleichung, die die Leistungsmodulation des Brenners beschreibt. Des Weiteren sind die Regelungsstrategien für den Heiz- und Frischwasserkreis mathematisch abgebildet. Als Modellinput ist unter anderem der Biomasseverbrauch definiert und dient ebenso als Eingang für die Zielfunktion:

$$\min_{\dot{m}_{\text{fuel}}} J := \int_t^{t+T_p} \dot{m}_{\text{fuel}} G H V d\tau$$

GHV ist eine systemspezifische Konstante. Der Term im Integral der obigen Gleichung entspricht der Leistung des Brenners. Die Optimierung wird dabei innerhalb eines vorgegebenen Prädiktionshorizonts T_p durchgeführt.

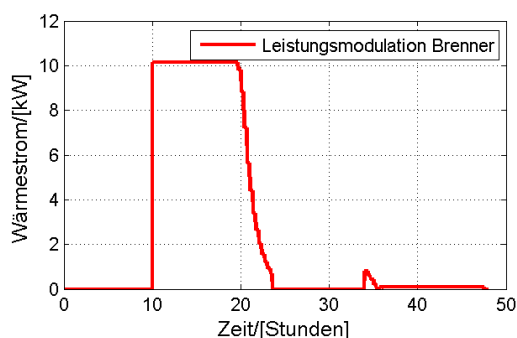


Abbildung 40 zeigt den optimalen Verlauf der Leistungsmodulation für den Brenner unter Einsatz des modellprädiktiven Energiemanagements. In der Regel ist der Output der modellprädiktiven Regelung ein Satz von optimalen Stellgrößen (Leistungsmodulation hier) für den Prädiktionshorizont T_p (in dieser Simulationsstudie 6 Stunden), mit einer bestimmten Abtastschrittweite (hier 20 Minuten).

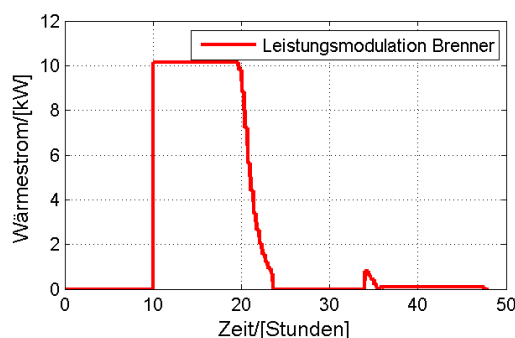


Abbildung 40: Leistungsmodulation für den Brenner - mit modellbasierter, prädiktiver Regelung.

Abbildung 42 zeigt den Verlauf der Speichertemperaturen für den gewählten Zeitraum. Diese dienen in der Regel als zusätzliche Information für den modellprädiktiven Regler und können als Beschränkungen in das Optimierungsproblem einbezogen werden.

Insgesamt liefert der modellprädiktive Regler eine Alternative zum konventionellen, kennlinienbasierten Regler. Im Gegensatz zum Letzteren, bietet er allerdings die Möglichkeit die beste Trajektorie, unter Einsatz zusätzlicher (zukünftiger) Einflüsse auf das System, zu finden.

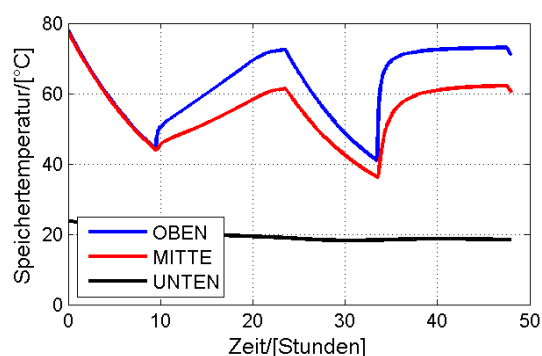


Abbildung 41: Speichertemperaturen unter Einsatz modellprädiktiver Regelung.

Dabei kann der Aspekt der erhöhten Energieeffizienz des KOMBINE Systembetriebs systematisch eingebunden werden. Auch systemspezifische Beschränkungen (max. erlaubte Temperaturen und Massenströme), lassen sich in diesem Konzept leicht unterbringen. Die Prädiktion des Systemverhaltens unter Zuhilfenahme guter, dynamischer Systemmodelle, samt Einbindung echtzeitfähiger Optimierungsalgorithmen (z.B.: Energieoptimalität wird anvisiert), liefert insgesamt eine starke Basis für die Implementierung dieses Konzepts auf Anlagen.

