

Entwicklung neuartiger Holz-Hybridheizsysteme

Speicheröfen mit Wasserabsorber

Projekt-Nr. 40488 Vertrag 80688

Ausgearbeitet durch

HTA Luzern und
Ökozentrum Langenbruck

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Schlussbericht März 2002



Forschungs- und P+D-Programm Biomasse	Programme de recherche et p+d Biomasse	Bundesamt für Energie BFE Office fédéral de l'énergie OFEN
--	---	---

Auftraggeber:

Forschungs- und P+D Programm Biomasse des
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Hochschule für Technik+Architektur (HTA) Luzern
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Ökozentrum Langenbruck (ÖZL)
Schwengistrasse 12
4438 Langenbruck

Autoren:

Heinrich Huber, HTA Luzern
Beat Frei, HTA Luzern
Sven Kropf, HTA Luzern
Yves Macquat, ÖZL
Christian Gaegauf, ÖZL

Begleitgruppe:

Peter Brogli, Tonwerk Lausen AG, Lausen
Claude Chiquet, Chiquet Energietechnik AG, Ormalingen (bis Oktober 2001)
Josef Tschirky, Spiess Ofentechnik AG, Illnau
Jürg Bienz, Chiquet Energietechnik AG, Ormalingen (ab November 2001)

Dieses Dokument ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet worden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind alleine die Autoren verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb:

ENET
Egnacherstrasse 69 · CH-9320 Arbon
Tel. 071 440 02 55 · Tel. 021 312 05 55 · Fax 071 440 02 56
enet@temas.ch · www.energieforschung.ch · www.energie-schweiz.ch

Inhaltverzeichnis

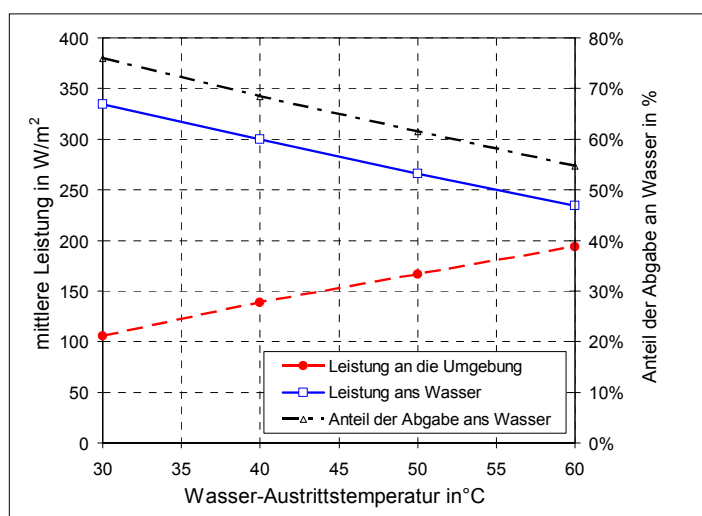
1	Zusammenfassung.....	4
2	Einführung.....	5
2.1	Ausgangslage	5
2.2	Ziele	5
2.3	Projektorganisation	5
3	Objekt und Methode.....	6
3.1	Untersuchte Ofenbauart	6
3.2	Methode.....	7
4	Leistungsmessungen	8
5	Berechnungsmodell und Simulationsresultate.....	10
5.1	Berechnungsmodell und Validierung	10
5.2	Basis-Variante der Simulationsberechnungen	10
5.3	Einfluss von Konstruktions- und Betriebsparametern	11
6	Hydraulische Einbindung und Sicherheit	17
6.1	Hydraulische Schaltungen für Absorberöfen	17
6.2	Folgerungen aus den Sicherheitstests	23
7	Diskussion und Folgerungen	24
7.1	Hinweise für die Umsetzung	24
7.2	Offene Fragen und weitere Arbeiten	25
8	Literatur	25

1 Zusammenfassung

Auf der Aussenseite von Holz-Speicheröfen werden schlanke Wasserabsorber platziert. Dadurch lässt sich Wärme auskoppeln und über eine Heizung verteilen. Die Konstruktion hat den Vorteil, dass sich die Wärmeabgabe an den Raum steuern lässt.

Die Charakteristik der Wärmeabgabe wurde an einem Funktionsmuster experimentell untersucht. In einer zweiten Messung wurde ein realer Ofen untersucht, der mit einem Absorber verkleidet war.

Mit Hilfe des Programms *IDA* wurde ein theoretisches Simulationsmodell gebildet. Nach der Validierung am Funktionsmuster wurden die Parameter im Berechnungsmodell so angepasst, dass sie der Wandkonstruktion des realen untersuchten Ofens entsprachen. Ausgehend von dieser Basis-Variante wurden in weiteren Berechnungen verschiedene Konstruktions- und Betriebsparameter variiert. So wurde zum Beispiel in der Berechnung die Wasseraustrittstemperatur verändert. Figur 1 zeigt den Verlauf der mittleren Leistung der Basisvariante in Funktion der Wasseraustrittstemperatur. Die Aufteilung der Wärmeabgabe an das Wasser und an die Umgebung ist demzufolge stark von der Wassertemperatur abhängig.



Grundlagedaten der Basisvariante:

- Ofenwand: 60 mm Schamotte
- Kupferabsorber: Blechstärke 0.7 mm
Rohr-Aussendurchmesser 10 mm,
Rohrabstand 173 mm
- Luftspalt von 3 cm zwischen Absorber und raumseitiger Verkleidung
- Raumseitig dünne, leichte Verkleidung
- Abbranddauer 1.5 h, Rauchgastemperatur 620°C
- Feuerungsintervall 12 Stunden
- Konstante, geregelte Wasseraustrittstemperatur

Figur 1: Mittlere Leistung über 24 h, Leistungsaufteilung sowie Grunddaten der Basis-Variante

Weitere Parameter die untersucht wurden sind: Abstand der Absorberrohre, Luftspalt zwischen Absorber und Raum, Feuerungsintervall und Art der hydraulischen Einbindung. Weiter wurde eine Berechnung mit einem kleineren Ofen mit einer leicht anderen Konstruktion durchgeführt.

Für die hydraulische Einbindung und die sicherheitstechnischen Einrichtungen wurden Vorschläge für drei Standardlösungen erstellt. Die hydraulische Einbindung und die Steuerung sind aus sicherheitstechnischen Aspekten relativ einfach. Es müssen aber spezielle Punkte (Auslegung Ausdehnungsgefäß, Anordnung der Komponenten, etc.) beachtet werden. Dies setzt sowohl die Kenntnis der einschlägigen Heizungsrichtlinien, wie auch ein Verständnis für Holz-Speicheröfen voraus.

An einer Demonstrationsanlage wurden einfache Sicherheitsversuche durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass bei einem Pumpenstillstand keine zu grosse Systemdruckerhöhung zu erwarten ist. Dies gilt für Anlagen mit geschlossenem und richtig dimensioniertem Ausdehnungsgefäß. Andererseits setzen die hohen Wandtemperaturen der Absorberrohrschlange (300-400°C) eine zuverlässige Dauerfestigkeit (kein Schmelzen der Lötstellen, keine Rekristallisation) für die durch Laien betreuten Anlagen voraus.

Hybridsysteme mit Absorberöfen haben ein grosses Potential als Vollheizung für MINERGIE- und Passiv-Häuser. Um dieses Potential zu nutzen müssen qualitativ hochwertige Systemlösungen für Heizung und Wassererwärmung entwickelt werden. Für diesen Einsatzbereich ist eine Kombination mit Solaranlagen für Warmwasser anzustreben.

Offene Fragen und Bedarf für weitere Arbeiten bestehen bei folgenden Punkten:

- Speicherbewirtschaftung für Anlagen, bei denen Absorberöfen und Solaranlagen kombiniert sind
- Aus- und Weiterbildung für Hafner zum Aufbau und zur Systemeinbindung von Absorberöfen
- Sicherheitsprüfung für serienmässig gebaute Absorberöfen sowie Vorlagen für Installations- und Betriebsvorschriften für individuell erstellte Absorberöfen

2 Einführung

2.1 Ausgangslage

In Einfamilienhäusern steht oft eine Wohnraumfeuerung. Die Motivation für die Bauherrschaft ist einerseits die Feuerromantik und andererseits soll mit Holz fossile Energie substituiert werden.

Ein Wohnzimmer im stark wärmegeprägten Minergie- oder Passivhaus benötigt im Winter bei Sonnenschein wenig bis keine Heizleistung. Der Ofen steht aber üblicherweise in diesem Raum und soll die nicht besonnten Zimmer mit Wärme versorgen, ohne den Aufstellort unnötig zu überheizen. Weiter sollte die Wärmeabgabe des Ofens dem Bedarf angepasst werden können.

Der sinkende Heizenergiebedarf zusammen mit bedienungsfreundlichen und technisch ausgereiften Lösungen kann ein Pluspunkt für den Brennstoff Holz darstellen.

Ein Ansatz ist, einen Speicherofen mit einem wasserführenden Absorber auszurüsten, der eine hydraulische Verbindung mit einer Zentralheizung ermöglicht. Das neue System unterscheidet sich von herkömmlichen „Öfen mit Wasserregister“, in dem die freigesetzte Energie zuerst in den Feststoffspeicher und dann in das Wasser fliesst. Der sogenannte Absorber ist also nicht in direktem Kontakt mit der Flamme oder dem Rauchgas. Dadurch kann die Wärme besser verteilt und nach Bedarf abgegeben werden. Zudem besteht so die Möglichkeit in Kombination mit einer Solaranlage das Brauchwarmwasser zu erwärmen.

Übliche Öfen mit Wasserregistern (meist im Rauchgas) erfüllen nicht alle Anforderungen an einfache, kostengünstige und komfortable Vollheizungen für Minergie- oder Passivhäuser. Sie haben folgende Nachteile:

- Zuviel Wärme wird an den Raum und zuwenig an das Wasser abgegeben
- Die Wärmeabgabe ist nicht variabel
- Die hydraulische Einbindung ist aufwendig und damit auch teuer
- Die Öfen sind relativ schwer und haben grosse Abmessungen

2.2 Ziele

Das Projekt hatte folgende Zielsetzung:

- Entwicklung eines neuen Holz-Hybridheizsystems mit variabler Wärmeabgabe an den Aufstellungsraum und an eine Wasserheizung
- Es wird sowohl mit Experimenten, wie auch mit Modellrechnungen (Simulationen) gearbeitet. Die Modellrechnungen dienen dazu, sowohl die untersuchten Öfen besser zu verstehen, wie auch allgemein Erfahrungen über Modellierung und Simulation von Speicheröfen zu sammeln
- Es soll so weit als möglich auf bestehende Komponenten zurückgegriffen werden
- Überprüfung der Sicherheitsanforderungen der einfachen hydraulischen Einbindung
- Minergie-taugliches Heizsystem

2.3 Projektorganisation

Am Projekt waren folgende Institutionen beteiligt:

- Hochschule für Technik+Architektur (HTA) Luzern, Fachhochschule Zentralschweiz, Abt. HLK, 6048 Horw
- Ökozentrum Langenbruck (ÖZL), 4438 Langenbruck
- Chiquet Energietechnik AG, 4466 Ormalingen
- Spiess Ofentechnik AG, 8308 Illnau
- Tonwerk Lausen AG, 4415 Lausen

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt. Die HTA Luzern leitete das Projekt und bearbeitete die Themen Modellierung, Simulation und hydraulische Einbindung. Weiter hat die HTA Luzern Experimente zum Thema Sicherheit durchgeführt. Das ÖZL führte die Leistungsmessungen durch. Die beteiligten Firmen stellten das Funktionsmuster sowie einen Prototypen her und haben die Aggregate für die Messungen aufgebaut. Das Projekt dauerte vom März 2001 bis März 2002.