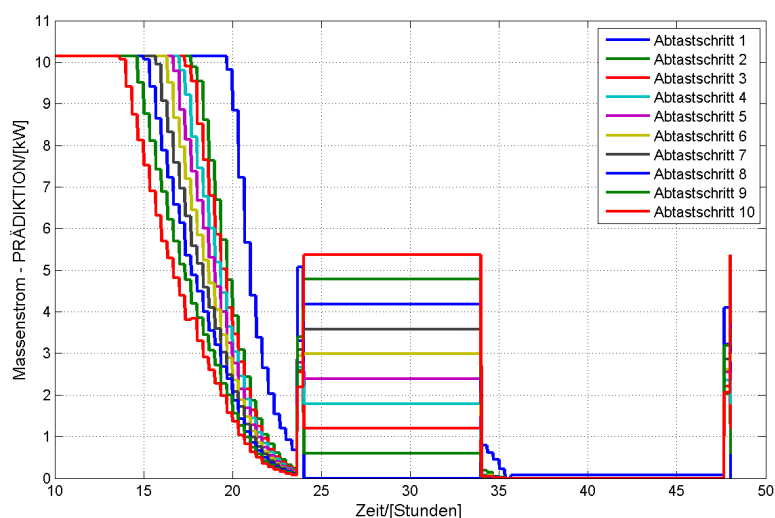


Abbildung 42: Prädizierte Leistungsmodulation - es wird immer der aktuelle Werte auf das System geschaltet und damit das System aktuiert.

3.6 Anwendung optimierter Regler im Feld

Der im Arbeitspaket 6: Reglerentwurf und Optimierung angepasste optimierte Parametersatz (Tabelle 27) wurde als Basis für die Erprobung des modellbasierten optimierten Reglers im Feld herangezogen. Dadurch war es möglich, die mittels Simulationsmodell ermittelten Parameter, im praktischen Betrieb zu evaluieren. Der optimierte Parametersatz wurde geringfügig an die praktische Einsatztauglichkeit angepasst und nach Ablauf der ersten aufgezeichneten Heizsaison in die Monitoringanlage 4 implementiert. Konkret wurden die Parameter am 24.02.2013 im Zeitraum zwischen 20:11 Uhr bis 20:14 Uhr gemäß Tabelle 29 geändert. Bei den gegebenen Bedingungen (Kesselperformance, Regler- und Parametereinstellungen,...) ist die Systemeffizienz von verschiedenen Rahmeneinflussgrößen abhängig: Außentemperatur, solare Einstrahlung, Warmwasser- und Raumwärmebedarf. Als wesentlicher Rahmeneinflussfaktor auf die Systemeffizienz konnte der Wärmebedarf identifiziert werden.

Tabelle 29: an der Monitoringanlage 4 geänderte Parameter und Einstellwerte

Parameterbezeichnung	ursprüngliche Einstellwerte	optimierte Einstellwerte
ParaTWR1.sTWRSolTemp	70 °C	53°C
ParaTWR1.shdFreigabe1Start	00:00 Uhr	04:00 Uhr
ParaTWR1.shdFreigabe1Ende	23:59 Uhr	22:00 Uhr
Kesselverwaltung1.sudKesselsolltemperatur	80 °C	63 °C
HKParameter1.sKesseltemp_Min	50 °C	35 °C

Die Bewertung der wöchentlichen Systemeffizienz in Abhängigkeit der Parametervariation wurde deshalb unter Berücksichtigung des wöchentlichen Wärmebedarfes durchgeführt (siehe Abbildung 43). Sowohl vor, als auch nach der Parametervariation wurden auch Messwerte mit solarem Eintrag verwendet. Beispielhaft ist eine Gruppe von Messwerten mit solarem Eintrag in Abbildung 43, innerhalb des roten Kreises markiert. Der Bilanzierungszeitraum wurde wöchentlich gewählt, damit eventuell unterschiedliche Pufferladezustände zu Beginn und am Ende der Bilanz vernachlässigt werden können.

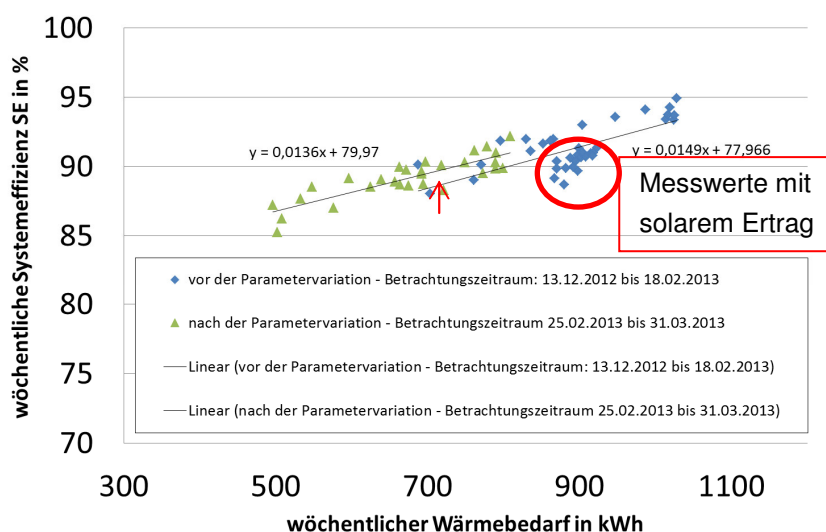


Abbildung 43: Ergebnis der Parametervariation bei Berücksichtigung des Wärmebedarfes

Ergebnis der Parametervariation:

Aufgrund der hohen Schwankungsbreite einzelner Messpunkte kann keine signifikante Optimierung der Systemeffizienz durch die Parametervariation festgestellt werden. Beim Vergleich der Trendlinien durch die Messpunkte vor und nach der Parametervariation ist eine Steigerung von 2 %-Punkten erkennbar (roter Pfeil in Abbildung 43).

Weitere Ergebnisse aus dem Monitoring:

Folgende weitere Randergebnisse konnten durch die Auswertung der Monitoringdaten der Anlage 4 für den betrachteten Auswertzeitraum von 13.12.2012 bis 18.02.2013 bzw. 25.02.2013 bis 31.03.2013 gewonnen werden:

- Die Systemeffizienz ist wesentlich abhängig vom Wärmebedarf (siehe Abbildung 43). Als eine Ursache dafür konnten die häufigeren Start-Stopp-Zyklen bei niedrigerem Wärmebedarf identifiziert werden.
- Für die betrachteten Zeiträume gilt der Zusammenhang:
 - 0 – 10 Start-Stopp-Zyklen pro Woche -> Systemeffizienz zwischen ca. 92,5 – 95,0 %
 - 10 – 20 Start-Stopp-Zyklen pro Woche -> Systemeffizienz ca. 90,0 – 92,5 %
 - 20 – 30 Start-Stopp-Zyklen pro Woche -> Systemeffizienz ca. 85,0 – 90,0 %
- Die Systemeffizienz ist abhängig vom solaren Ertrag. Für den betrachteten Auswertzeitraum 13.12.2012 bis 18.02.2013 konnte festgestellt werden, dass in den Wochen mit solarem Ertrag (Messwerte im roten Kreis in Abbildung 43) die Systemeffizienz um 2 bis 3 %-Punkte niedriger lag, als während den bewölkten Wochen ohne solarer Ertrag.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Projekt KOMBINE lag der Fokus auf der Entwicklung neuer Reglerkonzepte für kompakte Systeme aus Biomassebrenner und Solarthermie. Durch die Vermessung der einzelnen Systemkomponenten, wie zum Beispiel der Solarkollektor und der Speicher integrierte Pelletsbrenner, unter Laborbedingungen war es möglich eine gute Parametrierung und Validierung der verwendeten Simulationsmodelle durchzuführen. Auf Basis dieser Modelle konnte in weiterer Folge eine umfangreiche Parameterstudie für die Dimensionierung der relevanten Bauteile, wie Speicher und Kollektoren, erstellt werden. Die Ergebnisse der Parameterstudie zeigen, dass es Potential gibt den Pelletsverbrauch weiter zu senken. Eine Verdopplung der Dämmstärke des Speichers kann beispielsweise eine Reduktion des Pelletsverbrauchs um rund 10 % bewirken.