3 Objekt und Methode

3.1 Untersuchte Ofenbauart

Der Kern des Ofens bildet die Feuerung mit nachgesetztem, rauchgasbeheiztem Feststoffspeicherblock. Diese Einheit wird von einem Wasserabsorber umschlossen. Ist der Wasserdurchfluss gross, wird viel Wärme abgeführt und wenig Direktwärme wird frei. Ist der Durchsatz klein oder Null, erwärmt sich die Ofenoberfläche und Direktwärme wird an den Raum abgegeben.

Von der nutzbaren Wärme sollen normalerweise 50 bis 80% über das Wasser abgeführt werden.

Der Feuerraum ist für eine Charge von etwa 5-8 kg Stückholz ausgelegt. Die Durchbrandfeuerung hat eine Brenndauer von ca. zwei Stunden. Eine Sichtglastüre mit reduziertem Durchgang für Wärmestrahlung deckt das Bedürfnis nach der Feuerromantik. Die Rauchgastemperatur liegt unter 200°C. Der Ofenwirkungsgrad erreicht 80%. Die primäre Speicherung erfolgt je nach Nennleistung in rund 100 bis 500 kg Feuerfest-Steinen.

Der Absorber ist ähnlich konstruiert wie die Absorber von Sonnenkollektoren. Auf einem Kupferblech sind Kupferrohre hart aufgelötet.

Je nach Situation reicht der Feststoffspeicher für den Betrieb aus. In bestimmten Fällen kann aber ein kleiner Wasserspeicher von Vorteil sein. Das Konzept eignet sich vorzüglich für eine Kombination mit einer Kompaktsolaranlage.

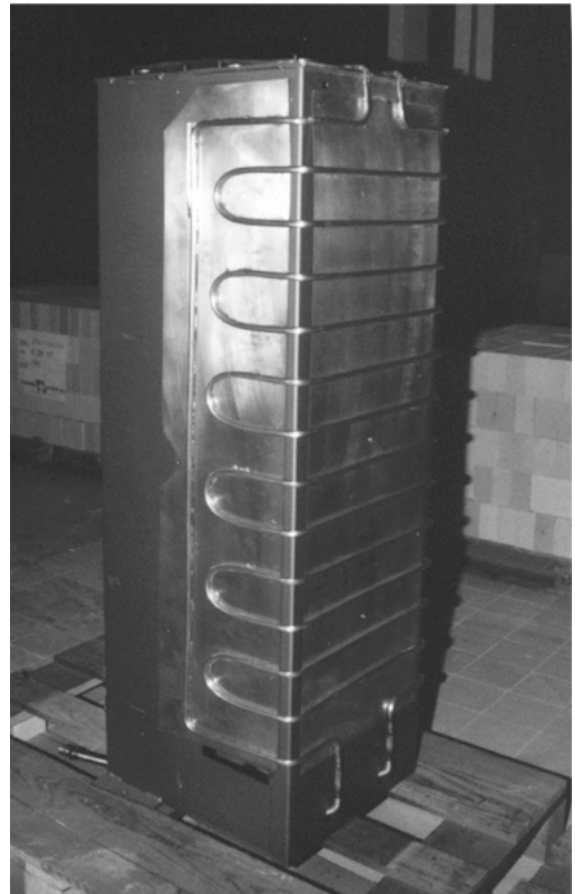
Es ist die Aufgabe der Steuerung, die Anlage im optimalen Betriebspunkt arbeiten zu lassen, um die Energie vom Feststoffspeicher effizient und dem Bedarf entsprechend zu verteilen.

Gegenüber klassischen Wasserregistern erlauben die druckfesten Absorber eine deutlich einfachere hydraulische Einbindung. Das Sicherheitskonzept ist ähnlich wie bei Solaranlagen (s. dazu Kapitel 6). Dadurch entfallen die thermische Ablaufsicherung und das Sicherheitsventil am Ofenregister.

Die Figuren 2 und 3 zeigen Beispiele der untersuchten Ofenbauart.



Figur 2: Ofentyp *Cubolino plus*, Spiess Ofentechnik AG;
Absorber: Chiquet Energietechnik AG



Figur 3: Ofentyp *T-LOFTPLUS*,
Tonwerk Lausen AG

3.2 Methode

Die Charakteristik der Wärmeabgabe wurde an einem Funktionsmuster experimentell untersucht.

Mit Hilfe des Programms *IDA* wurde ein theoretisches Simulationsmodell gebildet. Das Modell wurde anhand der Messergebnisse verifiziert. In Simulationsberechnungen wurden Konstruktions- und Betriebsparameter variiert.

In einer zweiten Messung wurde ein realer Ofen untersucht. Ein handelsüblicher Ofen vom Typ ‚Cubolino plus‘ der Firma Spiess Ofentechnik AG, Illnau wurde mit einem Absorber der Firma Chiquet Energietechnik AG, Ormalingen verkleidet (Figur 2).

Für die hydraulische Einbindung und die sicherheitstechnischen Einrichtungen wurden Vorschläge für drei Standardlösungen erstellt. An einer Demonstrationsanlage mit dem Ofentyp ‚T-LOFTPLUS‘ des Tonwerk Lausen AG (Figur 3) wurden einfache Sicherheitsversuche durchgeführt.

4 Leistungsmessungen

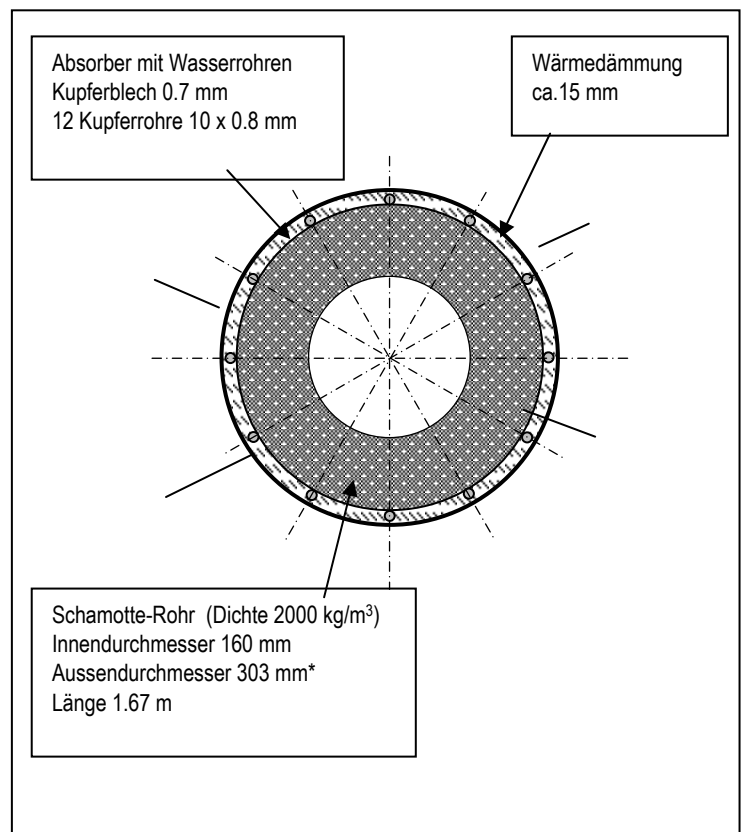
Die Leistungsmessungen wurden im Kalorimeterraum des Ökozentrum Langenbruck (ÖZL) durchgeführt. Sie sind in einem separaten Messbericht dokumentiert [1]. Der Sinn und Zweck dieser Messungen war es, Daten für das Berechnungsmodell und für die Verifizierung der Simulationsresultate zu erhalten.

Die Resultate dieser Messungen werden in diesem Bericht zusammen mit dem Berechnungsmodell und den Simulationsresultaten (Kapitel 5) diskutiert.

Zuerst wurde ein elektrisch beheiztes Funktionsmuster (Figur 4) messtechnisch untersucht. Damit konnte die Betriebscharakteristik einer Ofenwand mit Wasserabsorber untersucht werden (ohne Einflüsse von anderen Komponenten). Das Funktionsmuster bestand aus einem Schamottezylinder, der von einem Kupferabsorber umgeben war. Für die Messungen wurde noch eine Wärmedämmung (15 mm Armaflex) angebracht.



Figur 4: Funktionsmuster, ohne Wärmedämmung

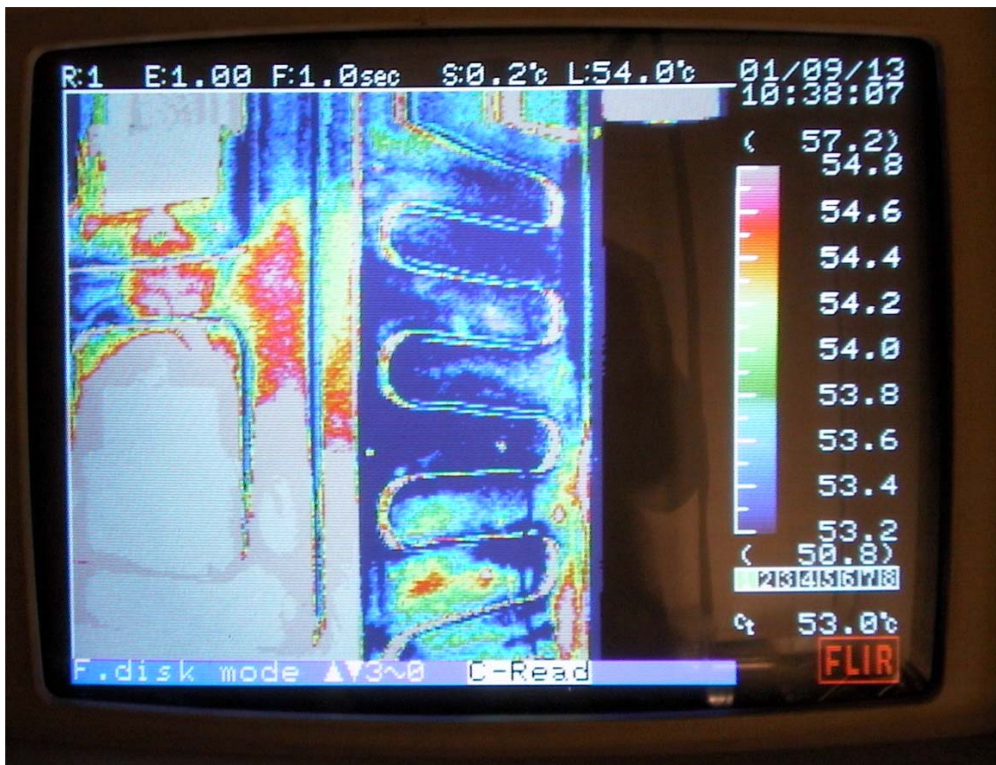


Figur 5: Skizze Funktionsmuster (Querschnitt)