Für die erfolgreiche Optimierung der Regelparameter auf Basis der erstellten Simulationsmodelle ist die Güte der abgebildeten Modelle entscheidend. Die gesamte Regelung wurde im Simulationsmodell gemäß den Vorgaben von SOLARFOCUS implementiert. Der Vergleich mit den Monitoringdaten aus drei Anlagen zeigt teilweise sehr gute Übereinstimmung, teilweise aber auch sehr große Unterschiede zwischen den simulierten und den gemessenen Daten. Dies ist auf zwei wesentliche Faktoren zurückzuführen:

- Unsicherheiten bei den Randbedingungen
- Eignung des Speichermodells

Die Randbedingungen die für die Simulation erforderlich sind, können teilweise nicht exakt nachgebildet werden und haben sich teilweise auch verändert. Beispielsweise kann die gemessene Einstrahlung durch Verschmutzung des Einstrahlungssensors sinken und damit sind die Parameter für die Berechnung des Wirkungsgrades des Kollektormodells nicht mehr gültig. Andererseits variiert die Messung des zugeführten Pelletsmassenstroms mit dem Produkt selbst. Insgesamt sind die Messungen durchaus plausibel aber die Unsicherheiten konnten nicht quantitativ dargestellt werden.

Das verwendete Speichermodell wurde mit Labormessungen im Be- und Entladeprozess bei unterschiedlichen Leistungen parametrieren. Die Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Werten ist sehr gut. Bei der Simulation eines ganzen Jahres kommt es allerdings teilweise zu sehr großen Abweichungen der Temperaturen im Speicher über die Höhe von einigen Kelvin. Dies ist insofern sehr relevant, als die Regelung selbst ebenso simuliert wird und damit die Schaltzeitpunkte für die unterschiedlichen Komponenten der Regelung abweichen. Das Modell ist aufgrund der eindimensionalen Diskretisierung nicht geeignet, speziell Speicher mit kleinem Volumen (hier 500 Liter) und vielen Anschlüssen (Solar-Wärmetauscher, Rauchgasrohre durch den Speicher, Heizungsanschlüsse und Brauchwasseranschlüsse) abzubilden. Die komplexen Strömungsvorgänge welche bei der Zapfung oder Einspeisung in so einem kleinen Volumen entstehen führen zu einigen Kelvin Abweichung in der örtlichen Temperatur im Speicher und damit zu unterschiedlichem Verhalten der gesamten Regelung.

Nichtsdestotrotz kann man die gesamten Simulationen als eine weitere Anlage betrachten, d.h. die Ergebnisse sind individuelle für das Modell zu interpretieren und zeigen tendenziell Verbesserungsmöglichkeiten gegenüber den Anlagen im Betrieb auf.

Das umfassende Monitoring und die Simulationen haben außerdem auch eine vielversprechende Verbesserungsmöglichkeit des charakteristischen Betriebs des Pelletsbrenners aufgezeigt. Basierend auf den Randergebnissen muss die Optimierung eines Reglers in Hinblick auf eine minimale Anzahl an Start-Stopp-Zyklen erfolgen. Als positiver Nebeneffekt werden dadurch auch die Schadstoffemissionen, die gerade bei häufigen Kaltstarts sehr hoch sind, minimiert. Eine wichtige Anforderung an eine optimierte Kessel- und Solarregelung ist, dass die solaren Erträge, bei gleichbleibend hoher Systemeffizienz, genutzt werden können.

Eine Schlussfolgerung der Anwendung optimierter Regler im Feld ist, dass durch eine angepasste und verbesserte Leistungsregelung sowie richtiger Dimensionierung der Kesselleistung, das Potential der hohen Systemeffizienz der untersuchten Anlage genutzt werden kann.

Basierend auf den Monitoringdaten wurde die Abhängigkeit der Systemeffizienz vom Wärmebedarf dargelegt. Dabei zeigt sich, dass die Systemeffizienz höher ist, wenn der Wärmebedarf hoch ist. Der Grund dafür liegt in der geringeren Anzahl an Start-Stopp-Zyklen bei höherem Wärmebedarf. Umgekehrt sinkt bei vielen Start-Stopp-Zyklen die Systemeffizienz.

Um die Anzahl der Start-Stopp-Zyklen auch bei Teillastbetrieb nicht zu groß werden zu lassen, muss die Teillastfähigkeit der Verbrennungstechnik und der Kesselregelung weiter verbessert werden. Der optimierte Systemregler muss auf ein Biomasse-Solarthermie Kompaktsystem mit derart optimiertem Kessel aufgesetzt werden.

5 Ausblick und Empfehlungen

Die Teillastfähigkeit des Pelletskessels muss verbessert werden, um die Anzahl der Start-Stopp-Zyklen – speziell bei geringerem Wärmebedarf - zu reduzieren. In zukünftigen Projekten muss dieser Aspekt bei der Entwicklung eines optimierten Reglers berücksichtigt werden, da dies eine wichtige Voraussetzung ist um die Systemeffizienz zu heben. Es kann dies womöglich erreicht werden durch Optimierung der Feuerung (Geometrie) und durch Änderung der Regelungsstrategie, was in vom gegenständlichen Projekt losgelösten Untersuchungen herausgefunden werden muss.

Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollen sich daher vorerst auf die Optimierung des bestehenden, konventionellen Leistungsreglers hinsichtlich optimaler Berücksichtigung rascher Lastwechsel bzw. solarem Input und optimaler Anpassung an das Wärmenachfrageprofil konzentrieren. Ziel des optimierten Leistungsreglers ist die Reduzierung der Start-Stopp-Zyklen und dadurch Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems. Nach erfolgter Erprobung und Evaluierung dieses neu entwickelten Leistungsreglers im Feld kann das Potential der weiteren Systemeffizienzsteigerung durch

einen modellbasierten Regler erhoben werden. Durch diese weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeit wird auch eine gezieltere Entwicklung eines modellbasierten Reglers (MPC) möglich.

Insgesamt liefert der modellprädiktive Regler eine Alternative zum konventionellen, kennlinienbasierten Regler. Im Gegensatz zum Letzteren, bietet er die Möglichkeit die beste Trajektorie, unter Einsatz zusätzlicher (zukünftiger) Einflüsse auf das System, zu finden und damit ein Optimum für das formulierte Optimierungsziel.

Dabei kann der Aspekt der erhöhten Energieeffizienz des KOMBINE Systembetriebs systematisch eingebunden werden. Auch systemspezifische Beschränkungen (max. erlaubte Temperaturen und Massenströme), lassen sich in diesem Konzept leicht unterbringen. Die Prädiktion des Systemverhaltens unter Zuhilfenahme guter, dynamischer Systemmodelle, samt Einbindung echtzeitfähiger Optimierungsalgorithmen (z.B.: Energieoptimalität wird anvisiert), liefert insgesamt eine starke Basis für die Implementierung dieses Konzepts auf Anlagen.

Um eine zuverlässige Optimierung auf der realen Anlage zu erreichen ist es in weiteren Arbeiten erforderlich die Simulationsmodelle zu verbessern, da die Güte der Optimierung mit Modell basierten Reglern direkt von der Güte der Modelle abhängt.

6 Literaturverzeichnis

15a B-VG 2008

15a B-VG; Erläuterungen zur Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen; [http://zuwog.e-sieben.at/materialien/15a_Vereinbarung_2008_Erlaeuterungen.pdf]; web; 2008

AMTMAN 2011

AMTMAN, M; GROSS, M; Tabula Gebäudetypologie, Austrian Energie Agency Mai 2011

Austria Solar 2011

Austria Solar; Austria Solar - Verein zur Förderung der thermischen Solarenergie
1060 Wien, Mariahilferstraße 89/22; 2011

Bafa 2011

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle;
[http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/publikationen/energie_ee_bm_uebersicht.pdf]; 22.08.2011

BImSchV 2010

1.BimschV; Bundesgesetzblatt: Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über mittlere und kleine Feuerungsanlagen – 1.BimschV.); Jänner 2010

EEAP 2007

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Nationaler Energieeffizienz Aktionsplan (EEAP) der Bundesrepublik Deutschland, November 2007

Energie 2030

Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, Energie 2030

ESTIF 2011

ESTIF 2011; European Solar Thermal Industry Federation; Austria Solar; [<http://www.solarwaerme.at/pics/2596.jpg>]; 2011

Eurobau.at 2012

eurobau.at; Das europäische Bauinformations System [<http://www.eurobau.at>]; web; Jänner 2012