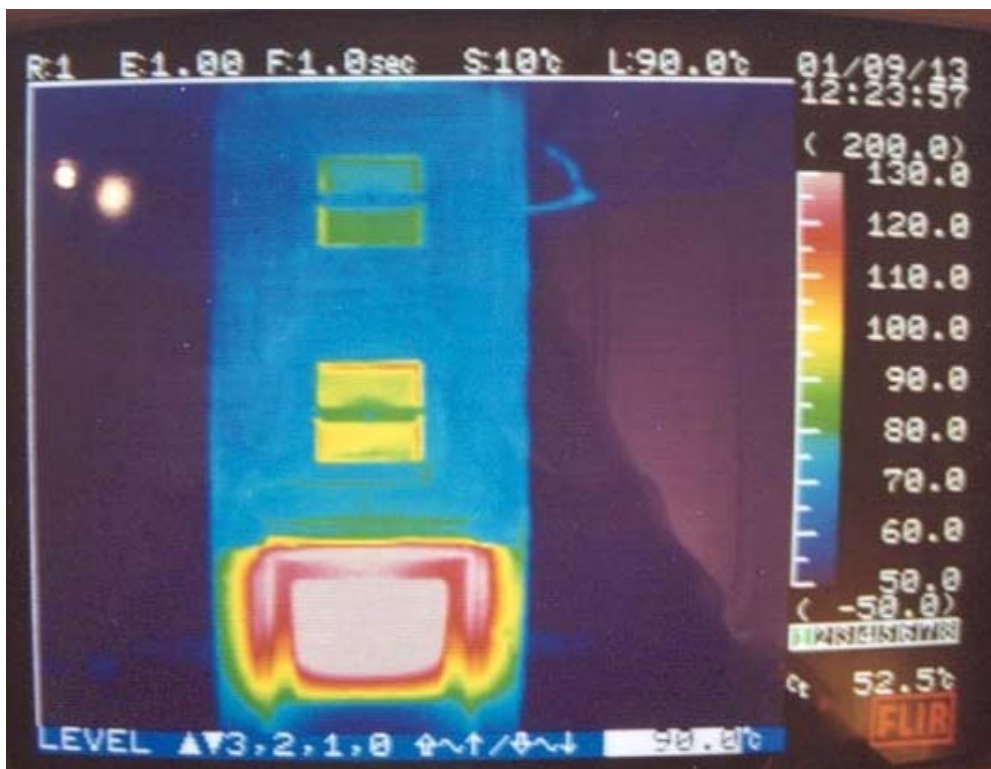
Im Weiteren wurden Leistungsmessungen bei einem realen Holzofen mit rund 6 kW Nennleistung durchgeführt (*Cubolino plus*, s. Figur 2). Eine äussere Verkleidung (zwischen Absorber und Raum) wurde nicht angebracht, damit die Temperaturen am Absorberblech besser erfasst werden konnten.

Zusätzlich zu den Messungen des ÖZL wurden Infrarotbilder aufgenommen. Es hat sich gezeigt, dass die Temperaturen des Kupferbleches recht homogen sind (s. Figur 6). Das heisst, dass die Blechtemperatur unmittelbar beim Rohr nur um ein bis zwei Kelvin tiefer ist, als zwischen zwei Rohren. Es ist zu beachten, dass die dargestellte Temperaturskala (von dunkelblau bis rot) in Figur 6 einen Bereich von nur 1.5 K hat. Mit einer äusseren Verkleidung würde der Temperaturgradient auf dem Kupferblech noch kleiner.

Figur 7 gibt Hinweise darauf, dass auch bei einem Absorberofen ein beachtlicher Teil der Wärme über die Feuer-raumtür und Reinigungsöffnungen abgegeben wird. Diese Teile (die nicht Gegenstand dieses Projektes waren) lassen sich nicht mit Absorbieren abdecken. Die roten und hellen Zonen im Bild sind heiss und geben daher mehr Wärme pro Flächeneinheit ab als die blauen. Bei Figur 7 ist zu beachten, dass die Temperaturdifferenz zwischen dunkelblau und rot 70 K beträgt.



Figur 6: Infrarotaufnahme des Absorbers auf dem Ofen *Cubolino plus*



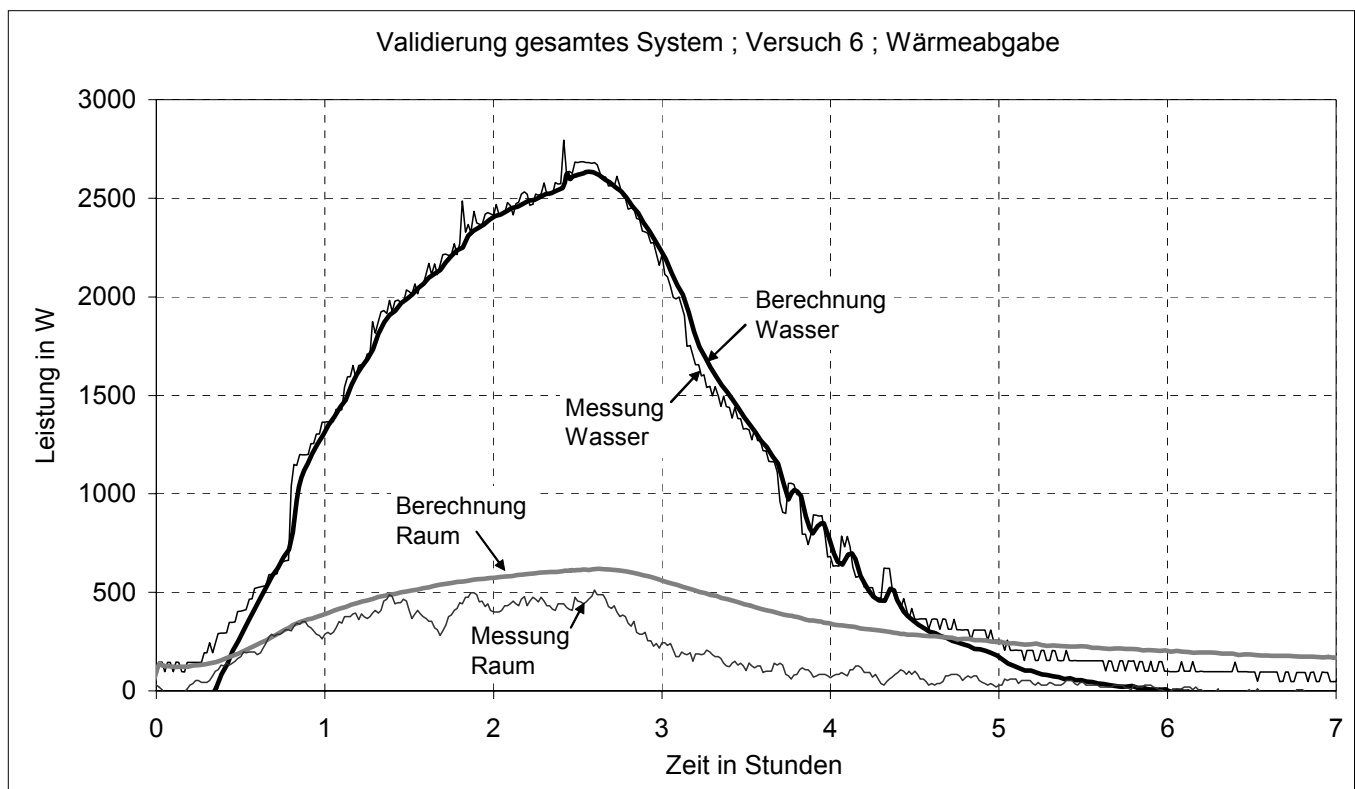
Figur 7: Infrarotaufnahme der Front des Ofens *Cubolino plus* kurz nach Abbrandende

5 Berechnungsmodell und Simulationsresultate

Das Berechnungsmodell und die Simulationsresultate sind in einem separaten Bericht dokumentiert [2]. Hier werden die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert.

5.1 Berechnungsmodell und Validierung

Mit Hilfe des Simulationsprogramms *IDA* wurde die Wärmeabgabe von Ofenwänden mit Wasserabsorbern berechnet. Die Resultate konnten mit den Messungen (vor allem vom Funktionsmuster) validiert werden. Figur 8 gibt einen Eindruck über die Übereinstimmung von Messung und Berechnung. Bei der Wärmeabgabe an das Wasser wurde eine sehr gute Übereinstimmung erreicht. Bei der Wärmeabgabe an den Raum sind Abweichungen bis zu 200 W vorhanden. Die berechnete Wärmeabgabe an den Raum ist in diesem Beispiel mindestens so plausibel, wie die gemessenen Werte, da die (nicht dargestellte) Oberflächentemperatur sich zwischen der Stunde 2 und 4 nicht wesentlich geändert hat.



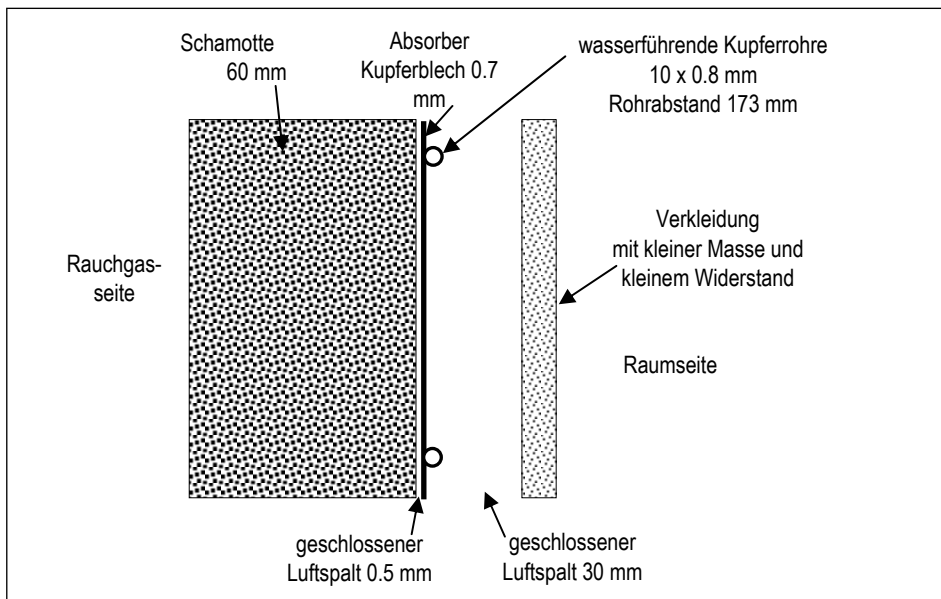
Figur 8: Vergleich von Messung und Berechnung beim Funktionsmuster

5.2 Basis-Variante der Simulationsberechnungen

Nach der Validierung am Funktionsmuster wurden die Parameter so angepasst, dass sie der Wandkonstruktion des *Cubolino plus* (Figur 2) entsprechen. Gegenüber Figur 2 wird der Ofen in der Praxis eine Verkleidung haben. Figur 9 zeigt die Basis-Variante, die den Berechnungen zu Grunde liegt.

Neben den in Figur 9 dargestellten Parametern ist die Basis-Variante wie folgt definiert:

- Alle 12 Stunden wird einfeuert. Die Abbrandzeit beträgt 1.5 h. Die Rauchgastemperatur liegt während dem Abbrand bei 620°C.
- Die Wasseraustrittstemperatur aus dem Absorber wird auf eine konstante Temperatur geregelt. Wenn die Absorbertemperatur (vgl. z.B. Fühler T2 im Schema Figur 19) über dem Sollwert der Wasseraustrittstemperatur liegt, wird die Pumpe eingeschaltet. Bei eingeschalteter Pumpe ist Wasserdurchfluss durch die Rohre konstant. Das heisst, die Austrittstemperatur wird mit einer Beimischschaltung geregelt.
- Alle Absorberrohre sind in Serie geschaltet



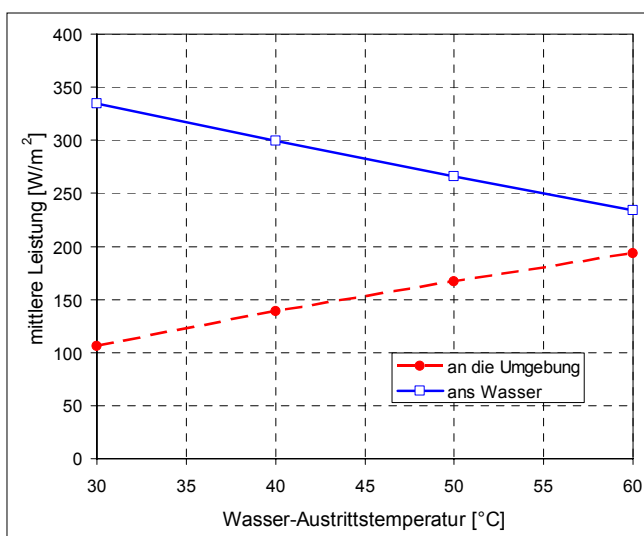
Figur 9: Konstruktion der Basisvariante

5.3 Einfluss von Konstruktions- und Betriebsparametern

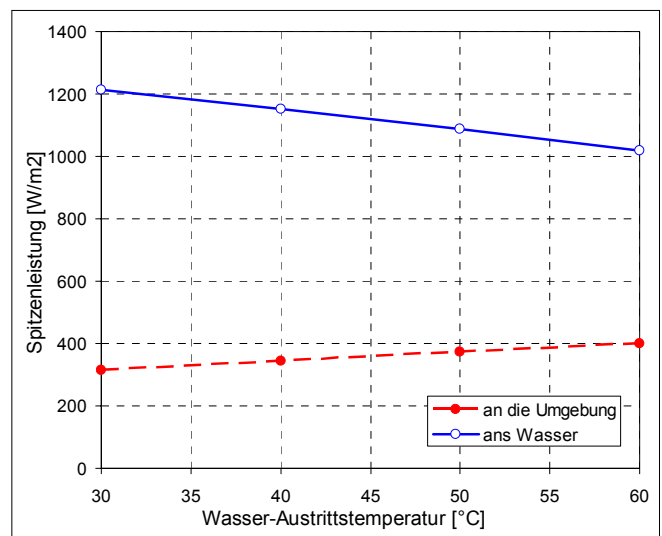
Es wird angestrebt einen Ofen zu bauen, der bis zu 80% der nutzbaren Wärme an das Wasser abgeben kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Ofenflächen mit Absorbern bestückt werden können (z.B. Feuer-raumtür). In weiteren Berechnungen wurden gegenüber der Basis-Variante verschiedene Konstruktions- und Betriebsparameter geändert. In Figur 17 sind die verschiedenen Einflüsse auf die mittlere Leistung zusammenfassend dargestellt.

5.3.1 Wassertemperatur

Als Resultat interessiert vor allem die Leistungsabgabe an den Raum (Umgebung) und ins Wasser, wobei es einen Unterschied ausmacht, ob die Spitzenleistung oder die mittlere Leistung über einen Tag betrachtet wird. Aus den Simulationsberechnungen wurden folgende Übersichtgrafiken generiert:



Figur 10: Mittlere Leistung über 24 h der Basis-Variante



Figur 11: Spitzenleistung der Basis-Variante

Die Wärmeabgabe an die Umgebung nimmt mit zunehmender Wassertemperatur zu, da die Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Raum steigt (höhere Oberflächentemperatur). Als Folge davon muss die Wärmeabgabe an das Wasser abnehmen. Im untersuchten Bereich verhalten sich beide Anteile praktisch linear. Die Summe beider Wärmeflüsse bleibt ungefähr konstant, das heisst der Wirkungsgrad ändert sich im untersuchten Bereich

kaum. Figur 10 zeigt deutlich, dass die Wärmeenergieaufteilung an Umgebung und Wasser stark von der Wassertemperatur abhängt. Bei einer Wasseraustrittstemperatur von 60°C wird 55% der nutzbaren Wärme über das Wasser abgeführt, bei einer Wasseraustrittstemperatur von 30°C sind es 76%.

5.3.2 Rohrabstand

Bei einer Reduktion des Rohrabstandes von 173 mm auf 69 mm nimmt die Wärmeabgabe an das Wasser deutlich zu. Bei einer Wassertemperatur von 45°C steigt der relative Anteil von 65% auf 75%.

In der Basis-Variante wurde ein eher grosser Rohrabstand eingesetzt. Bei standardisierten Absorbern (aus der Sonnenkollektoren-Produktion) liegt der Rohrabstand bei 80 mm. Die Berechnungen zeigen, dass bei der gewählten Ofenkonstruktion ein Abstand von 80 mm zu bevorzugen wäre.

5.3.3 Wärmedurchgangswiderstand zwischen Absorber und Verkleidung

Ohne Luftspalt zwischen Absorber und raumseitiger Verkleidung würde nur noch 39% der nutzbaren Wärme ans Wasser abgegeben (bei einer Wasseraustrittstemperatur von 45°C).

Der Luftspalt ist ein Wärmewiderstand vom Absorber gegen den Raum (Umgebung). Ohne Luftspalt sinkt dieser Widerstand und ein grösserer Teil der Wärme fliesst an den Raum. Anstelle des Luftspalts könnte eine Schicht mit Wärmedämmung eingefügt werden. Damit würde der erwähnte Widerstand steigen und die Wärmeabgabe an den Raum sinken. Aus sicherheitstechnischen Überlegungen ist es von Vorteil, dass der Widerstand nicht zu gross ist. Bei unsachgemäsem Betrieb des Ofens soll die Absorberrtemperatur nicht so hoch werden, dass Materialschäden auftreten können (vergleiche Kapitel 6.2).

5.3.4 Schaltung der Absorberrohre

Die Art der Schaltung der Absorberrohre wirkt sich nur in einem Bereich von 1 bis 2% auf die Leistungsverteilung auf Wasser und Umgebung aus.

Der Einfluss der hydraulischen Schaltung der Absorberrohre ist gering. Es spielt aus Sicht der Wärmeaufteilung eine untergeordnete Rolle, ob die Rohre in Serie oder parallel geschaltet sind. Der Unterschied in der Simulation lässt sich damit begründen, dass bei gleicher Wasseraustrittstemperatur die mittlere Absorberrtemperatur bei serieller Schaltung geringfügig tiefer ist als bei paralleler Schaltung. Für die Wahl der Rohrschaltung sollte der angestrebte Druckverlust massgebend sein.

5.3.5 Anzahl Abbrände

Je kürzer der Feuerungsintervall ist, desto grösser ist der prozentuale Anteil der über das Wasser abgeführten Wärme. Bei einem täglichen Abbrand, wird 58% der nutzbaren Wärme ins Wasser abgegeben, bei drei Abbränden sind es 70% (bei einer Wasseraustrittstemperatur von 45°C).

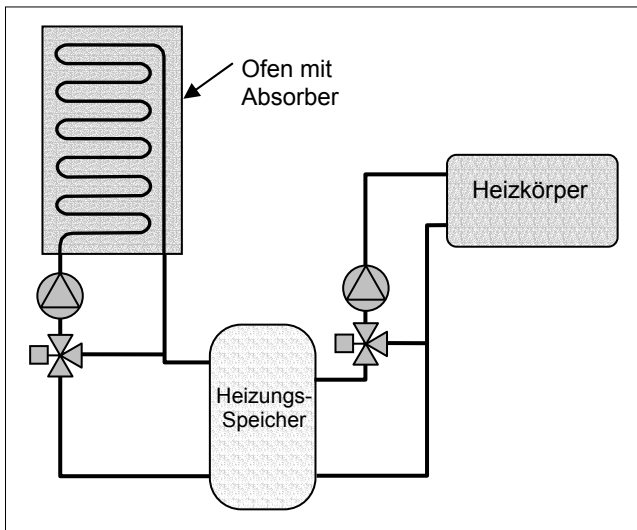
5.3.6 Regelung der Wassertemperatur und hydraulische Einbindung

Geregelte Wassertemperatur

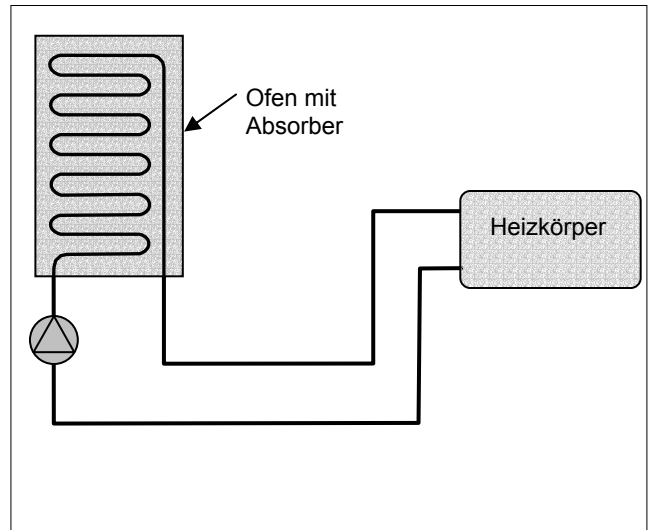
In der Basis-Variante wird von einer geregelten Wasseraustrittstemperatur ausgegangen. Damit die Spitzenleistung gepuffert werden kann, muss in der Heizungsanlage ein Speicher vorhanden sein. Figur 12 zeigt schematisch das Prinzip einer solchen Anlage. Die sicherheitstechnischen Einrichtungen sind in der Skizze nicht eingetragen (siehe dazu Kapitel 6.1).

Mit dem Mischventil beim Absorber wird eine konstante Wasseraustrittstemperatur geregelt. Das Mischventil im Heizkörperkreislauf regelt die Vorlauftemperatur und ist dann notwendig, wenn gleichzeitig eine Solaranlage vorhanden ist und der Heizungsspeicher mit einem Warmwasserspeicher kombiniert ist. Weiter soll die Vorlauftemperatur bei Fussbodenheizungen geregelt werden, da sonst die Raumtemperatur wegen der grossen Zeitverschiebung zwischen Wärmeeintrag und Wärmeabgabe kaum kontrollierbar ist. Zudem ist bei Fussbodenheizung die maximal zulässige Vorlauftemperatur zu beachten.

Der Speicher muss genügend gross bemessen sein, um die Leistungsspitze des Absorberofens aufzunehmen.



Figur 12: Hydraulische Schaltung für geregelte Wassertemperatur

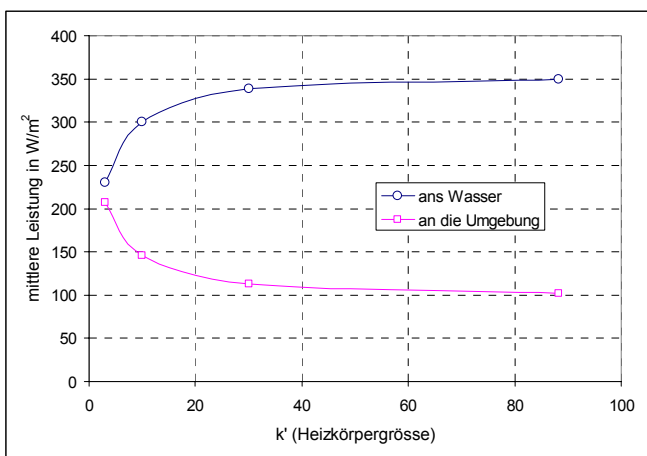


Figur 13: Hydraulische Schaltung für unregelte Wassertemperatur

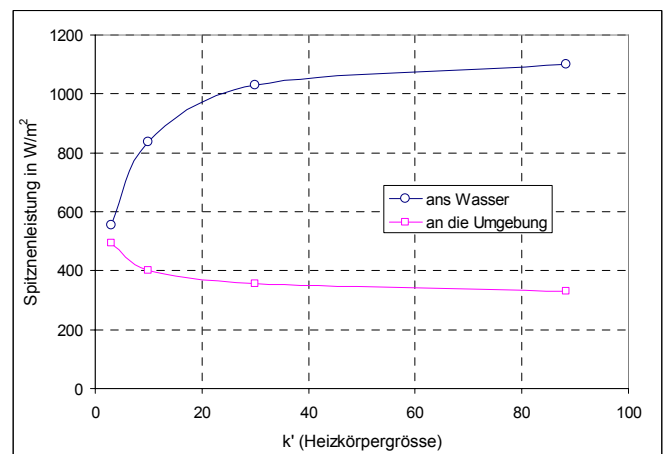
Ungeregelte Wassertemperatur

Die zweite Variante ist ein einfacher Kreislauf, bei dem der Absorber mit einigen wenigen Heizkörpern verbunden ist. Diese Lösung ist in Figur 13 dargestellt. Die Pumpe schaltet ein, sobald die Absorbertemperatur geringfügig (1 bis 2 K) über der Raumtemperatur liegt. Neben dieser Pumpensteuerung ist keine zusätzliche Regelung vorhanden. Es stellt sich eine Wassertemperatur ein, die vom Ofenzustand (Funktion von Konstruktion, Betriebsweise und Zeit) und den Heizkörpern (vor allem Grösse der Oberfläche, aber auch Konstruktion) abhängig ist. Da im unregelmässigen Fall kein Speicher vorhanden ist, erreicht die Wassertemperatur kurz nach Abbrandende ein Maximum und sinkt nachher asymptotisch gegen die Raumtemperatur.

Die Figuren 14 und 15 zeigen die Leistung in Abhängigkeit der Heizkörpergrösse. Da die Heizkörpergrösse nicht direkt (z.B. in m²) definiert werden kann, wird die Hilfsgrösse k' eingeführt.



Figur 14: Mittlere Leistung bei unregelmässiger Temperatur



Figur 15: Spitzenleistung bei unregelmässiger Temperatur

Der Parameter k' in den Figuren 14 und 15 ist wie folgt definiert:

$$\dot{Q} = k' \cdot A \cdot \Delta \vartheta_m^{1.2} \quad (\text{Gleichung 1})$$

wobei $\dot{Q}$ die ans Wasser abgegebene Leistung in W ist. A ist die Absorberfläche in m². $\Delta \vartheta_m$ bedeutet die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz zwischen Heizkörper und Raumluft in K. Der Exponent 1.2 ist ein mittlerer Wert für Heizwände und Radiatoren.

k' ist ein Kennwert für die spezifische Grösse der Heizfläche (im Verhältnis zur Absorberfläche) und hat die Einheit $W/m^2/K^{1.2}$. Es ist zu beachten, dass sich k' auf $1 m^2$ Absorberfläche bezieht und nicht auf die Heizkörperfläche.

Die folgende Tabelle zeigt Beispiele für Vor- und Rücklauftemperaturen, die sich gemäss Figuren 14 und 15 sowie Gleichung 1 einstellen (Raumtemperatur $20^\circ C$). Der Wasserdurchfluss ist bei jeweils einem k' -Wert bei der mittleren Leistung und bei der Spitzenleistung gleich gross (mit steigenden k' -Werten ist aber ein steigender Wasserdurchfluss eingesetzt).

k' in $W/m^2/K^{1.2}$	bei mittlerer Leistung		bei Spitzenleistung	
	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf
3	$60.8^\circ C$	$54.6^\circ C$	$105^\circ C$	$90^\circ C$
10	$40.3^\circ C$	$36.0^\circ C$	$66.3^\circ C$	$54.3^\circ C$
30	$29.4^\circ C$	$26.1^\circ C$	$44.5^\circ C$	$34.5^\circ C$
88	$24.6^\circ C$	$22.1^\circ C$	$32.8^\circ C$	$24.8^\circ C$

Tabelle 1: Beispiele für sich einstellende Vor- und Rücklauftemperaturen bei unregelmäßigem Betrieb (Ofen gemäss Basis-Variante)

Vergleich der beiden Anlagentypen an einem Beispiel

Es wird davon ausgegangen, dass ein Ofen wie in der Basis-Variante vorhanden ist. Die Absorberfläche ist $3 m^2$ gross.

Anlage mit geregelter Temperatur:

Die Wasseraustrittstemperatur aus dem Absorber wird konstant auf $45^\circ C$ geregelt. Gemäss Figur 10 ist die mittlere an das Wasser abgegebene Leistung $850 W$ (bei $3 m^2$ Absorberfläche). An den Raum wird eine mittlere Leistung von $459 W$ abgegeben. Somit wird 65% der nutzbaren Wärme über das Wasser abgeführt.

Es wird angenommen, dass über die Heizkörper die gleiche Leistung abgeführt wird, wie die Absorberfläche ans Wasser abgibt. Die Heizkörper werden so ausgelegt, dass die Leistung von $850 W$ bei einer Vorlauftemperatur von $41^\circ C$ und einer Rücklauftemperatur von $36^\circ C$ abgegeben wird. Das heisst, der Speicher wird auf eine leicht höhere Temperatur geladen, als es die Vorlauftemperatur der Heizkörper erfordert (übliche Reserve für die Regelung). Der Wasserstrom im Heizkörperkreislauf beträgt $146 kg/h$.

Die Spitzenleistung, die der Ofen an das Wasser abgibt liegt bei $3450 W$ (s. Figur 11). Damit die Wasseraustrittstemperatur nicht über $45^\circ C$ steigt, muss der Wasserstrom durch den Absorber bei $330 kg/h$ liegen.

Anlage mit unregelmäßiger Temperatur:

Gemäss den oben definierten Angaben zu den Heizkörpern kann mit Gleichung (1) berechnet werden, dass der Wert $k' = 8.6 W/m^2/K^{1.2}$ beträgt.

Aus Figur 14 wird abgelesen, dass die mittlere Leistung an das Wasser bei $283 W/m^2$ liegt, bei einer Absorberfläche von $3 m^2$ sind dies rund $850 W$. Damit sind die mittlere Leistung sowie die mittleren Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkörper gleich wie im geregelten Fall. Es wird vorausgesetzt, dass der Wasserdurchfluss auch gleich ist wie bei geregelter Temperatur. Die mittlere Leistung an den Raum beträgt $475 W$. Somit wird 64% der nutzbaren Wärme über das Wasser abgeführt.

Mit Hilfe von Figur 15 wird die maximale Leistung von $2320 W$ bestimmt. Damit stellt sich eine maximale Vorlauftemperatur von rund $70^\circ C$ ein, die Rücklauftemperatur ist dabei $56^\circ C$.

Folgerungen:

Bei gleich grossen Heizkörpern sind die mittleren Leistungen bei geregelter und unregelmäßiger Wassertemperatur praktisch gleich.

Die Regelung der Wassertemperaturen (Absorberaustritt und Heizkörper) ist für eine reine Heizung nicht zwingend, sie erhöht aber den Komfort und erlaubt eine Kombination mit einer Solaranlage und Wassererwärmung.

Bei einer Kombination mit einer Solaranlage ist bei Speicherdimensionierung sowohl der Energieeintrag der Solaranlage, wie auch die Wärme aus dem Ofen zu berücksichtigen.

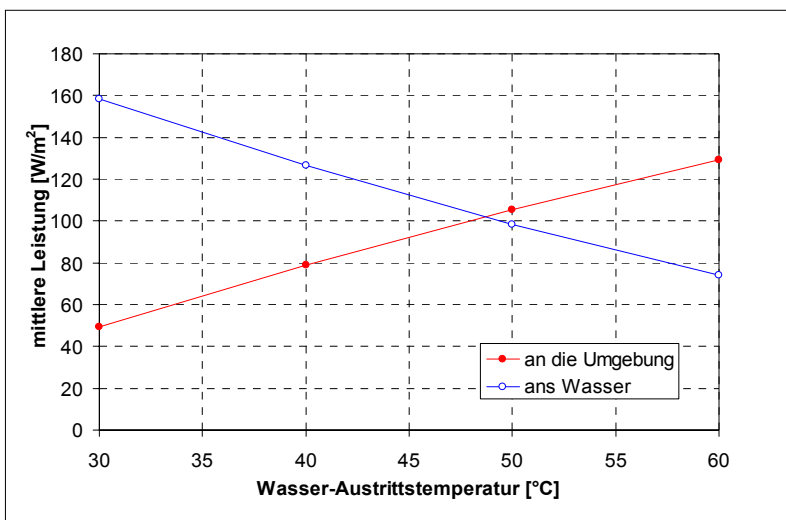
5.3.7 Ofenkonstruktion und Grösse

Um den Einfluss der Ofenkonstruktion auf das Wärmeabgabeverhalten zu untersuchen, wurden die Berechnungsergebnisse der Basis-Variante mit denjenigen des kleineren Ofens T-LOFTPLUS (Figur 3) verglichen.

Die Hauptunterschiede des kleineren Ofens im Vergleich zum grösseren sind:

- kleinere Heizleistung. Das Abbrandprofil wurde wie folgt angepasst: Gleiche Rauchgastemperatur aber kleinerer Luftvolumenstrom, so dass die mittlere Geschwindigkeit im Rauchgaszug gleich ist wie beim grösseren Ofen.
- kleinere Abmessungen
- an Stelle von 6 cm Schamottstein wird 3 cm Schamottstein und 3 cm Vermiculit (stärker wärmedämmend, weniger wärmespeichernd) verwendet

In Figur 16 ist die mittlere Leistung dieser Variante dargestellt.



Figur 16: Mittlere Leistung eines kleineren Ofens

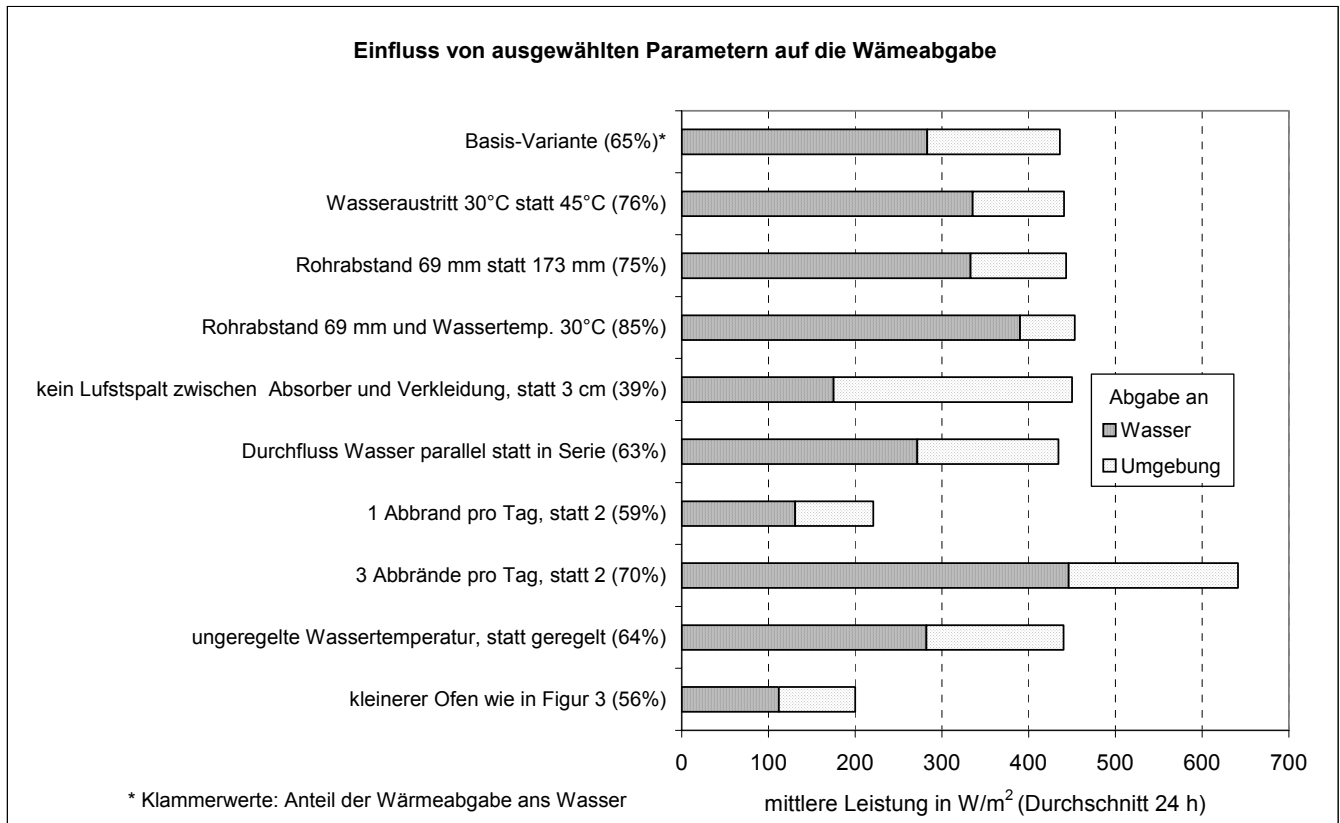
Fazit:

Der kleinere Ofen gibt auch bezogen auf die Ofen-Aussenfläche (d.h. pro m² Absorber) weniger Wärme ab. Auf Grund der kleineren Oberflächentemperaturen gibt er prozentual mehr an die Umgebung ab als der Grössere.

Der kleinere Ofen hat einen komplexen Aufbau mit mehreren Wand- und Absorbertypen sowie einer aussergewöhnlichen Zugführung. Mit dem hier verwendeten Modell kann dieser Ofen nicht genügend genau nachgebildet werden.

5.3.8 Zusammenstellung der Resultate der Parametervariation

Zusätzlich zu den in Abschnitt 5.2 definierten Parametern hat die Basis-Variante im folgenden Diagramm eine Wasseraustrittstemperatur von 45°C. Figur 17 fasst den Einfluss von verschiedenen ausgewählten Parametern zusammen. Gegenüber der Basis-Variante wurden jeweils nur die erwähnten Parameter geändert.



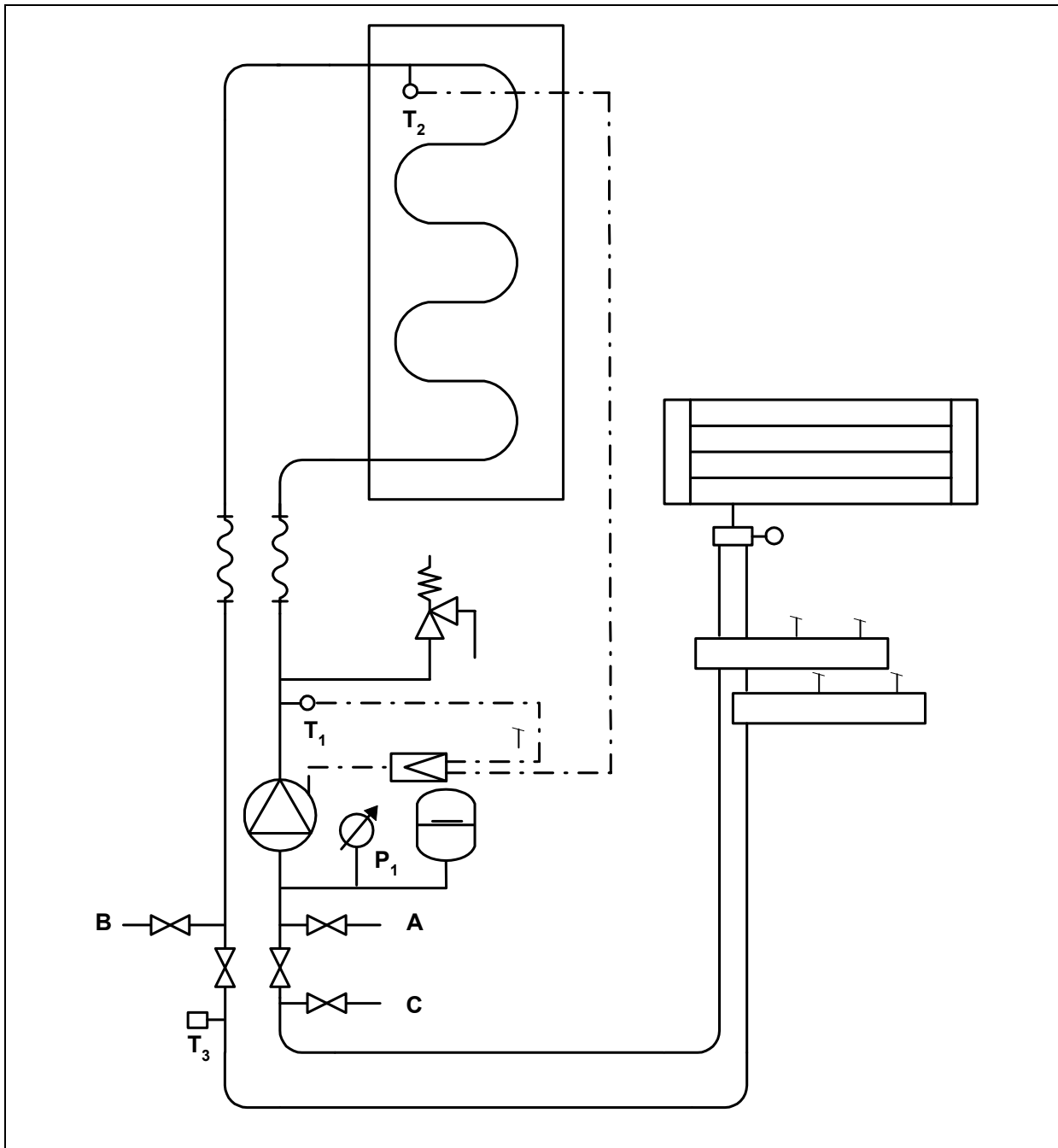
Figur 17: Einflüsse von verschiedenen Parametern auf die Wärmeabgabe

6 Hydraulische Einbindung und Sicherheit

6.1 Hydraulische Schaltungen für Absorberöfen

Für Standardsituationen werden mögliche hydraulische Schaltungen für Absorberöfen aufgezeigt und die sicherheitstechnischen Aspekte beschrieben [3].

6.1.1 Neubau mit ungeregelter Wärmeabgabe



Figur 18: Hydraulische Schaltung Neubau mit ungeregelter Wärmeabgabe.

Druckverhältnisse nach SWKI 93-1 [4]

- Prüfdruck Absorberofen (empfohlen ≥ 6 bar)
- Ansprechdruck Sicherheitsventil (in der Regel 3 bar)
- Arbeitsdruck (in der Regel ≤ 2.3 bar)

Dimensionierung des Ausdehnungsgefässes nach SWKI 93-1, ergänzt*

*Die Ergänzungen berücksichtigen die Erfahrungen aus dem Betrieb von Solaranlagen: Falls das Ausdehnungsgefäss den Wasserinhalt der Absorber-Rohrschlagen aufnehmen kann, entsteht kein zu hoher Druck in der Anlage. Auch beim Ausfall der Wasserzirkulation nimmt der Wasserdampf im Absorber zwar hohe Überhitzungstemperaturen an, aber wegen der kleinen Berührungsfläche zwischen Dampf und Wasser entstehen keine hohen Sättigungsdrücke (siehe [3]).

$$V_N = (V_A * f + V_D) * X$$

- V_N : Ausdehnungsvolumen (m³)
- V_A : Wasserinhalt der kalten Heizungsanlage (m³)
- f : Thermischer Ausdehnungsfaktor
- V_D : Durch Dampf verdrängtes Volumen aus dem Absorberofen
- X : Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Unsicherheit bei der Bestimmung von V_A und unvermeidlicher kleiner Wasserverluste.

Füllen - Entleeren – Belüften

Das Wasserregister des Absorberofens soll über das Ventil A (Figur 18) gefüllt werden. Die Entlüftung erfolgt über das Ventil B. Über Ventile A oder B, eine von beiden als Belüftung beim Entleeren, findet die Entleerung des Absorberofens und des dazugehörigen Anlageteils statt. Die Heizungsanlage wird über das Ventil C entleert.

Pumpenaustausch

Durch den kleinen Inhalt des Absorberregisters ist eine Entleerung bei einem Pumpenaustausch unproblematisch.

Anordnung von Komponenten

Die Pumpe soll aus Schutzgründen (wegen des hohen Temperaturniveaus im Vorlauf) im Rücklauf platziert werden. Dies hat zudem den Vorteil, dass der hohe Druckverlust im Absorberregister (kleinen Rohrquerschnitte) auf der Druckseite der Pumpe liegt. Das Ausdehnungsgefäss soll in Strömungsrichtung vor der Pumpe angeschlossen werden, somit wird die Kavitationsgefahr erheblich gemindert. Es dürfen wie üblich keine Absperrungen zwischen Ausdehnungsgefäss und Absorberofen eingebaut werden. Durch den richtigen Anschluss des Ausdehnungsgefässes muss verhindert werden, dass es durch höhere Wassertemperaturen als 40°C beaufschlagt wird (siehe Figur 5-1, SWKI 93-1). Flexible Anschlüsse am Absorberofen vermindern bei Druckschlägen die Übertragung von Geräuschen in die Anlage.

Steuerung – Regelung - Sicherheitstechnik

Die Temperatur im Heizungskreislauf ist ungeregelt, dass heisst es stellt sich eine Gleichgewichtstemperatur im Wasser ein, die von der Ofenkonstruktion und der Heizkörpergrösse abhängig ist.

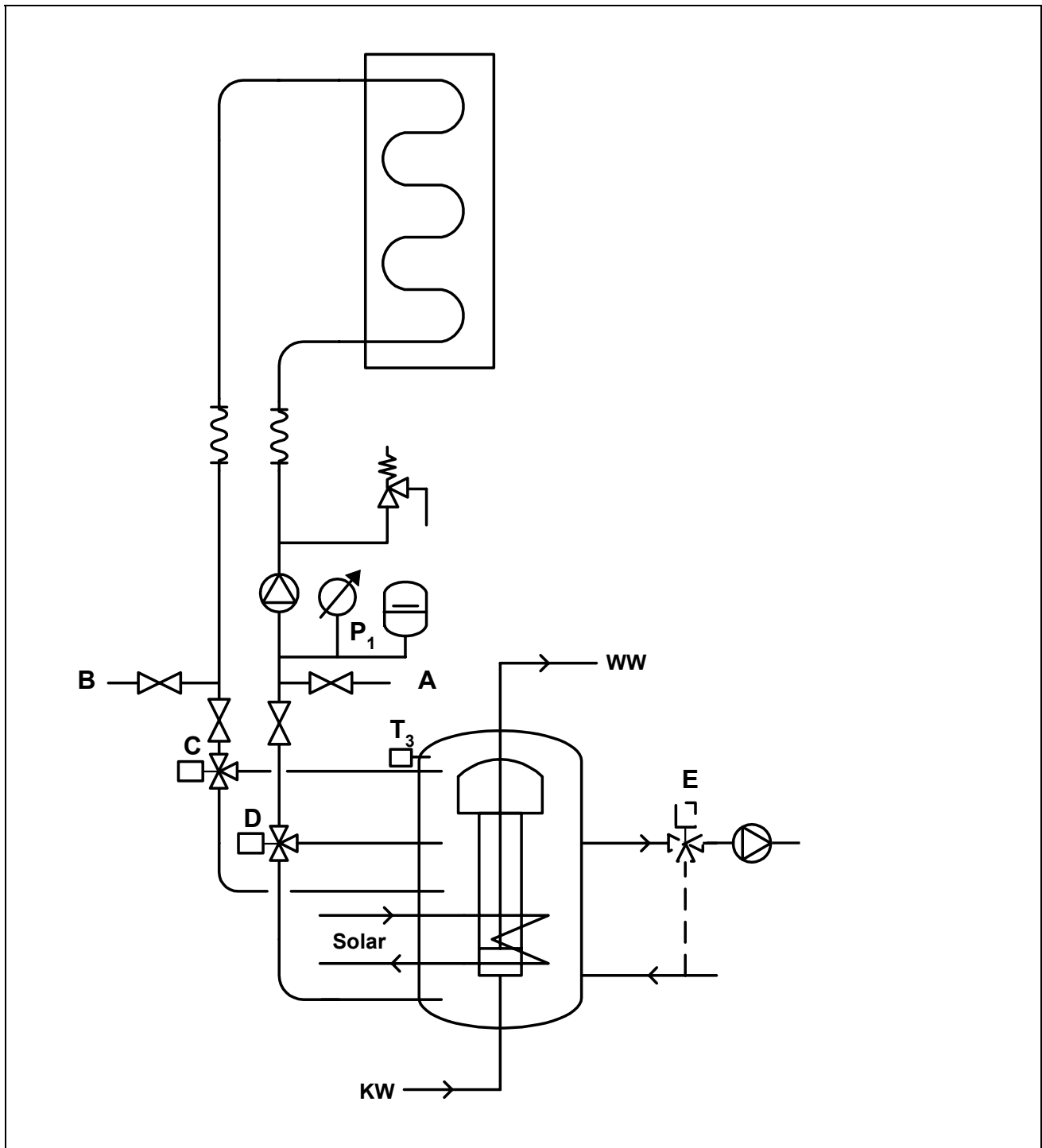
Wenn die Absorbertemperatur den Einschalt-Sollwert (z.B. 30°C) erreicht, dann wird die Heizungspumpe eingeschaltet. Wenn der Ausschalt-Sollwert (z.B. 25°C) unterschritten ist, schaltet die Pumpe aus. Die Temperaturdifferenz $T_2 - T_1$ kann zur Stufenschaltung der Pumpe benutzt werden.

Wenn die Heizkörper mit Thermostatventilen ausgerüstet werden, ist durch geeignete Massnahmen (Überströmventil, Einrohrschaltung, geregelte Pumpe, etc.) dafür zu sorgen, dass wegen des relativ grossen Förderdrucks keine Geräusche an den Thermostatventilen entstehen.

Im Vorlauf des Heizungskreises wird ein Temperaturwächter eingebaut (T3). Wenn die Vorlauftemperatur den Grenzwert (z.B. 90°C) übersteigt, wird die Pumpe ausgeschaltet. Dieser Thermostat verhindert, dass der gesamte Heizungskreislauf auf eine nicht akzeptable Temperatur erhitzt wird. Der Thermostat spricht an, wenn über die Heizkörper keine Wärme abgegeben werden kann (z.B. überwiegend geschlossene Thermostatventile).

Ebenso ist sicherzustellen, dass die in der Raumheizung eingesetzten Materialien nicht thermisch überbeansprucht werden. Dies könnte zum Beispiel vorkommen, wenn anstelle von Heizkörpern eine Bodenheizung eingesetzt wird.

6.1.2 Neubau mit Heizung und Brauchwarmwasser – Erwärmung



Figur 19: Neubau mit Heizung und Brauchwarmwasser - Erwärmung

Druckverhältnisse nach SWKI 93-1

- Prüfdruck Absorberofen (empfohlen ≥ 6 bar)
- Ansprechdruck Sicherheitsventil (in der Regel 3 bar)
- Arbeitsdruck (in der Regel ≤ 2.3 bar)

Dimensionierung des Ausdehnungsgefässes nach SWKI 93-1, ergänzt

$$V_N = (V_A * f + V_D) * X$$

- V_N : Ausdehnungsvolumen (m³)
- V_A : Wasserinhalt der kalten Heizungsanlage (m³)
- f : Thermischer Ausdehnungsfaktor
- V_D : Durch Dampf verdrängtes Volumen aus dem Absorberofen
- X : Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Unsicherheit bei der Bestimmung von V_A und unvermeidlicher kleiner Wasserverluste.

Füllen - Entleeren – Belüften

Das Wasserregister des Absorberofens soll über das Ventil A (Figur 19) gefüllt werden. Die Entlüftung wird über das Ventil B ermöglicht. Über Position A oder B, eine von beiden als Belüftung beim Entleeren, findet auch die Entleerung des dazugehörigen Anlageteils statt.

Pumpenaustausch

Durch den kleinen Inhalt des Absorberregisters ist eine Entleerung bei einem Pumpenaustausch unproblematisch.

Anordnung von Komponenten

Die Pumpe soll aus Schutzgründen wegen des hohen Temperaturniveaus (Dampf) im Rücklauf platziert werden. Dies hat zudem den Vorteil, dass der durch kleine Rohrquerschnitte im Absorberregister erhöhte Druckverlust auf der Druckseite der Pumpe liegt. Das Ausdehnungsgefäss soll in Strömungsrichtung vor der Pumpe angeschlossen werden, somit wird die Kavitationsgefahr erheblich gemindert. Es dürfen wie üblich keine Absperrungen zwischen Ausdehnungsgefäss und Absorberofen eingebaut werden. Flexible Anschlüsse am Absorberofen vermindern bei Druckschlägen die akustische Geräuschübertragung in die Anlage.

Steuerung – Regelung - Sicherheitstechnik

Ventile C, D, und E (Figur 19):

- C Nur Umschaltbetrieb
- D Umschaltbetrieb oder stetig geregelt
- E Regelung der Vorlauftemperatur

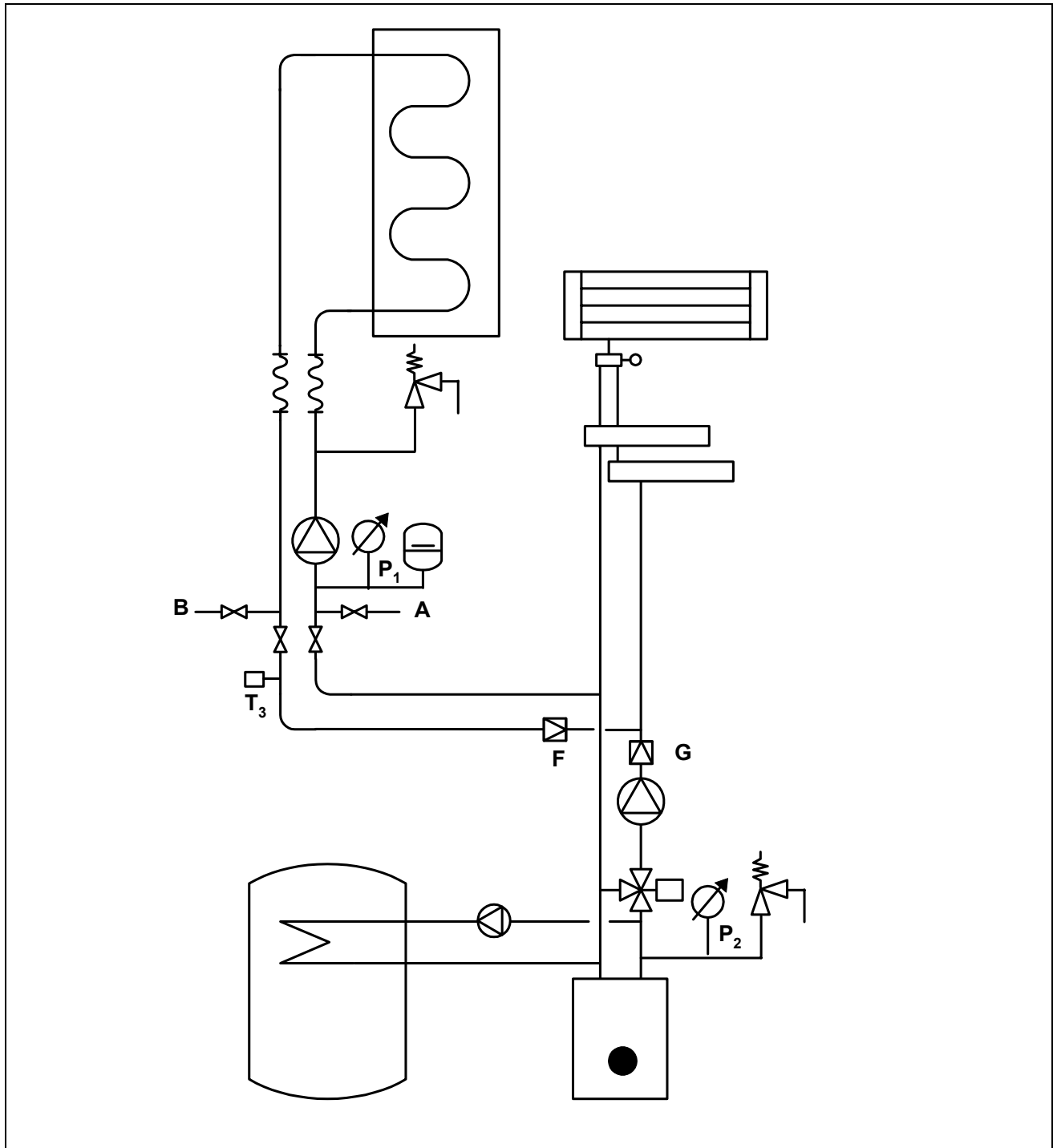
C und D in Durchgangsstellung: Der untere, kühle Teil des Heizungsspeichers wird geladen. Die direkte Wärmeabgabe des Absorbers an den Raum ist klein und die Wärmeabgabe an das Heizungswasser gross.

C und D in Bypassstellung: Der obere, wärmere Teil des Heizungsspeichers wird geladen. Die Wärmeabgabe an den Raum ist gross und die Wärmeabgabe an das Heizungswasser klein. Stellung für die prioritäre Brauchwarmwasser-Erwärmung.

Eine geregelte Vorlauftemperatur (Ventil E) soll unbedingt gewählt werden, wenn eine relative grosse Solaranlage vorhanden ist, d.h. wenn in der Übergangszeit der Speicher durch Sonnenenergie auf namhafte Temperaturen (z.B. über 60°C) erwärmt werden kann. Weiter ist eine geregelte Vorlauftemperatur bei Niedertemperaturheizungen (z.B. Bodenheizung) unbedingt zu empfehlen.

Im Speicher wird ein Temperaturwächter (T3) eingebaut. Wenn die Speichertemperatur den Grenzwert (z.B. 90°C) übersteigt, wird die Pumpe des Ofens ausgeschaltet. Der Sicherheitsthermostat verhindert, dass der gesamte Heizungskreislauf auf eine nicht akzeptable Temperatur erhitzt wird.

6.1.3 Bestehende Heizung durch Absorberofen ergänzt



Figur 20: Bestehende Heizung durch Absorberofen ergänzt

Druckverhältnisse nach SWKI 93-1

- Prüfdruck Absorberofen (empfohlen ≥ 6 bar)
- Ansprechdruck Sicherheitsventil (in der Regel 3 bar)
- Arbeitsdruck (in der Regel ≤ 2.3 bar)

Dimensionierung des Ausdehnungsgefäßes nach SWKI 93-1, ergänzt

$$V_N = (V_A * f + V_D) * X$$

- V_N : Ausdehnungsvolumen (m³)
- V_A : Wasserinhalt der kalten Heizungsanlage (m³)
- f : Thermischer Ausdehnungsfaktor
- V_D : Durch Dampf verdrängtes Volumen aus dem Absorberofen
- X : Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Unsicherheit bei der Bestimmung von V_A und unvermeidlicher kleiner Wasserverluste.

Füllen - Entleeren – Belüften

Das Wasserregister des Absorberofens soll über das Ventil A (Figur 20) gefüllt werden. Die Entlüftung wird über das Ventil B ermöglicht. Über Position A oder B, eine von beiden als Belüftung beim Entleeren, findet auch die Entleerung des dazugehörigen Anlageteils statt.

Pumpenaustausch

Durch den kleinen Inhalt des Absorberregisters ist eine Entleerung bei einem Pumpenaustausch unproblematisch.

Anordnung von Komponenten

Die Pumpe soll aus Schutzgründen wegen des höheren Temperaturniveaus (Dampf) im Rücklauf platziert werden. Dies hat zudem den Vorteil, dass der durch kleine Rohrquerschnitte im Absorberregister erhöhte Druckverlust auf der Druckseite der Pumpe liegt. Das Ausdehnungsgefäß soll in Strömungsrichtung vor der Pumpe angeschlossen werden, somit wird die Kavitationsgefahr erheblich gemindert. Es dürfen wie üblich keine Absperrungen zwischen Ausdehnungsgefäß und Absorberofen eingebaut werden. Flexible Anschlüsse am Absorberofen vermindern bei Druckschlägen die Übertragung von akustischen Geräuschen in die Anlage.

Rückschlagklappen F und G (Figur 20)

Die Pumpe des Absorbers soll nicht in den Kessel fördern (Rückschlagklappe G). Desgleichen soll die Heizungs-pumpe nicht ins Absorberregister fördern (Rückschlagklappe F). Die Rückschlagklappe F soll nicht im Rücklauf des Absorberkreislaufes platziert werden, da beim Start der Absorberpumpe die Durchflussrichtung ändern kann.*

*Volumenzunahme durch Verdampfung des Wassers, das frisch in den Absorber gepumpt wird. Als Folge davon kann die Strömungsrichtung trotz Pumpenförderdruck für einige Sekunden umkehren.

Ausdehnungsgefäß Heizungsanlage

Das bestehende Ausdehnungsgefäß der Heizungsanlage soll abgehängt und durch das neue Gefäß beim Absorberofen ersetzt werden.

Steuerung – Regelung - Sicherheitstechnik

Im Vorlauf des Heizungskreises wird ein Sicherheits-Temperaturbegrenzer (T3) eingebaut. Wenn die Vorlauftemperatur den Grenzwert (z.B. 90°C) übersteigt, wird die Pumpe ausgeschaltet. Dieser Thermostat verhindert, dass der gesamte Heizungskreislauf auf eine nicht akzeptable Temperatur erhitzt wird. Der Thermostat spricht an, wenn über die Heizkörper keine Wärme abgegeben werden kann (z.B. geschlossene Thermostatventile).

Ebenso ist sicherzustellen, dass die in der Raumheizung eingesetzten Materialien nicht thermisch überbeansprucht werden. Dies könnte zum Beispiel vorkommen, wenn anstelle von Heizkörpern eine Bodenheizung eingesetzt wird.

6.2 Folgerungen aus den Sicherheitstests

An einer Demonstrationsanlage wurden mit dem Ofen T-LOFTPLUS (Figur 3) einfache Sicherheitsversuche durchgeführt [3]. Nach mehrstündigem ununterbrochenem Abbrand wurde das Verhalten des Absorberofens bei Ein- und Ausschalten der Pumpe in Abhängigkeit der Zeit erfasst und ausgewertet. Der Verlauf des Absolut- und des Relativdrucks am Sicherheitsventil wurde durch entsprechende Drucksensoren kontinuierlich erfasst. Gleichzeitig wurde der Verlauf der Temperaturen an verschiedenen Orten des Absorberregisters mittels Thermoelementen gemessen.

Der mehrstündige Dauerbrand mit zeitweisem Pumpenstillstand entspricht nicht der üblichen Betriebsweise. Bei Unterbruch der Stromversorgung oder einer Feuerung durch Laien kann dieser Betrieb aber nicht ausgeschlossen werden.

Der grösste Teil der Ofenwände mit Absorber ist beim untersuchten Ofen ähnlich aufgebaut wie bei Figur 9. Das heisst, dass zwischen Absorber und raumseitiger Verkleidung ein geschlossener Luftspalt vorhanden ist. Die Absorbertemperaturen stiegen hier bei ausgeschalteter Pumpe auf rund 200°C bis 300°C. Über einem kleinen Teil des Absorbers befindet sich Richtung Raum eine Wärmedämmung (ca. 3 cm). Hier wurden Temperaturen von 300°C bis 400°C gemessen.

Die durchgeführten Versuche zeigten, dass bei einem Pumpenstillstand keine zu grosse Systemdruckerhöhung zu erwarten ist. Dies gilt für Anlagen mit geschlossenem und richtig dimensioniertem Ausdehnungsgefäss. Andererseits setzen die hohen Wandtemperaturen der Absorberrohrschlange eine zuverlässige Dauerfestigkeit für die durch Laien zu betreuenden Anlagen voraus.

Selbst die höchsten gemessenen Temperaturen sind zwar weit vom Schmelzpunkt des Kupfers oder des Lots (ca. 600°C) entfernt. Diese Temperaturen (300°C bis 400°C) sind aber doch so hoch, dass Rekristallisationsprozesse im Kupfer nicht ausgeschlossen werden können. Das heisst, dass mit der Zeit Materialschwächungen auftreten könnten. Das Problem kann konstruktiv entschärft werden, in dem zwischen Absorber und Raum möglichst keine Wärmedämmmaterialien eingebaut werden.

Es wird eine Zulassungsprüfung für Absorberofen durch eine neutrale Prüfstelle angeregt, ähnlich zu der EMPA-Prüfung für Holzkessel unterhalb 70 kW (siehe SWKI 93-1, Kap. 5-1). Die Vorschriften einer technisch vernünftigen und wirtschaftlich verantwortbaren Absorber-Ofen Prüfung sollen noch erarbeitet werden.

Für Absorberöfen sind auch geeignete Betriebsvorschriften zu erstellen. Zudem können direkt am Ofen angebrachte Hinweise helfen, eine unsachgemässe Bedienung zu vermeiden.

7 Diskussion und Folgerungen

7.1 Hinweise für die Umsetzung

7.1.1 Konstruktion

Zwischen Absorberblech und Raum soll kein Wärmedämmmaterial platziert werden. Dadurch ist das Risiko kleiner, dass bei unsachgemäsem Betrieb am Absorber Materialschwächungen wegen Überhitzung auftreten.

Das Absorberblech soll möglichst gut auf der ofenseitigen Wand befestigt werden. Das heisst, dass ein konstruktionsbedingter Luftspalt möglichst klein gehalten werden soll.

Der Luftspalt zwischen Absorber und raumseitiger Verkleidung soll geschlossen sein, die Raumluft soll nicht durch diesen Zwischenraum zirkulieren können.

Der Rohrabstand des vorgestellten Rechenbeispiels ist an der oberen Grenze. Es ist eher ein Rohrabstand von ca. 80 mm zu empfehlen, der auch bei Absorbern für Sonnenkollektoren üblich ist.

7.1.2 Dimensionierung

Die vorgestellten Berechnungsergebnisse gelten für eine einzige Ofenkonstruktion und basieren auf vereinfachten Rechenmodellen. Speziell ist darauf hinzuweisen, dass die innere Masse des Ofens (Teile die nicht die Aussenwand berühren) nicht berücksichtigt ist. Die Simulationen haben gezeigt, dass die ermittelten Werte nicht auf andere Bauarten übertragen werden können. So wurde für einen kleinere Ofen (mit teilweise anderem Wandaufbau) deutlich tiefere spezifische Leistungen ermittelt.

Neben der Ofenkonstruktion ist auch die Platzierung der Absorber zu beachten. Die in den Simulationen berechneten Leistungen sind Durchschnittswerte für die gesamte Ofen-Mantelfläche. Wenn nur ein Teil der Ofenfläche mit Absorber bestückt wird, ist dies zu berücksichtigen. Bei heisseren Partien (Feuerraum und erste Züge) ist sowohl eine grössere Leistung, wie auch ein prozentual höherer Anteil der ins Wasser abgegebenen Wärme zu erwarten. Bei den in Rauchgasrichtung weiter entfernten Zügen sinken die Leistung und der prozentuale Anteil der ans Wasser abgegebenen Wärme.

Neben den Wänden mit Absorbern geben Feuerraumtür, Reinigungsöffnungen, Kaminanschluss, etc. Wärme ab. Diese Komponenten waren nicht Gegenstand dieses Projektes. Wegen dieser Komponenten wird ein realer Absorberofen kaum mehr als 70% der Wärme an das Wasser abgeben können.

7.1.3 Hydraulische Einbindung

Die Auslegung der Wärmeabgabe ist wesentlich für die Wassertemperatur im Absorber und damit für die Aufteilung der Wärmeabgabe. Heizkörper sollen grosszügig dimensioniert werden (Vorlauftemperatur bei mittlerer Leistung max. 45°C).

Anlagen ohne geregelte Wassertemperatur und ohne Heizungsspeicher sollen nicht mit Fussbodenheizungen kombiniert werden. Fussbodenheizungen sind sehr träge und können nicht über Raumthermostaten oder das Empfinden der Bewohner geregelt werden.

Die hydraulische Einbindung und die Steuerung sind aus sicherheitstechnischen Aspekten relativ einfach. Es müssen aber doch spezielle Punkte (Dimensionierung Ausdehnungsgefäss, Anordnung der Komponenten, etc.) beachtet werden. Dies setzt sowohl Kenntnis der einschlägigen Heizungsrichtlinien, wie auch ein Verständnis für Holz-Speicheröfen voraus.

7.1.4 Einsatzgebiet

Hybridsysteme mit Absorberöfen haben ein grosses Potential als Vollheizung für MINERGIE- und Passiv-Häuser. Um dieses Potential zu nutzen müssen qualitativ hochwertige Systemlösungen für Heizung und Wassererwärmung entwickelt werden. Für diesen Einsatzbereich ist eine Kombination mit Solaranlagen für Warmwasser anzustreben.

7.2 Offene Fragen und weitere Arbeiten

Offene Fragen und Bedarf für weitere Arbeiten bestehen bei folgenden Punkten:

- **Speicherbewirtschaftung**
In Kombination mit Wasserwärmung und Solaranlagen ist eine intelligente Speicherbewirtschaftung erforderlich. Die optimalen Strategien sollten z.B. an einer Pilotanlage untersucht werden.
- **Weiterbildung**
Hybridsysteme mit Absorberöfen erfordern von Hafner teilweise neues Fachwissen und die Fähigkeit multidisziplinär zu arbeiten. Im Bereich Aus- und Weiterbildung sollen deshalb Aktivitäten geplant werden.
- **Sicherheit**
Für serienmässig gebaute Absorberöfen sollte in Zusammenarbeit mit dem SWKI eine Sicherheitsprüfung entwickelt werden. Für individuell erstellte Absorberöfen sollen Vorlagen für Installations- und Betriebsvorschriften erarbeitet werden.

Dank

Im Namen des Autorenkollektives danke ich allen Projektpartnern für die anregende Zusammenarbeit und ihren grossen Einsatz. Speziell für die Mitarbeit im Projektteil 'Untersuchung sicherheitstechnischer Aspekte bei Absorberöfen' danke ich Prof. Ferenc Özvegyi, Christian Völlmin und Dr. Basso Salerno.

Heinrich Huber

8 Literatur

- [1] Macquat Y., Gaegauf Ch.: Messbericht, Projekt Optimierung neuartiger Holz-Hybridheizsysteme. Ökozentrum Langenbruck, Langenbruck, Okt. 2001
- [2] Kropf S.: Berechnungsmodell und Simulationsresultate. Teilbericht zum Projekt Holz-Hybridheizsysteme. Hochschule für Technik+Architektur Luzern, Horw, Feb. 2002
- [3] Frei B., Huber H., Özvegyi F: Untersuchung sicherheitstechnischer Aspekte bei Absorberöfen. Teilbericht zum Projekt Holz-Hybridheizsysteme. Hochschule für Technik+Architektur Luzern, Horw, Feb. 2002
- [4] SWKI Richtlinie 93-1: Sicherheitstechnische Einrichtungen für Heizungsanlagen. Aktualisierte Ausgabe 5/2001, Schweizerischer Verein der Wärme- und Klimaingenieure, Bern