FURTNER, HANEDER 2012

FURTNER, K; HANEDER, H; Heizkesselerhebung 2011; NÖ Landwirtschaftskammer; Grafik: pro>>pellets; Jänner 2012

HOFMAN, BÜTTNER 2007

HOFMAN, J; BÜTTNER, C; Modernisierung von Heizungsanlagen GfK Gruppe, Dezember 2007

Kommunal Kredit 2012

Kommunal Kredit 2012; Sanierungsscheck für Private 2012; [http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfrderung/fr_private/energiesparen/sanierungsscheck_2012/], Jänner 2012

MUEHLBACHER 2008

MUEHLBACHER, H; Verbrauchsverhalten von Wärmeerzeugern bei dynamisch variierten Lasten und Übertragungskomponenten; Dissertation, TU München; Juni 2008

MUEHLBACHER, CARTER 2002

MUEHLBACHER, H.; CARTER, M.; Warmwasserbereitung – Vergleich zentraler und dezentraler Warmwasserversorgung; Energie & Management Verlagsgesellschaft; Herrsching; 2002

Musterbauordnung 2008

Musterbauordnung - MBO; Merkblatt des Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt); [http://www.dibt.de/de/Data/Musterbauordnung_info.pdf]; web; Jänner 2012

OIB 2011

Österreichisches Institut für Bautechnik; Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ und zum OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“; [http://www.oib.or.at/EB6_061011.pdf]; web; Oktober 2011

pellets Markt und Trends 2011

pellets Markt und Trends 03 - 11; Marktanalyse Systemanbieter Pellets und Solar, Zeitschrift, 2011

ÖHN 2010

PÖHN, C; hdz_plus_praesentation; MA 39 – Bauphysiklabor; November 2010

Solar Promotion 2011

Solar Promotion GmbH, [<http://www.pelletsmagazin.de/downloads/grafiken/>]; Bafa/BMU, web; 14.09.2011

Solaranlage.de 2012

solaranlage.de; [<http://www.solaranlage.de/foerderung/solarfoerderung>]; web; 08.02.2012

Statistik Austria 2010

Statistik Austria: Österreich ohne Wien: neu errichtete Gebäude nach deren Eigenschaft; erstellt am: 10.05.2010

Statistisches Bundesamt Genesis 2010

Statistisches Bundesamt Genesis: Gebäudebestand Deutschland; Deutsches Bundesamt, Fachserie 5,R.3, 2010

STIESS 2010

STIESS, I. et al; enef Haus: Handlungsmotive-, hemmnisse und Zielgruppen für eine energetische Gebäudesanierung, Jänner 2010

STOCK, TUSCHINSKI 2010

STOCK, J; TUSCHINSKI, M; 12 Fragen und Antworten zur EnEV 2012 und EU-Richtlinie 2010; BMVBS; 27.10.2010

TUSCHINSKI 2010

TUSCHINSKI, M; Fragen und Antworten zur EnEV 2009, EnEV 2012 und Energieausweis;; August 2011

VDI 2006

VDI-Wärmeatlas Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2006, 10. Auflage, Lbb2

7 Kontaktdaten

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Dr. Michael Hartl

michael.hartl@ait.ac.at

Giefinggasse 2, 1210 Wien

BIOENERGY 2020+ GmbH

Dr. Christoph Schmidl

DI (FH) Stefan Aigenbauer

SOLARFOCUS GmbH

DI Andreas Simetzberger

Ing. Christian Stubauer

IMPRESSUM

Verfasser

AIT Austrian Institute of Technology GmbH |
Energy Department
Giefinggasse 2, 1210 Wien
Tel: +43 50550-6040
Fax: +43 50550-6679
E-Mail: michael.hartl@ait.ac.at
Web: www.ait.ac.at

Projektpartner und Autoren

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
– Michael Hartl
– Florian Stift
– Tarik Ferhatbegovic

BIOENERGY 2020+ GmbH
Inffeldgasse 21b, 8010 Graz
E-Mail: office@bioenergy2020.eu
– Christoph Schmidl
– Stefan Aigenbauer

SOLARFOCUS GmbH
Werkstraße 1, 4451 St. Ulrich / Steyr
Telefon: +43-7252-50002-0
Fax: +43-7252-50002-10
E-Mail: office@solarfocus.at
– Andreas Simetzberger
– Christian Stubauer

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

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

Disclaimer

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

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH