

Komfortberechnungsprogramm für Holz-Speicheröfen

Projekt 42978 Vertrag 83187

Ausgearbeitet durch

Christian Gaegauf, Ökozentrum Langenbruck
Hanspeter Zumsteg, Ökozentrum Langenbruck

Heinrich Huber, HTA Luzern
Benedict Schütz, HTA Luzern
Rolf Friedlin, HTA Luzern
Claude Chiquet, VHP, Olten

Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie, BFE
und der
Kommission für Technologie und Innovation, KTI

Schlussbericht Februar 2004

Auftraggeber:

Forschungs- und P+D-Programm Biomasse des
Bundesamtes für Energie, BFE, 3003 Bern

Kommission für Technik und Innovation, KTI
Bundesamt für Berufsbildung und Technologie, BBT, 3003 Bern

Auftragnehmer:

Ökozentrum Langenbruck, 4438 Langenbruck
HTA Hochschule für Technik und Architektur, 6048 Horw
FHZ Fachhochschule Zentralschweiz

Branchenpartner:

Verband Schweizerischer Hafner- und Plattengeschäfte, VHP, 4600 Olten

Autoren:

Ökozentrum Langenbruck:

Christian Gaegauf, dipl. Ing. ETH/SIA
Hanspeter Zumsteg, dipl. Ing. FH

HTA Hochschule für Technik und Architektur, Horw:

Heinrich Huber, dipl. Ing. FH
Benedict Schütz, dipl. Ing. FH
Rolf Friedlin, dipl. Ing. FH

VHP Verband Schweizerischer Hafner- und Plattengeschäfte, Olten:

Claude Chiquet, dipl. Ing. FH

Projektbegleitgruppe:

Daniel Binggeli, Bundesamt für Energie, 3003 Bern
Dr. Eric Gygax, Kommission für Technik und Innovation, KTI

Diese Studie 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

Abstract	5
Zusammenfassung	7
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage.....	9
1.2 Zielsetzung	9
2 Holz-Speicherofen als Alleinheizung	9
3 Berechnungsprogramme	10
3.1 IDEA XP.....	10
3.2 IDA	10
4 Validierung Speicherofen	11
4.1 Versuchsofen	11
4.1.1 Mechanischer Aufbau	11
4.1.2 Aufbau Messdatenerfassung.....	12
4.2 Labormessungen	14
4.2.1 Messung mit Holzabbrand, ohne Kachelhülle	15
4.2.2 Messung mit Gasbeheizung, ohne Kachelhülle	16
4.2.3 Messung mit Gasbeheizung, mit Kachelhülle.....	17
4.3 Validierung Speicherofen.....	20
4.3.1 Annahmen und Vereinfachungen.....	20
4.3.2 Vorgehen	21
4.3.3 Validierung Gasbeheizung, ohne Kachelhülle	21
4.3.4 Validierung Gasbeheizung, mit Kachelhülle	23
4.3.5 Validierung Holzabbrand, ohne Kachelhülle.....	26
4.3.6 Validierung Absorbermodell	28
5 Validierung Haus/Ofen-System.....	30
5.1 Beschreibung der gemessenen Häuser.....	30
5.1.1 Haus Nottwil	30
5.1.2 Haus Wohlen.....	31
5.2 Messungen an den Häusern	32
5.2.1 Haus Nottwil	32
5.2.2 Haus Wohlen.....	35
5.3 Validierung Haus/Ofen-System	37
5.3.1 Validierung Haus Nottwil.....	37
5.3.2 Validierung Haus Wohlen	43
5.3.3 Fazit aus den Validierungen der Häuser.....	49
6 Berechnungswerkzeug	50
6.1 Benutzeroberfläche	50
6.2 Input	53
6.3 Output	54
6.4 Internetzugang	56
7 Anwender	56
7.1 Pilotkurse IDEA XP	56
7.2 Ausbildung.....	56
7.3 Nutzen und Potenzial	57
8 Ausblick.....	57
Danksagung.....	58

Abstract

Architecture taking into account the goals of sustainable housing reduces the energy demand of new buildings substantially. The low energy demand of such buildings favours the use of renewable energy sources. Wood fuel faces a revival because the use of biomass becomes attractive to the homeowner. Biomass heating systems for low energy houses have to meet specific requirements such as high room comfort and ease of operation. Furthermore wood heat systems have to be competitive with fossil fuel systems. These requirements urge the wood heat appliances branch to improve the design and construction of their stoves. The approach of the project was to provide a computer aided design (CAD) tool for wood heat appliances design to meet optimal room comfort.

The CAD-tool combines numeric simulation of the heat requirement of dwellings with the dynamic simulation of the wood heat appliances with slow heat release characteristics. These particular appliances store the energy released of the intermitting burning fire in its massive structure such as masonry or similar for slow heat release to the room. The simulation is based on the IDA simulation software by Equa Simulation AB, Sweden. The software simulates the building, the heat output of the wood stove and the convective heat exchange between the floors. The user interface is an Internet based software IDEA^{XP}. With this software the user can calculate the heat demand of the building. After this calculation the stove designer optimizes the wood stove with the help of the simulation software. The simulation is performed on a central server and launched from the web user interface. As a result the user gets the temperature profile for each room of the building and also the heat output profile of the wood stove for each room. These results are submitted to him by email.

The computer aided design of an appliance, which has slow heat release characteristics is useful for the stove designer. The simulation of the thermodynamics allows predicting the heat release of a stove and thus the temperatures of the various rooms of a dwelling. With the parameter variation the appliance can be optimised for the room comfort according to heat demand. The variation of parameters such as construction of the walls can be done by the developed simulation tool. The theoretical and experimental work is a useful basis for designers of wood heat appliances to meet the requirements of low energy houses. Since many of the manufacturers are small size enterprises there is a demand of an easy to handle tool which gives results in due time.

The simulation shows that the massive structure of the appliance strongly influences the characteristic of the heat release curve. An appropriate design of the massive structures as thermal storage is therefore of high importance. To validate the simulation a mock up of a slow heat release appliance was tested to furnish the parameter applied in the simulation software. The investigations have been performed in a calorimeter room. The validated simulation was then applied at two dwellings, which were equipped with slow heat release appliances. The room temperatures computed by the CAD-tool fitted with good accuracy the temperatures measured in situ.

An improved design of the heat release characteristics of wood heat appliances is a prerequisite condition to adapt the stoves to living area. With the CAD-tool the stove designer is in the position to do the layout of an appliance according to the energy requirement. The appropriate heat output over time is crucial for the room comfort. It is important to avoid an overshooting of the room temperatures by peak thermal outputs. An optimal design of the appliance gives the biomass branch the possibility to guaranty quality standard to their customers, which helps disseminating wood heat appliances due to a good reputation and feasible costs. This is very important for the manufacturers to be competitive on the market.

Zusammenfassung

Trotz material- und bautechnischer Fortschritte im Ofenbau stand der Ofenbauer vor Unsicherheiten bei der energetischen Auslegung seines Speicherofens im Gebäudekontext. Besonders bei raum- oder stockwerkübergreifenden Heizungen stiessen die herkömmlichen Auslegungsmethoden an ihre Grenzen. Hier eröffnet das neu entwickelte Komfortberechnungsprogramm als Berechnungswerkzeug für die Dimensionierung von Holz-Speicheröfen eine interessante Perspektive. Den Impuls zur Entwicklung eines Komfortberechnungsprogrammes lieferte der Verband Schweizerischer Hafner- und Plattengeschäfte (VHP). Zusammen mit den beiden brenet-Partnern (brenet, Schweizer Kompetenznetzwerk für Gebäudetechnik und erneuerbare Energien) HTA Hochschule für Technik und Architektur Luzern und dem Ökozentrum Langenbruck wurde ein Planungsinstrument geschaffen, das den Energiebedarf von Gebäuden und die Heizwirkung des installierten Speicherofens analysiert. Das Projekt wurde vom Bundesamt für Energie (BFE) und der Kommission für Technik und Innovation (KTI) gefördert.

Ein zentraler Punkt im Projekt war die Entwicklung der numerischen Modellierung des Speicherofens. Das Modell umfasste die Prozessmodule Wärmeerzeugung, -speicherung und -abgabe. Für die Überprüfung des Rechenmodells baute der VHP einen Versuchsofen. Der zweiteilige Versuchsofen umfasste die Brennkammer und physisch getrennt davon den Schamottspeicher mit den Heizgaszügen. Die Brennkammer konnte für die Laborversuche sowohl mit einem Gasbrenner wie auch mit Holz befeuert werden. Der Speicherofen liess sich mit einer Verkleidung versehen. Zwischen Schamottsteinkern und Verkleidung bestand ein Luftspalt. Im Kalorimeterraum des Labors am Ökozentrums Langenbruck wurden die Temperaturverläufe und die Wärmeabgabe des Speicherofens bei verschiedenen Feuerwärmeleistungen gemessen. Auf Grund der Labormessdaten konnten die numerischen Modelle überprüft und verfeinert werden. Die thermodynamische Simulation des Ofen-Gebäudesystems basiert auf dem kommerziell verfügbarem Simulationsprogramm IDA. Der Heizenergiebedarf der Gebäude wird mit dem an der HTA entwickelten Programm IDEA XP berechnet. Das Ökozentrum Langenbruck führte an zwei Einfamilienhäusern mit Holz-Speicheröfen als Ganzhausheizung umfangreiche Messungen der klimarelevanten Parameter durch. Die Messdaten lieferten die Grundlage für die Validierung des neuen Simulationsprogrammes. Der Vergleich der Mess- und Rechenwerte zeigte gute Übereinstimmung. Eine wichtige Voraussetzung für wirklichkeitsnahe Rechnungen ist die korrekte Eingabe der Baumaterialstoffwerte von Haus und Ofen. Kleine Abweichungen führen bereits zu merklichen Einflüssen in der Komfortberechnung. Um sicher zu gehen, dass die Benutzeroberfläche möglichst selbsterklärend, die Begriffe und die Arbeitsweise für die zukünftigen Anwender erlernbar und verständlich sind, wurden mit zwölf Hafner Pilotkurse durchgeführt. Durch die Beteiligung der Anwender konnten früh Schwachstellen erkannt werden, die die Programmdesigner zu Anpassungen der Benutzeroberfläche und des Programmcodes veranlassten.

Das neue Internet-portierte Berechnungswerkzeug erschliesst dem Ofenbauer bei moderatem Planungsaufwand fundierte Grundlagen für die Auslegung von Anlagen in Einfamilienhäusern, wobei auch die Behaglichkeitskriterien beurteilt werden. In der Planungsphase können so bereits die Temperaturverläufe der verschiedenen Räume prognostiziert werden. Unabhängig, ob ein Raum von einem Ofen direkt erwärmt wird, gar nicht beheizt ist oder nur über eine Treppenöffnung Wärme erhält, kann der Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Ofenkonstruktion, des Gebäudeaufbaus, der Einfeuerzeit, des Aussenklimas und des Gebäudestandortes berechnet werden. Der VHP sieht vor, das Programm in die Ausbildung der Lehrlinge und vor allem auch der Meisterkurse einfließen zu lassen. In Weiterbildungsangeboten können sich Ofenbauer in der Anwendung des Planungswerkzeuges einweisen lassen. Für Betriebe, die nicht selber mit dem Planungswerkzeug arbeiten möchten, bietet der VHP die Komfortberechnung als Dienstleistung an. Seit Anfang 2004 steht das Programm über Internet zur Verfügung. Mit einer Jahresgebühr und nach zwei Schulungstagen ist der Zugang allen Ofenbauern offen.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Für eine erfolgreiche Verbreitung der Klein-Holzfeuerung auf dem Markt müssen die Feuerungsaggregate die hohen Komfortansprüche heutiger Betreiber erfüllen und konkurrenzfähig gegenüber herkömmlichen Heizsystemen sein. Dazu gehören u.a. auch die richtige Dimensionierung der Feueraggregate auf den Wärmebedarf des Wohnraums sowie eine behagliche Wärmeabgabe bei geringem Bedienungsaufwand. Holzfeuerstätten mit Feststoffspeicher wie Kachel- oder Specksteinöfen bringen dafür gute Voraussetzungen, wenn sie richtig konzipiert und dimensioniert sind. In der Fachschule des *Verbandes Schweizerischer Hafner- und Plattengeschäfte*, VHP, fand im Jahr 2000 ein Workshop zum Thema *Zukünftige Forschungsschwerpunkte bei Klein-Holzfeuerungen* statt. Dabei kam als Fazit heraus, dass ein zentrales Branchenthema der Bereich *Auslegung, Bau, Optimierung und Bewirtschaftung von Feststoffspeichern in Holz-Speicheröfen* ist. Eine sichere Auslegung der Speicheröfen erlauben dem Ofenbauer auch, Wärmeleistung gegenüber seinen Kunden im Sinne der Qualitätssicherung zu gewährleisten.

Die Branche verwendet bereits Rechenprogramme zur Auslegung von ortsgesetzten Speicheröfen. Mit dem Rechenprogramm lassen sich die feuerungstechnischen Belange wie Feuerraum, Abgaszüge und Kamindimensionen bestimmen. Es liefert jedoch keine Daten zur Thermodynamik des Feststoffspeicheraufbaus wie Heizleistung und Wärmeabgabeverlauf.

1.2 Zielsetzung

Für die wärmetechnische Auslegung von einzeln gesetzten oder in Kleinserien hergestellten Speicheröfen bestehen trotz stetiger material- und bautechnischer Entwicklungen grosse Unsicherheiten. Besonders im Bereich der raum- und stockwerkübergreifenden Ganzhausheizungen und bei der Einbindung von Wasserzentralheizungen stossen die herkömmlichen, auf Erfahrungswerten basierenden Auslegungsmethoden an ihre Grenzen. Der VHP möchte die Hafnerbetriebe als innovative Marktteilnehmer unterstützen. Ausgehend von vorhandenen Rechenprogrammen für den Bau von Speicheröfen will der VHP zusätzlich neue Planungswerkzeuge schaffen. Sie sollen dem Ofenbauer erlauben, neben den feuerungstechnischen Aspekten des Ofenbaus auch die energietechnische Einbindung der Feuerung so zu dimensionieren, dass die Wärmeabgabe im Aufstellungsraum und im ganzen Haus den Behaglichkeitskriterien zu genügen vermag.

2 Holz-Speicheröfen als Alleinheizung

Neue Einfamilienhäuser sind zwei bis drei Mal besser wärmedämmend als noch vor einigen Jahren. Dies eröffnet bei der Wahl des Heizkonzepts neue Möglichkeiten, zum Beispiel mit der Strahlungswärme eines zentral platzierten Speicherofens, der mehrere Räume direkt beheizt. Im gleichen Zeitraum hat die Ofen-Heizungstechnik auch sehr grosse Fortschritte gemacht. Diese beiden Entwicklungen bewirken zusammen, bildlich gesprochen, dass mit nur einem Korb voll Holz einen Tag lang ein ganzes Haus beheizt werden kann. Mit einem Satellitspeicher, einen vom Hauptofen aus beheizten zusätzlichen Steinspeicher im Obergeschoss, sind mehrere Räume und Etagen beheizbar. Mit einem Absorber-Heizkörper-Kreis kann Ofenwärme auch zur Beheizung weiter entfernter Räume verwendet werden.

Der Hafner sieht sich heute in der Lage, wieder vermehrt als Heizungsfachmann ernst genommen zu werden. Die Hafner wollen diese Herausforderung annehmen und fordern entsprechende Planungswerkzeuge, um mit den etablierten Planungsbüros und deren Lösungen in Konkurrenz treten zu können.

3 Berechnungsprogramme

3.1 IDEA XP

Während dem Aktionsprogramm computerunterstützter Konstruktions- und Berechnungsmethoden in den neunziger Jahren entstand an der Hochschule Technik und Architektur (HTA Luzern) in der Fachstelle Haustechnik die IDEA Programmfamilie. Mit den Berechnungsprogrammen für den *Heizleistungsbedarf* (SIA 384/2), den *Kühlleistungsbedarf* (SIA 382/2), den *Bedarfsnachweis* (SIA 382/3) und *Energie im Hochbau* (SIA 380/1) war es möglich, wärmetechnische Berechnungen für ein Gebäude weit gehend mit den gleichen Eingabedaten zu machen.

Vor vier Jahren begann die HTA mit einer Neuprogrammierung der Berechnungsprogramme. Mit IDEA XP (<http://www.ideaxp.ch>) steht heute ein Programm bereit, mit dem man diverse wärmetechnische Berechnung von Gebäuden durchführen kann. Das Programm basiert auf einer gemeinsamen Datenbank für alle Berechnungen, programmiert in C# basierend auf den Dot.Net Framework von Microsoft. Die Eingaben lassen sich vollständig über den Internet-Explorer erfassen. Die Ausgabe der Resultate erfolgt entweder ebenfalls im Browser, oder die Resultate können als Excelfile vom Webserver herunter geladen werden. Die gewählte Programmarchitektur lässt problemlos ein Einbinden von weiteren Berechnungsmodulen zu. Mit den vom Benutzer eingegebenen Gebäudedaten können Eingabefiles für Simulationsprogramme wie DOE2 oder IDA erstellt werden. Diese Programme werden dann vom Webserver gestartet. Die Resultate dieser Berechnungen können dann von IDEA XP weiterverarbeitet werden zu benutzergerechten Ausgaben.

3.2 IDA

Für die thermische Simulation eines Gebäudes mit einem Holz-Speicherofen ist ein dynamisches Simulationsprogramm erforderlich. Für das vorliegende Komfortberechnungsprogramm für Holz-Speicheröfen wurde das Simulationsprogramm IDA gewählt.

Dieses Programm wurde von der Firma EQUA AB in Schweden entwickelt (<http://www.equa.se>). Die Software IDA hat eine lange Entwicklungsphase hinter sich. Die bestehenden Modelle sind validiert und deren Resultate können als korrekt betrachtet werden. Das Simulationsprogramm IDA ist ein sehr starkes Simulationswerkzeug mit viel Potential. Es trennt die Lösungsmethode komplett von den physikalischen Modellen. Dies erlaubt der Fachperson, sich auf die Modellierung eigener Modelle zu konzentrieren. Der Anwender hat sich nicht um die numerische Lösungsmethode zu kümmern.

Die Software zeichnet sich durch ihren modularen Aufbau auf. Es können ohne Probleme eigene Modelle in das bestehende Programm integriert werden. IDA besteht aus mehreren Anwendungen. Für das Komfortberechnungsprogramm wurde die Anwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) verwendet. Dies ist die Anwendung für Gebäudesimulationen. Von IDA ICE werden diverse Modelle verwendet. Zum Beispiel Modelle für den Raum, für die Wände und Decken, für die Fenster usw. IDA ICE kann aber nicht nur einen Raum thermisch simulieren. Das Simulationsprogramm kann auch Antworten zur thermischen Behaglichkeit nach der Theorie von P.O. Fanger, zur Raumluftqualität und zum gesamten Energieverbrauch des Gebäudes geben.

Es wurden mathematische Modelle der Brennkammer und des Holz-Speicherofens erstellt. Diese wurden in das Programm eingefügt und können nun für die Simulation eines Gebäudes mit Holz-Speicherofen angewendet werden. Im Projekt wurde aber nicht alles von IDA ICE verwendet. Die Eingabe erfolgt über eine separate Oberfläche (Kapitel 6.1 Benutzeroberfläche). Von IDA werden einige ausgewählte Modelle aus IDA ICE und die Modelle der Brennkammer und des Holz-Speicherofens verwendet. Die Datendatei wird über die Oberfläche erstellt. Von IDA wird bei der Simulation lediglich der Solver verwendet. Die Simulation läuft im Hintergrund. Der Benutzer der Holz-Speicherofenberechnung hat keinen direkten Bezug zum Simulationsprogramm.

4 Validierung Speicherofen

4.1 Versuchsofen

4.1.1 Mechanischer Aufbau

Ein zentraler Punkt im Projekt ist die numerische Beschreibung des Speicherofens. Für die Überprüfung des Rechenmodells baute der VHP eigens einen Versuchsofen. Der zweiteilige Versuchsofen wurde auf zwei Holzpaletten aufgebaut, was die Manövrierbarkeit (Transport in den Kalorimeterraum) wesentlich erleichterte. Abbildung 4.1 zeigt die Brennkammer und den Satelliten, beide mit Schamottesteinen aufgemauert.



Abb. 4.1: Aufbau des VHP-Versuchsofens (Speicherofen mit Brennkammer links und Satellit rechts)

Im thermostatisierten Kalorimeterraum des Labors am Ökozentrum Langenbruck wurden die Temperaturverläufe und die Wärmeabgabe des Speicherofens bei verschiedenen Feuerwärmeleistungen gemessen (Abb. 4.2).

Durch die Verwendung von Gas anstelle von Buchenholz als Brennstoff erzielte man eine bessere Repetierbarkeit in den Versuchsserien. Hinter der Brennkammer ist der Satellit mit Abgaskamin erkennbar.



Abb. 4.2: Versuchsofen im Kalorimeterraum des Messlabors am Ökozentrum Langenbruck

In Abbildung 4.2 erkennbar ist der unter der eigentlichen Brennkammer montierte Gas-Gebläse-brenner mit Gas- und Verbrennungsluftzufuhr. Über die beiden seitlichen Rohre wird zusätzlich Luft eingeblasen zwecks Verdünnung der Gasbrenner-Abgase auf gleichen Luftüberschuss wie beim Holzabbrand. Dadurch herrschen bei der Gasverbrennung ähnliche Gasströmungsverhältnisse wie bei der Verbrennung von Holz.

Die Brennkammer (Abb. 4.3) ist durch ein gut isoliertes Verbindungsrohr mit dem Satelliten (Abb. 4.3) verbunden. Die Brennkammerwandung besteht aus 9 – 10 cm dicken Schamottespeichersteinen. Die Heizgaszüge im Satellit sind mit 4 – 6 cm dicken Schamottspeichersteinen gefüttert.

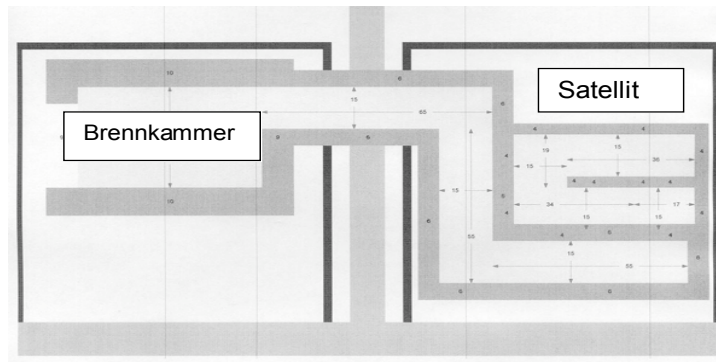


Abb. 4.3: Schnitt durch den Versuchsofen mit Brennkammer (links) und Satellit mit den Heizgaszügen (rechts)

Sowohl die Brennkammer wie auch der Satellit wurden in einer weiteren Versuchsreihe mit einer kachelähnlichen Verkleidung versehen (Abb. 4.2). Der Luftspalt zwischen Schamottsteinkern und Verkleidung beträgt ca. 3 cm.

4.1.2 Aufbau Messdatenerfassung

Der Versuchsofen wurde im thermostatisierten Kalorimeterraum installiert. Um Aufschluss über die bestehenden Wärmeübertragungsverhältnisse zu erhalten, musste eine recht umfangreiche Messdatenerfassung installiert werden. Dabei wurden folgende Messgrößen erfasst:

Feuerungstechnik

- Kaminzug
- Wärmeabgabe an Kalorimeterraum
- Abluft und Zulufttemperatur des Kalorimeterraums
- Masse der Verbrennungsluft bei Gasbetrieb
- Propangasdurchsatz (Feuerungsleistung im Gasbetrieb)
- Temperatur Verbrennungsluft
- Temperatur Abgas im Kamin

Temperaturen an der Brennkammer

- 6 Oberflächentemperaturen an der äusseren Oberfläche der Speichersteine ($T_{a \text{ Brenn}}$)
- 4 Gastemperaturen im Spalt zwischen Speichersteinen und Kachel-Aussenhülle ($T_{\text{Spalt Brenn}}$)
- 7 Oberflächentemperaturen auf der äusseren Oberfläche der Kachel-Aussenhülle (T_{Kach})
- Temperatur der Glastüre ($T_{\text{Türe Glas}}$)
- Temperatur des metallenen Türrahmens ($T_{\text{Türrahmen}}$)

Temperaturen am Satelliten

- 7 Gastemperaturen in den Kaminzügen ($T_{\text{gas Sat}}$)
- 7 Oberflächentemperaturen auf der Speicherstein-Innenseite ($T_{\text{in Sat}}$)
- 7 Oberflächentemperaturen auf der Speicherstein-Aussenseite ($T_{\text{a Sat}}$)
- 6 Gastemperaturen im Spalt zwischen Speichersteinen und Kachel-Aussenhülle ($T_{\text{Spalt Sat}}$)
- 11 Oberflächentemperaturen auf der äusseren Oberfläche der Kachel-Aussenhülle ($T_{\text{Kach Sat}}$)

Die Anordnung der Temperaturfühler beim Satelliten (ohne Montage der Kachel-Aussenhülle) ist in Abbildung 4.4 ersichtlich. Der Abgaszug ist in total 17 Abschnitte unterteilt. Bei den mit schwarzen Punkten versehenen Stellen werden drei Temperaturen erfasst. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Gastemperatur im Abgaszug sowie Innenwand und Aussenwand der Speichersteine. So bedeutet z.B. '7 I A G', dass hier am gleichen Ort (am Platz 7) die 3 Temperaturen von innen gegen aussen durch den Querschnitt erfasst werden, also Abgas, Oberfläche Innenwand, Oberfläche Aussenwand.

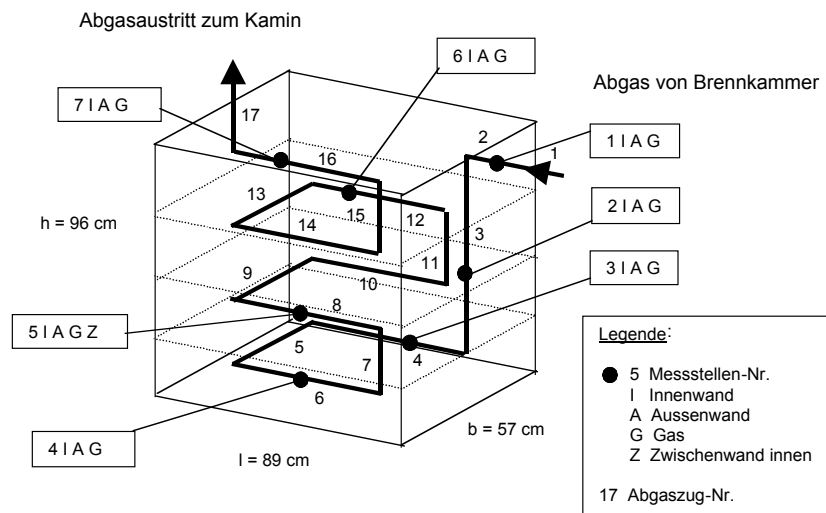


Abb. 4.4: *Temperatursensoren-Platzierung am Satelliten (17 Abgaszuglängen)*

Die Datenerfassung erfolgte mittels computergesteuerten dezentralen Dataloggern. Die Temperaturen wurden allesamt mit Thermdraht-Fühlern gemessen, wodurch eine sehr gute Gleichlaufgenauigkeit von 0.1°C gegeben ist.

Abbildung 4.5 zeigt die Brennkammer und den Satelliten, beide verkleidet mit einer Kachel-Aussenhülle. Darauf sind die verschiedenen Oberflächentemperaturfühler platziert. Daneben stehen zwei 30 -kanalige Datenlogger.

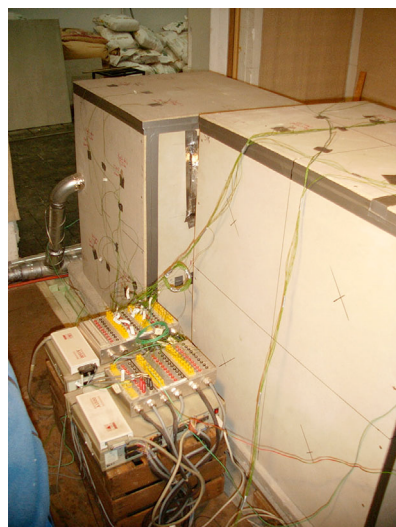


Abb. 4.5: *Applizierung der Temperaturfühler auf der Ofenwandoberfläche für die Messanalytik mit Datenerfassung (Satellit im Vordergrund)*

Alle rund 70 Messwerte wurden im Halbminutentakt erfasst und in Text-Dateien abgelegt. Die Auswertung erfolgte mittels Excel.

4.2 Labormessungen

Um die Speichereffekte auszugleichen wurde jeder Feuerungslauf im 12 Stunden-Rhythmus dreimal wiederholt. Die Brennkammer wurde jeweils mit 10 kg Buchenscheitern inkl. Anfeuerungsmaterial befüllt und gezündet. Der Heizwert von 10 kg trockenem Buchenholz (Holzfeuchte 15 % atro) beträgt 38 kWh.

Nach dem eigentlichen, ca. zweistündigen Feuerungsbetrieb und anschliessendem Abklingen der Glutwärme wurde der Versuchsofen nach 12 Stunden (vom ersten Start an gerechnet) erneut mit der gleichen Holzmenge befeuert. Nach wiederum 12 Stunden erfolgte der eigentliche Messversuch, wiederum mit der gleichen Holzmenge. So konnte erreicht werden, dass sich die Restwärme wie nach unendlich vielen Abbrandzyklen verhielt. Abbildung 4.6 zeigt einen typischen 3 x 12 Stunden-Zyklus.

Die Kurve Tzuab-Ka (*100) zeigt eine maximale Kalorimeterluft-Erwärmung von 9 °C. Die Temperatur Tzuab-Ka ist ein Mass für die an den Kalorimeterraum abgegebene Wärmeleistung. Der Leistungsverlauf ist zu Beginn durch die Temperatur der rund 300 °C heissen Ofentüre und nach dem Abbrand durch die Oberflächentemperaturen von Brennkammer und Satellit massgebend bestimmt.

Die Abgastemperatur beim Eintritt in den Satelliten, Tgas1, steigt nach dem Anfeuern schnell auf 900 °C und sinkt rasch wieder ab. Die Gastemperatur Tgas5 stromabwärts im Abgaskanal (Messpunkt 5, siehe Abb. 4.4) steigt nur auf 300 °C. Während die Gastemperaturen schnell ansteigen und abfallen, ist bei den Schammottstein-Oberflächentemperaturen innen und insbesondere ausen eine willkommene Dämpfung sichtbar (Kachelofen-Speichereffekt). Die für die Wärmeabgabe relevante Oberflächentemperatur T5a erreicht nach dem zweiten Zyklus den Maximalwert von 140 °C.

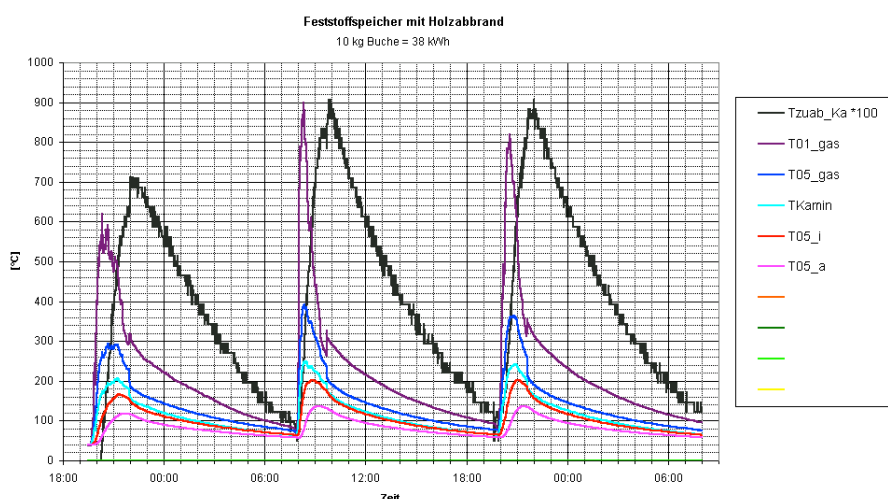


Abb. 4.6: Holzabbrand mit 3 mal 12 Stunden-Zyklen; nach dem 2. Durchgang ist das System eingeschwungen

Vorgesehen war die Messung des Einflusses von Massnahmen wie zusätzliche Kachelverschaltung, Wärmeauskopplung über Mantelwasserregister usw. Die über einen Brennzyklus zugeführte Energie wurde nach verschiedenen Testläufen auf 38 kWh festgelegt, entsprechend einem Buchenholz-Energieäquivalent von 10 kg.

Da eine genügende Wiederholgenauigkeit bei Holzfeuerung (Anfeuerungsverhalten) nur schwer zu erreichen ist, wurde auf die Beheizung mit Gasgebläsebrenner umgestellt, was zu sehr stabilen und wiederholbaren Verhältnissen führte. Nach diversen Optimierungsversuchen wurde die Gasbrenner-Leistung mittels Messung des Propangas-Massedurchflusses auf 25 kW eingestellt. Die ebenfalls geforderte Wärmemenge von 38 kWh ergibt eine Gasbrennerlaufzeit von 1.5 h.

4.2.1 Messung mit Holzabbrand, ohne Kachelhülle

Um 10.15h wird die (noch vom letzten Zyklus warme) Brennkammer mit 10 kg Buchenholz befeuert. Der Energieinhalt von 10 kg Buchenholz entspricht 38 kWh. Die Gastemperaturen im Satelliten (7 Messstellen in den Heizgaszügen) reagieren schnell. Während der Gaseintritt Tgas1 auf 900 °C ansteigt, erreicht die Kaminaustrittstemperatur Tgas7 nur 280 °C.

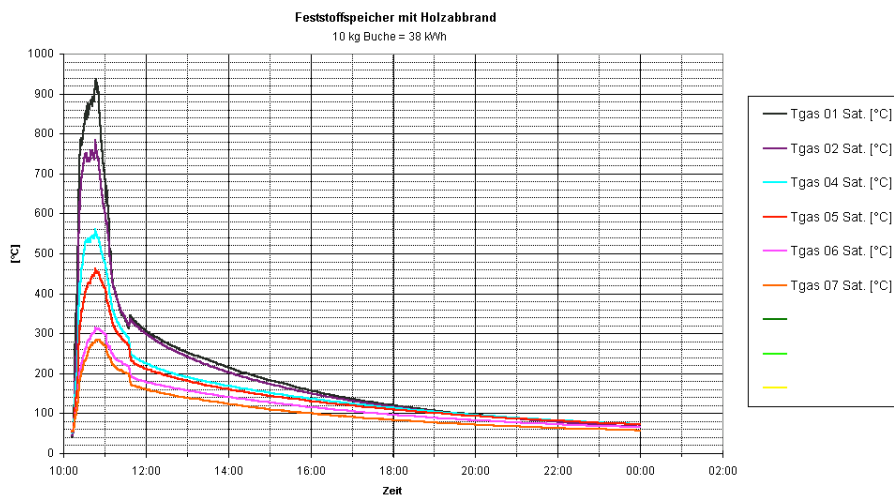


Abb. 4.7: Messung mit Holzabbrand: Gastemperaturen in den Heizgaszügen im Satellit ohne Kachelhülle

Die an den gleichen 7 Orten auf der Speicherstein-Oberfläche aussen gemessenen Temperaturen sind in Abbildung 4.8 gezeigt. Während die Messstelle nahe beim Abgaseintritt Ta1 die höchste Temperatur zeigt (max. 180 °C), weist die Messstelle in der Nähe des Kaminaustritts Ta7 die tiefste Temperatur (max. 105 °C) auf. Wegen Wärmeleitung innerhalb der Steine sind die Temperaturen nicht genau der Reihe 1-7 nach absinkend.

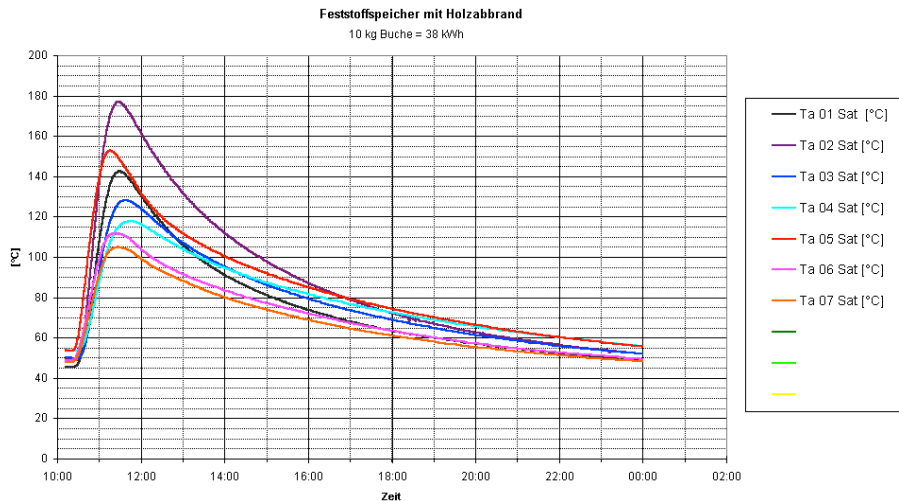


Abb. 4.8: Messung mit Holzabbrand: Oberflächentemperaturen am Satellit ohne Kachelhülle

Auf die weiteren Temperaturverläufe (Brennkammer, innere Oberflächentemperaturen beim Satelliten etc.) soll hier nicht weiter eingegangen werden. Sie werden bei der Validierung selbstverständlich berücksichtigt.

4.2.2 Messung mit Gasbeheizung, ohne Kachelhülle

Wie bereits erwähnt wurde zur Erreichung einer guten Wiederholgenauigkeit auf Beheizung mit Gasgebläsebrenner umgestellt. Um die in der Holzglutmasse noch gespeicherte Heizenergie nachzubilden, wurden beim Gasbrennerbetrieb im Feuerraum einige Speichersteine direkt in den Gasflammenstrom gestellt. Die Brennerleistung von 25 kW (Messung des Propangas-Massedurchflusses) ergibt bei einer Brennerlaufzeit von 1.5 h eine Wärmemenge von 38 kWh (gleiche Energie wie Holzbefuerung). Zum Zeitpunkt 9.00 h wird der Gasbrenner in der Brennkammer mit einer Leistung von 25 kW gestartet. Sofort steigen die Gastemperaturen in der Brennkammer und im Satelliten (Abb. 4.9) schnell an. Die maximale Gastemperatur am Eintritt Tgas1 steigt im Vergleich zum Holzabbrand langsamer an, sinkt aber auch erst wieder beim Abschalten des Gasbrenners um 10.30 h.

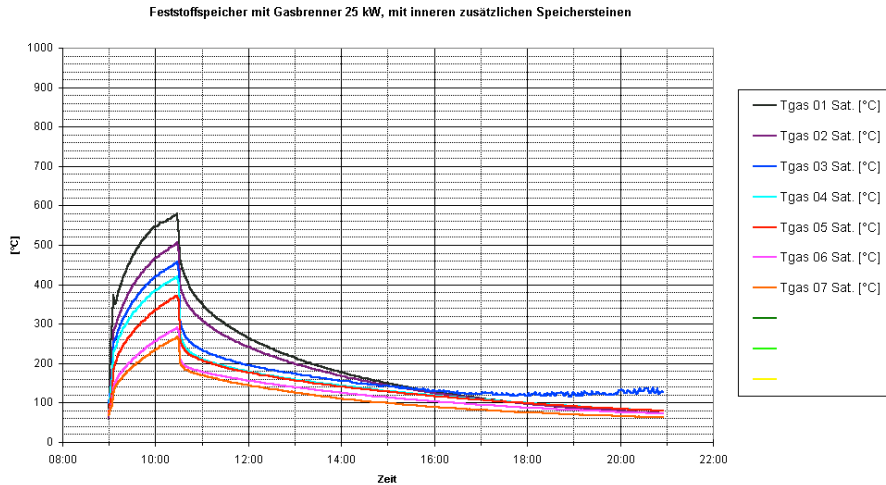


Abb. 4.9: Messung mit Gasbrenner: Gastemperaturen in den Heizgaszügen im Satellit ohne Kachelhülle

Die an den gleichen 7 Orten auf der Speicherstein-Aussenoberfläche gemessenen Temperaturen sind in Abbildung 4.9 dargestellt. Während die Messstelle nahe beim Abgaseintritt Ta1 die höchste Temperatur (max. 140 °C) zeigt, ist die Temperatur an der Messstelle in der Nähe des Kaminaustritts Ta7 am tiefsten (max. 110 °C). Wegen Wärmeleitung innerhalb der Steine sind die Temperaturen nicht genau der Reihe 1-7 nach absinkend.

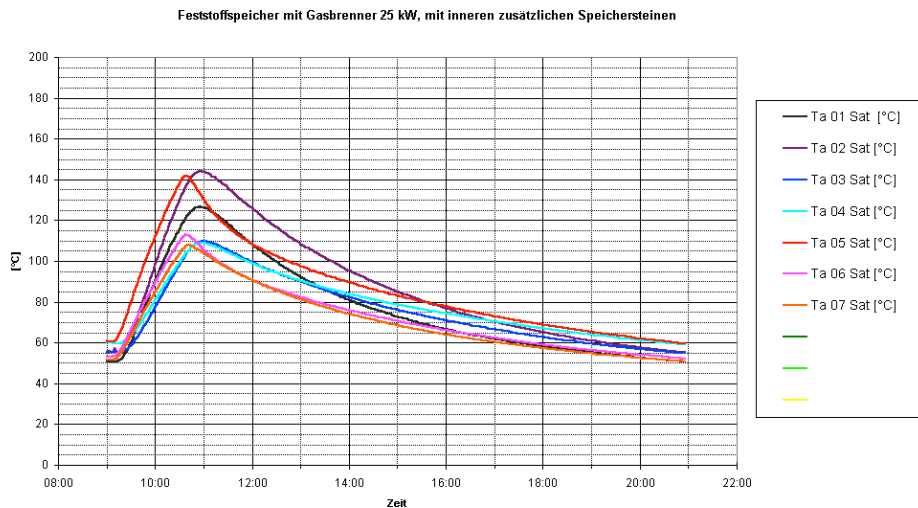


Abb. 4.10: Messung mit Gasbrenner: Oberflächentemperaturen am Satellit ohne Kachelhülle

4.2.3 Messung mit Gasbeheizung, mit Kachelhülle

Als nächster Schritt wurden die Brennkammer und der Satellit mit einer Kachelaussenhülle versehen, also der in Abbildung 4.1 sichtbare gemauerte Kern mit zementhaltigen Faserplatten verkleidet (Abb. 4.2). Der Luftspalt zwischen Speichersteinen und Aussenhülle beträgt durchschnittlich 3 cm.

Auch hier wurde jeder Feuerungslauf im 12 Stunden-Rhythmus dreimal wiederholt. Der Gasgebläsebrenner mit seiner Leistung von 25 kW wurde jeweils 1.5 h betrieben, was einer eingebrachten Energiemenge von 38 kWh entspricht. Der dritte Messlauf war wiederum der eigentliche Messlauf, der für die Simulation verwendet wurde.

Abbildung 4.11 zeigt den Temperaturenverlauf des Abgasstroms in den Heizgaszügen des Satelliten.

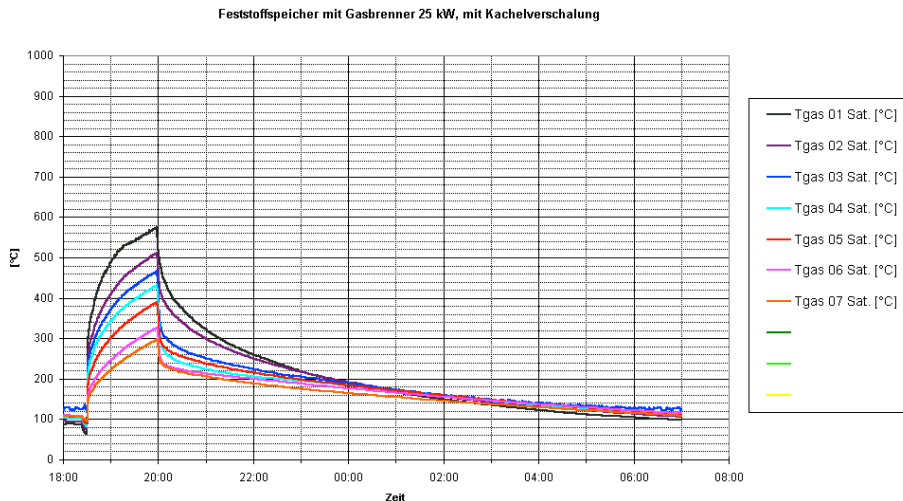


Abb. 4.11: Messung mit Gasbrenner: Gastemperaturen in den Heizgaszügen im Satellit mit Kachelhülle

Bei grosser Leistung (bei eingeschaltetem Brenner oder kurz nach Start) sind die Gastemperaturen beim Satelliten mit Kachel fast identisch mit den Gastemperaturen beim Satelliten ohne Kachelwand (vergl. Abb. 4.9). Dies weist auf die gute Wiederholbarkeit mit dem Gasbrenner als Wärmequelle hin. Bei gleichem Wärmeinput ist dies auch zu erwarten, weil die aussen zugefügte zusätzliche Wärmedämmung (Kachelwand mit Luftspalt) innen in den Heizgaszügen bei dieser grossen Leistung kaum zu spüren ist. Nach 12 Stunden liegen die Temperaturen hier immer noch bei 120 °C, während sie beim Aufbau ohne Kacheln auf 80 °C abgekühlt sind (d.h. bei kleiner Leistung wird der Kühleffekt wegen Fehlens des äusseren Kachelaufbaus deutlich bemerkbar).

Abbildung 4.12 zeigt den Verlauf der Oberflächentemperaturen der Speichersteine beim Satelliten. Die hier beim Aufbau mit Kachelwand gemessenen Temperaturen sind massiv höher als beim Versuch ohne Kachelwand (siehe Abb. 4.10). Während vorher die maximale Temperatur 144 °C erreichte, liegt nun der Wert als Folge des "Hitzestaus" bei 195 °C. Die Endtemperatur nach 12 Stunden (vorher bei 60 °C) liegt nun bei rund 90 °C.

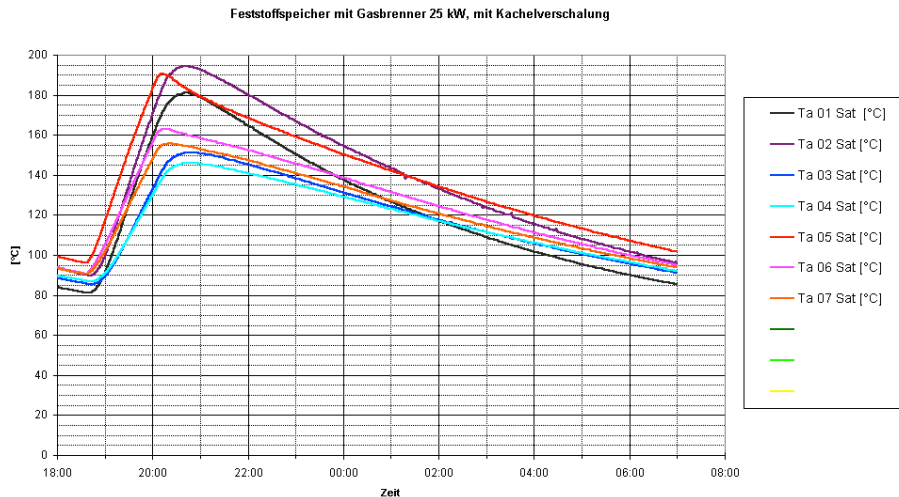


Abb. 4.12: Messung mit Gasbrenner: Oberflächentemperaturen der Speichersteine beim Satelliten mit Kachelhülle

Interessant ist nun der Verlauf der Kacheloberflächentemperatur. In Abbildung 4.13 sind die am Satelliten angebrachten Kachel-Oberflächentemperaturfühler gezeichnet.

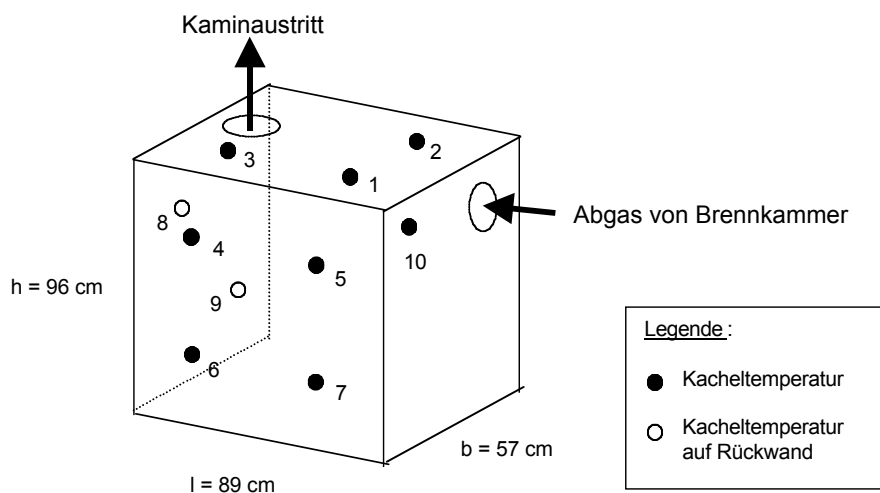


Abb. 4.13: Anordnung der Kachel-Oberflächentemperaturfühler beim Satelliten

Im Luftspalt findet ein Luftwärmeaustausch zwischen den wärmeren und kälteren Zonen statt. Dadurch liegen die verschiedenen Kachel-Oberflächentemperaturen etwas näher beieinander, wie dies in Abbildung 4.14 deutlich ersichtlich ist. Die gemittelte Temperatur der gesamten Kachelfläche ändert innerhalb von 12 Stunden nur zwischen 55 auf 65 °C.

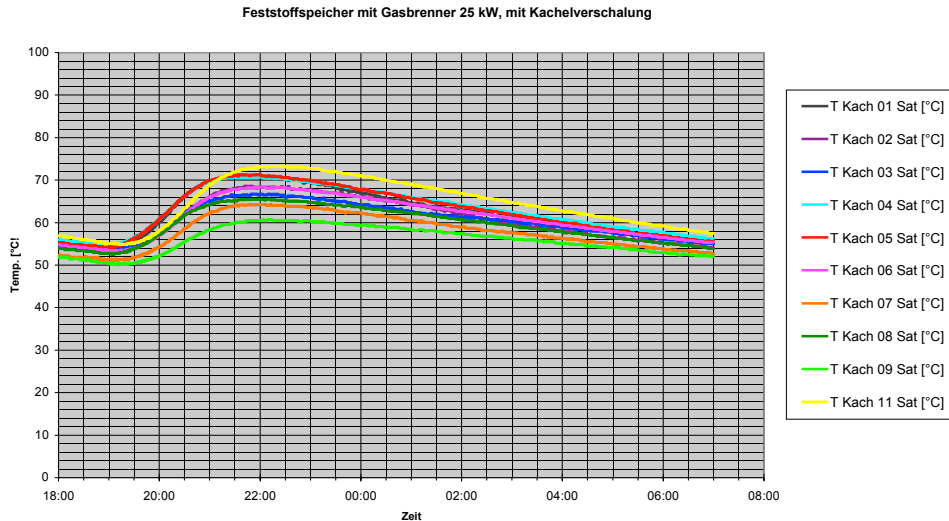


Abb. 4.14: Messung mit Gasbrenner: Kachel-Oberflächentemperaturen am Satelliten

Mit dem Anbringen der Kachel-Aussenhülle und der damit erreichten, zeitlich nicht gross ändernden Wärmeabgabe wird also ein recht guter Heizkomfort erzielt.

4.3 Validierung Speicherofen

Bei der Validierung der rechnerischen Modellbildung für den Versuchsofen stellte sich heraus, dass trotz der detaillierten Messungen einige Annahmen und Vereinfachungen für die Simulation gemacht werden mussten. Durch diese Annahmen entstanden Unsicherheiten, die zu einer gewissen Abweichung von den Messresultaten führten.

4.3.1 Annahmen und Vereinfachungen

Bei der Modellierung des Holz-Speicherofens konnte keine dreidimensionale Wärmeleitung berücksichtigt werden. Es musste von einer eindimensionalen Wärmeleitung ausgegangen werden. Der Aufbau ist in der Abbildung 4.15 dargestellt.

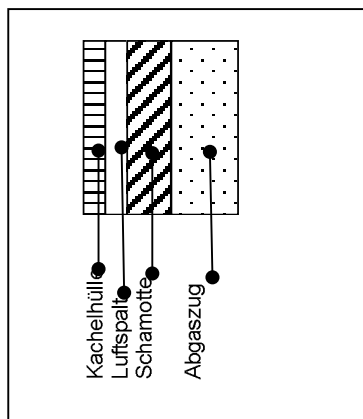


Abb. 4.15: Aufbau der Holz-Speicherofenwand

Die Modellierung mit der eindimensionalen Wärmeleitung hat zur Folge, dass einzelne Speicherstein-Temperaturen nicht mit der Messung übereinstimmen.

Für die Wärmeabgabe an den Raum musste eine gemittelte Oberflächentemperatur verwendet werden. Es konnte keine detaillierte Analyse des einzelnen Standortes erfolgen, wie bei der Messung in Abbildung 4.10 (Kapitel 4.2.2) gezeigt. Es wurde bei der Validierung aber darauf geachtet, dass sich die simulierte Oberflächentemperatur im Bereich der Messung befand.

Für die Messung mit Holzabbrand ohne Kachelhülle musste der Verlauf der Leistungsabgabe des Feuers ermittelt werden. Dies konnte nur auf Grund der Temperaturen und des Abgasmassenstromes erfolgen. Dieser Leistungsverlauf ist mit einer grossen Unsicherheit behaftet.

Beim Modell der Brennkammer wurden die Brennkammertüre und das darin enthaltene Schauglas ohne Masse modelliert. Dies sorgt für ein schnelleres Auskühlen der beiden Elemente gegenüber der Messung. Eine unbestimmbare Grösse war auch der Strahlungsanteil, der direkt durch das Schauglas hindurch in den Messraum gelangte. Hier musste in etwa abgeschätzt werden, ob sich der Wert in einem realistischen Bereich bewegte.

4.3.2 Vorgehen

Die Validierung der Modelle (Brennkammer und Holz-Speicherofen) erfolgte in einem iterativen Prozess. Durch die Validierung wurde erkannt, dass zum Teil Anpassungen an den Modellen nötig wurden. Diese wurden gemacht und anschliessend wurde die Simulation wiederholt.

Als erste Messung wurde die Messung Gasbeheizung ohne Kachelhülle validiert. Dies war die beste Messreihe für die Validierung des Modells. Anschliessend wurde die Messung Gasbeheizung, mit Kachelhülle validiert. Als letzte Messung wurde die Messung Holzabbrand ohne Kachelhülle validiert, da hier zusätzlich noch der Leistungsverlauf des Feuers ermittelt werden musste.

Die Kontrolle der Validierung erfolgte an drei charakteristischen Punkten:

- Leistungszufuhr an die Brennkammer
- Austrittstemperatur aus der Brennkammer
- Eintrittstemperatur in den Kamin

Auf Grund dieser drei Punkte konnte sichergestellt werden, dass jeweils die richtige Energiemenge an die Brennkammer bzw. an den Holz-Speicherofen abgegeben wurde. Natürlich wurde auch versucht, die äusseren Oberflächentemperaturen so gut als möglich zu simulieren. Die Oberflächentemperatur konnte aber nicht so genau bestimmt werden, da in der Simulation nur ein Temperaturwert ausgegeben wurde und bei der Messung aber 7 Messwerte vorhanden waren.

Bei der Messreihe Gasbeheizung, mit Kachelhülle wurden zusätzlich noch die Brennkammertüre und das darin enthaltene Schauglas gemessen. Auch diese Werte wurden möglichst genau simuliert, da diese Elemente die Wärme schnell an den Raum abgeben.

4.3.3 Validierung Gasbeheizung, ohne Kachelhülle

Um die Messung validieren zu können, musste der Simulation der Leistungsverlauf des Feuers, der Abgasmassenstrom und die Raumtemperatur vorgegeben werden.

In der Abbildung 4.16 ist gut zu sehen, dass die Simulation nicht ganz die Abgastemperatur der Messung beim Eintritt in den Holz-Speicherofen erreicht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Direktstrahlung durch das Schauglas bei allen Simulationen auf dem gleichen Wert belassen wurde. Dies gilt allgemein für die wichtigsten Parameter des Modells. Der Wert der Simula-

tion hätte besser angenähert werden können, wenn diese Werte individuell auf jede Messreihe abgestimmt worden wären. Dies war aber nicht im Sinne der gesamten Validierung. Daraus resultiert, dass die Brennkammer dem Abgas etwas zu viel Energie entzieht. Der charakteristische Verlauf der Abgastemperatur konnte aber sehr genau wiedergegeben werden.

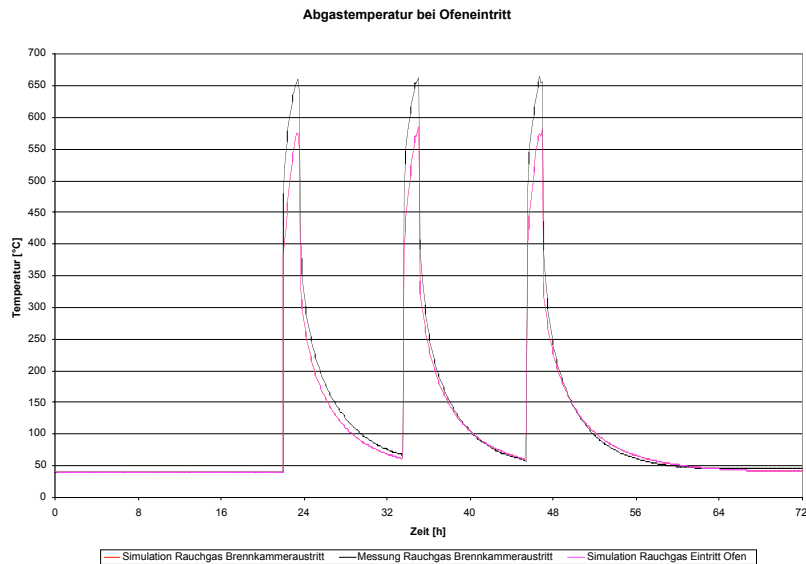


Abb. 4.16: Validierung Messreihe Gasbeheizung, ohne Kachelhülle: Abgastemperatur bei Brennkammeraustritt

In der Abbildung 4.17 ist die Messstelle 5 zu sehen (siehe auch Abb. 4.4). Gut zu erkennen ist, dass hier die Temperaturen sehr genau nachgebildet werden konnten. Eine leichte Verschiebung dieser Werte würde sich ergeben, wenn die Abgastemperaturen in Abbildung 4.16 deckungsgleich mit der Messung modelliert worden wären. Auf den Temperaturwert der Schamotte aussen hätte dies jedoch nur einen kleinen Einfluss.

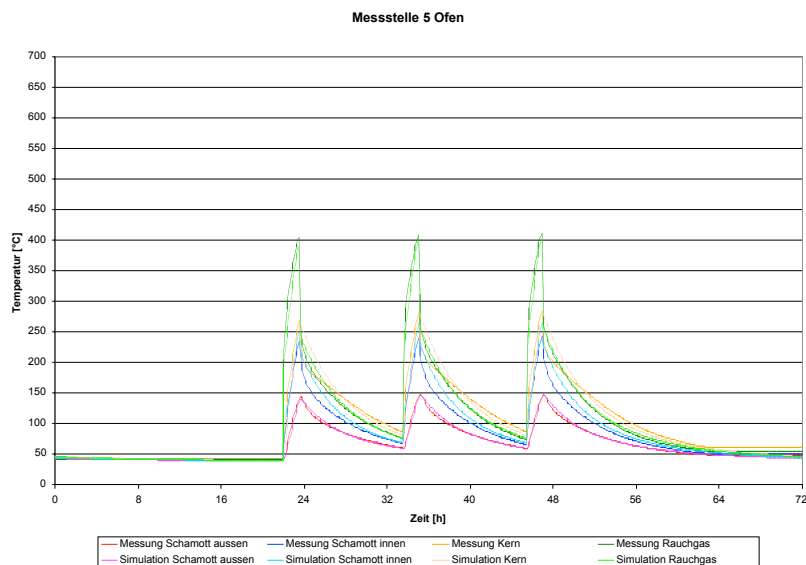


Abb. 4.17: Validierung Messreihe Gasbeheizung, ohne Kachelhülle: Temperaturen Messstelle 5

Am Kamineintritt in der Abbildung 4.18 konnte die Abgastemperatur wieder sehr genau nachgebildet werden. Jedoch ist die simulierte Oberflächentemperatur an der Schamotte aussen höher als jene in der Messung. Diese Abweichung könnte mit der Position des Messfühlers zu tun haben, da sich auf den Oberflächen eine inhomogene Temperaturverteilung einstellt. Der charakteristische Verlauf der Messung konnte aber gut nachgebildet werden.

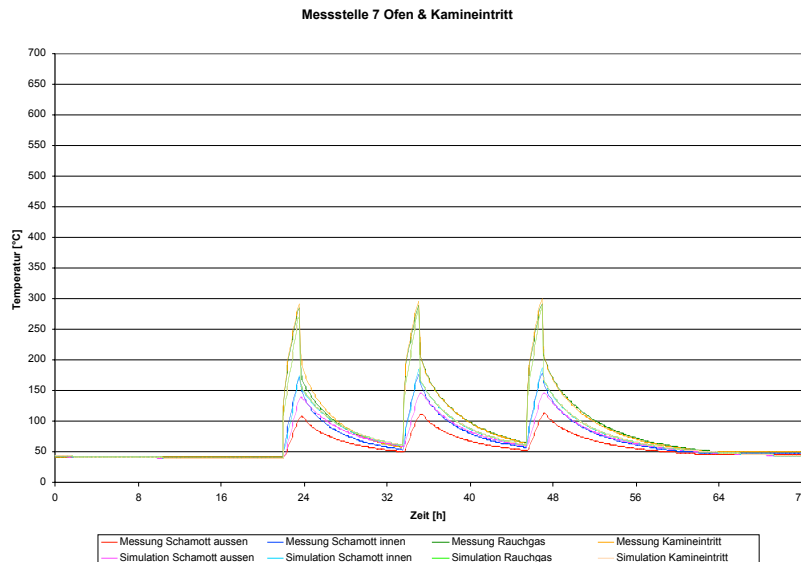


Abb. 4.18: Validierung Messreihe Gasbeheizung, ohne Kachelhülle: Temperaturen Messstelle 7 und Kamineintritt

Die Simulation der Gasbeheizung ohne Kachelhülle konnte gut an die Messung angeglichen werden. Die entstandenen Abweichungen konnten zum Teil durch Modellvereinfachungen und Unsicherheiten (Kapitel 4.3.1) erklärt werden.

4.3.4 Validierung Gasbeheizung, mit Kachelhülle

Bei der Validierung der Messreihe Gasbeheizung mit Kachelhülle machte sich der zusätzliche Widerstand der Kachelhülle bemerkbar. Bei dieser Messreihe wurden auch die Brennkammertüre mitsamt dem integrierten Schauglas erfasst.

In der Abbildung 4.19 sind die gemessenen und simulierten Temperaturen der Brennkammertüre und das darin enthaltene Schauglas zu sehen. In der Simulation konnten diese beiden Elemente sehr gut nachgebildet werden. Es fällt jedoch auf, dass die simulierten Temperaturen schneller auskühlen als bei der Messung. Der Grund dafür kann die massenlose Modellierung der Brennkammertüre und des Schauglases sein. Die Abweichung ist aber gering. Aus der Messung konnte aber der Anteil der Wärmestrahlung, die direkt durch das Schauglas hindurch geht, nicht näher bestimmt werden. Dies wurde bei der Simulation abgeschätzt und stellt die grösste Unsicherheit beim Schauglas dar.

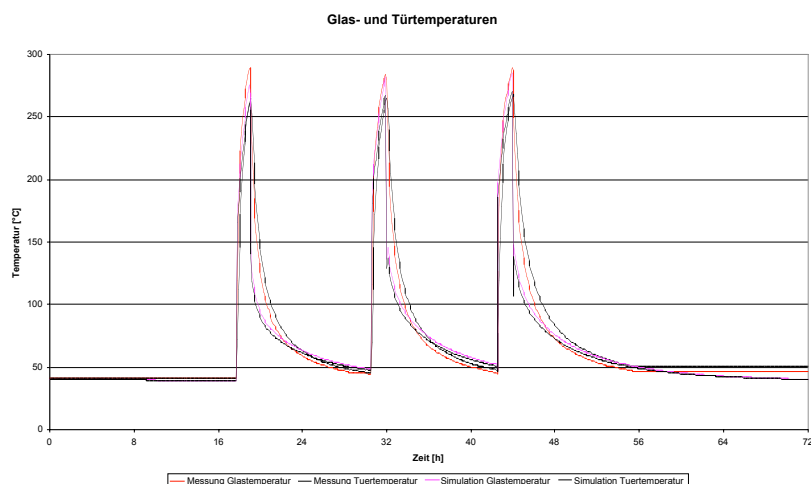


Abb. 4.19: Validierung Messreihe Gasbeheizung, mit Kachelhülle: Temperaturen Brennkammertüre und Schauglas

In der Abbildung 4.20 ist der Austritt aus der Brennkammer bzw. der Eintritt in den Holz-Speicherofen zu sehen. Die Temperaturen konnten gegenüber der Validierung der Messreihe mit Gasbeheizung ohne Kachelhülle besser simuliert werden. Daraus lässt sich schliessen, dass die richtige Energiemenge an die Brennkammer abgegeben wurde. Beim Abkühlen sind kleine Abweichungen auszumachen, die aber für die Energiebilanz nicht ins Gewicht fallen.

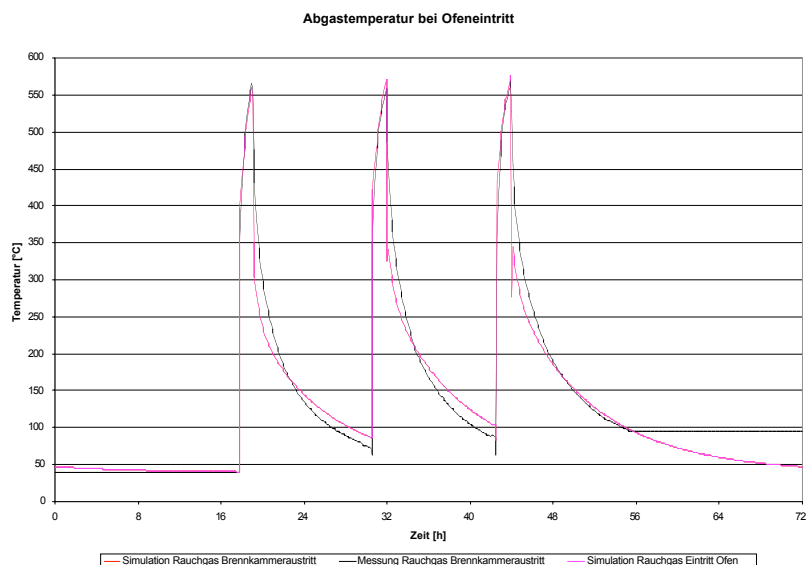


Abb. 4.20: Validierung Messreihe Gasbeheizung, mit Kachelhülle: Abgastemperatur bei Brennkammeraustritt

Bei der Messstelle 5, die in der Abbildung 4.21 zu sehen ist, konnte die Abgastemperatur wieder relativ gut an die Messreihe herangeführt werden. Es fällt jedoch auf, dass die Temperaturen immer mehr abweichen, je näher wir dem Raum kommen (für den Aufbau von innen nach aussen siehe auch Abbildung 4.15). Da die Abgastemperaturen aber gut stimmen, kann man davon ausgehen, dass dem Abgas rechnerisch die richtige Energiemenge entzogen wurde.

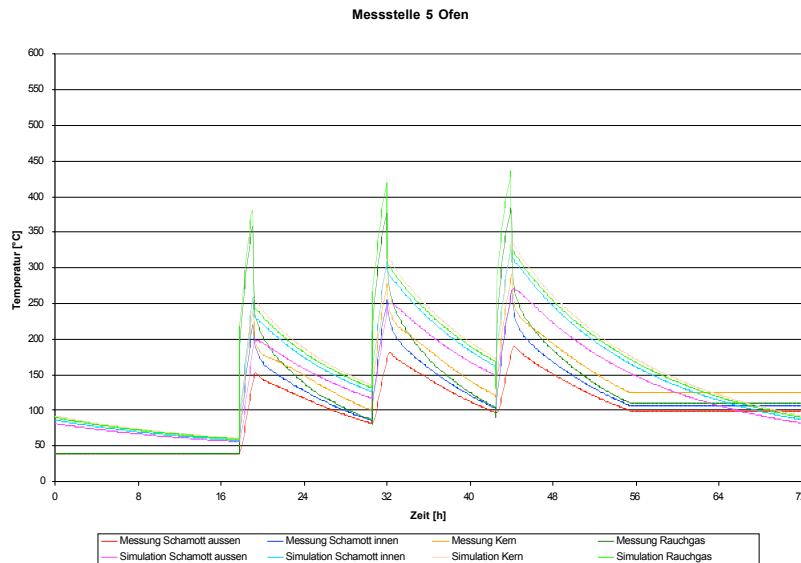


Abb. 4.21: Validierung Messreihe Gasbeheizung, mit Kachelhülle: Temperaturen Messstelle 5

Wie schon bei der Validierung der Messreihe mit Gasbeheizung ohne Kachelhülle konnte auch der Kamineintritt bei der Simulation wieder gut an die Messung herangeführt werden (Abb. 4.22). Auch hier ist wieder zu erkennen, dass je näher wir dem Raum kommen, die Abweichungen zwischen Messung und Simulation grösser werden. Die Abweichungen sind jedoch kleiner als bei der Messstelle 5, die in Abbildung 4.21 dargestellt ist.

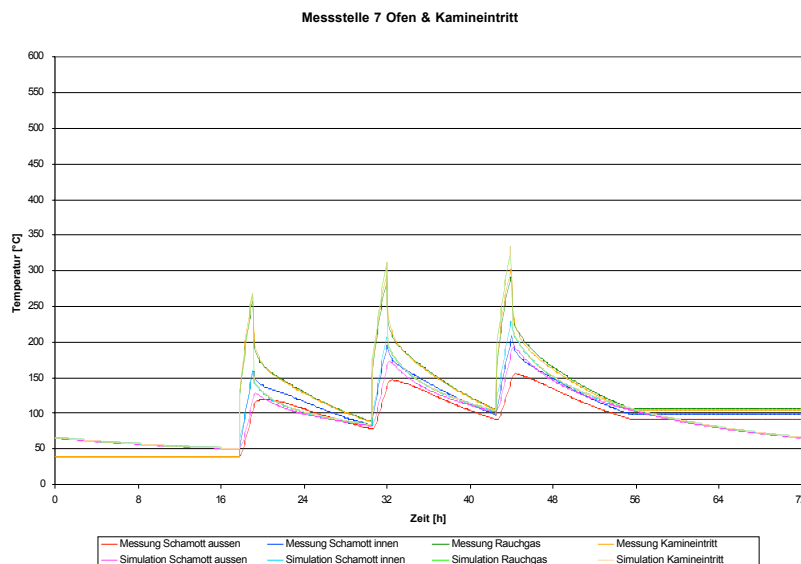


Abb. 4.22: Validierung Messreihe Gasbeheizung, mit Kachelhülle: Temperaturen Messstelle 7 und Kamineintritt

Vergleicht man die Abgastemperaturen zwischen Messung und Simulation, so wird ersichtlich, dass dem Abgas die richtige Energiemenge entzogen wurde. Dies ist in den Abbildungen 4.20 bis 4.22 dargestellt. Die Abweichungen bei den Temperaturen der Schamotte sind auch bei den Temperaturen der Kachelhülle ähnlich. Daraus lässt sich schliessen, dass bei der Kachelhülle die Stoffwerte mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Auch lokale Effekte bei der Messstelle können hier einen Einfluss haben, da bei der Simulation mit gewissen Vereinfachungen und Annahmen gearbeitet wurde.

4.3.5 Validierung Holzabbrand, ohne Kachelhülle

Bei der Validierung der Messreihe Holzabbrand, ohne Kachelhülle musste zuerst der Leistungsverlauf des Holzabbrandes ermittelt werden. Dieser wurde in eine idealisierte Form gebracht. Es wurde bei der Leistungsermittlung davon ausgegangen, dass der Abgasmassenstrom über die gesamte Abbrandzeit konstant ist.

In der Abbildung 4.23 ist der ermittelte Leistungsverlauf zu sehen. Dieser Leistungsverlauf wurde auch für die Simulation von Gebäude und Holz-Speicheröfen verwendet. Die Leistungen variieren aber auf Grund von verschiedenen Beschickungsmengen. Bei dieser Validierung betrug die Beschickungsmenge 10 kg Buchenholz entsprechend 38 kWh (Kapitel 4.2.1, Messung mit Holzabbrand ohne Kachelhülle).

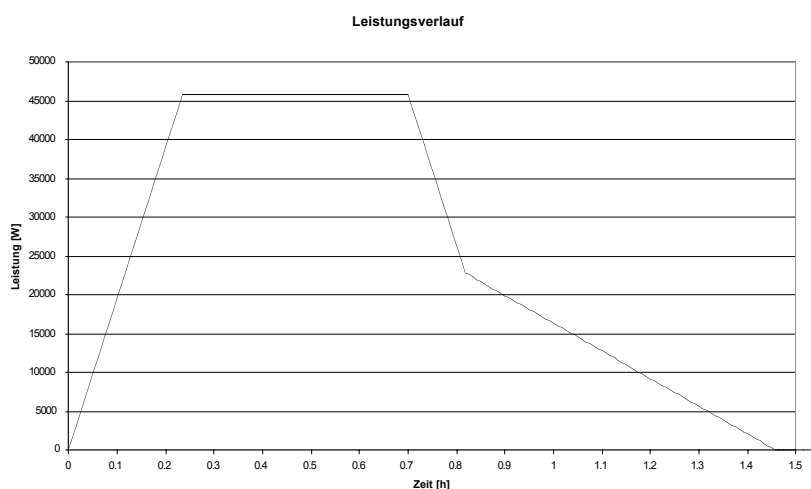


Abb. 4.23: Validierung Messreihe Holzabbrand, ohne Kachelhülle: Leistungsverlauf des Feuers beim Abbrand

Auch bei dieser Validierung wurden die Einstellungen bei der Simulation gleich belassen wie bei den vorhergehenden Simulationen. Dies führte in einzelnen Fällen zu Abweichungen. Diese hätten aber mit angepassten Einstellungen behoben werden können.

In der Abbildung 4.24 ist die Abgastemperatur beim Austritt aus der Brennkammer zu sehen. Gegenüber der Messung mit Gasbefeuerung ist, wie schon im Kapitel 4.2.1 näher beschrieben, eine höhere Abgastemperatur vorhanden. Bei der Simulation konnte der Wert aber gut nachgebildet werden. Es ergeben sich kleinere Abweichungen, die aber nicht grösser sind als bei den vorhergehenden Validierungen mit Gasbefeuerung. Daraus kann man schliessen, dass dem Abgas in der Brennkammer die richtige Energiemenge entzogen wurde.

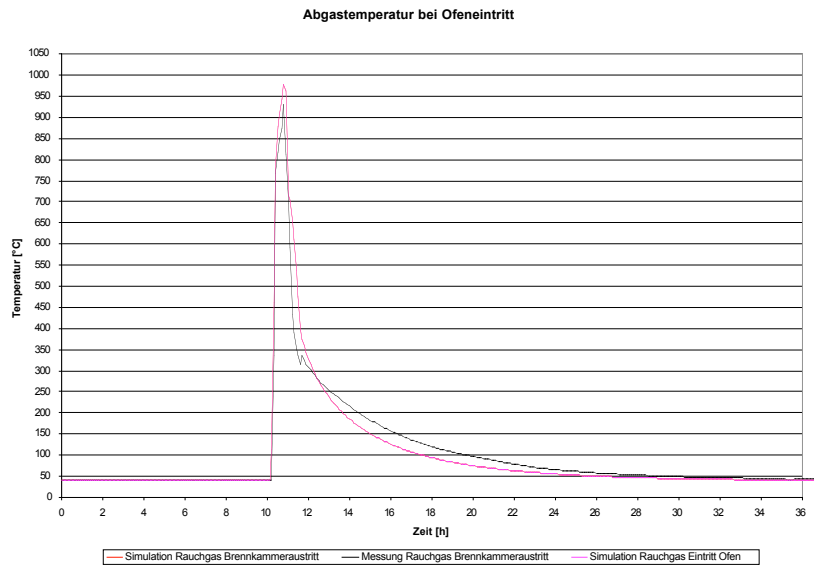


Abb. 4.24: Validierung Messreihe Holzabbrand, ohne Kachelhülle: Abgastemperaturen bei Brennkammeraustritt

Bei der Messstelle 5 konnte die Abgastemperatur wieder gut nachgebildet werden. Wie schon bei der Validierung der Gasbefuerung mit Kachelhülle ergaben sich aber Abweichungen bei den Oberflächentemperaturen. Diese müssen auf lokale Effekte zurückgeführt werden. Dem Abgas wurde aber die richtige Energiemenge entzogen, was die Abgastemperaturen belegen.

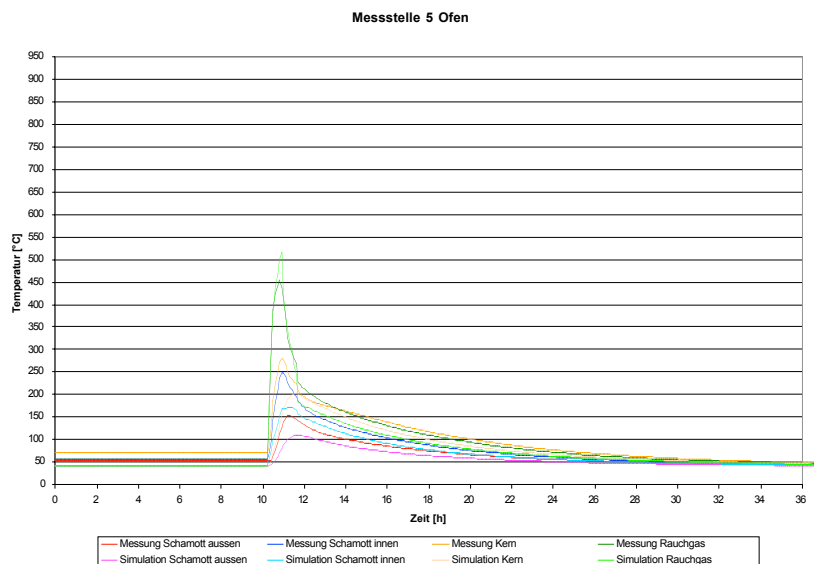


Abb. 4.25: Validierung Messreihe Holzabbrand, ohne Kachelhülle: Temperaturen Messstelle 5

Die simulierte Abgastemperatur beim Eintritt ins Kamin konnte wieder sehr gut an die Messung herangeführt werden. Dies ist in der Abbildung 4.26 ersichtlich. Auch die Oberflächentemperatur der Schamotte aussen konnte fast deckungsgleich zur Messung simuliert werden. Abweichungen entstehen aber teilweise in der Phase nach dem Abbrand. Dort fällt die Abgastemperatur stärker als bei der Messung. Dies kann auf die höheren Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Schamotte zurückgeführt werden. Wenn kein Abgasmassenstrom vorhanden ist, werden die Abgastemperaturen durch die Temperatur der umschliessenden Flächen bestimmt.

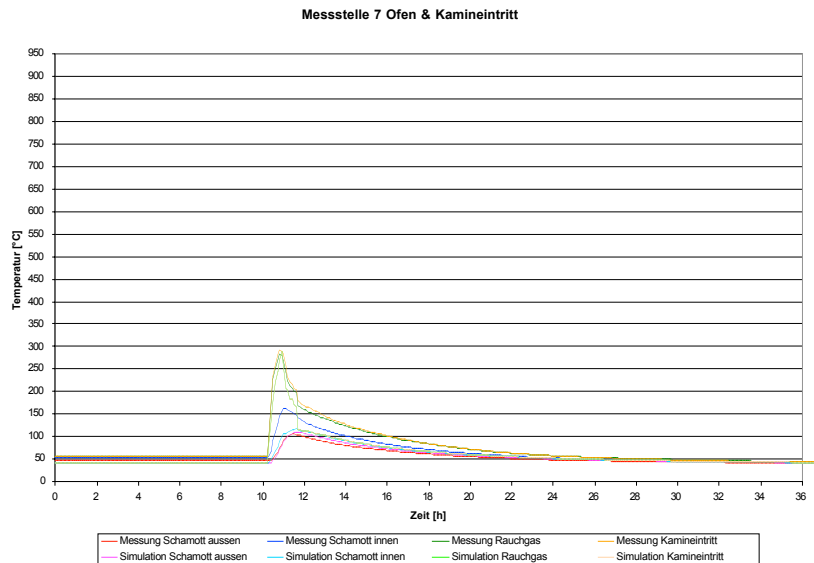


Abb. 4.26: Validierung Messreihe Holzabbrand, ohne Kachelhülle: Temperaturen Messstelle 7 und Kamineintritt

Über alle Validierungen betrachtet kann festgestellt werden, dass eine gute Genauigkeit bei der Simulation erreicht wurde. Die getroffenen Vereinfachungen und Annahmen bei der Modellierung lassen keine genaueren Simulationen erzielen.

4.3.6 Validierung Absorbermodell

Um auch ein einfaches Absorbersystem simulieren zu können, wurde ein Konzept zur Simulation von Absorberöfen entwickelt. Unter einem einfachen Absorbersystem versteht man einen Absorber, der mit einer Pumpe bedient wird. Diese Pumpe wird im EIN-AUS-Betrieb geschaltet. Siehe hierzu auch Abbildung 4.27.

Das System beruht auf einer Flächenauteilung der Schamotte. Da Absorbersysteme immer mit einer Kachelhülle ausgestattet sind, wird der Ofen mit unterschiedlichen Eigenschaften eingegeben. Der Ofenteil, der gegen den Raum gerichtet ist, wird mit einer Kachelhülle ausgestattet. Der Raum, der durch den Absorber versorgt wird, wird ohne Kachelhülle modelliert. Dadurch gibt dieser die Wärme schneller an den Raum ab als wenn eine Kachelhülle vorhanden ist.

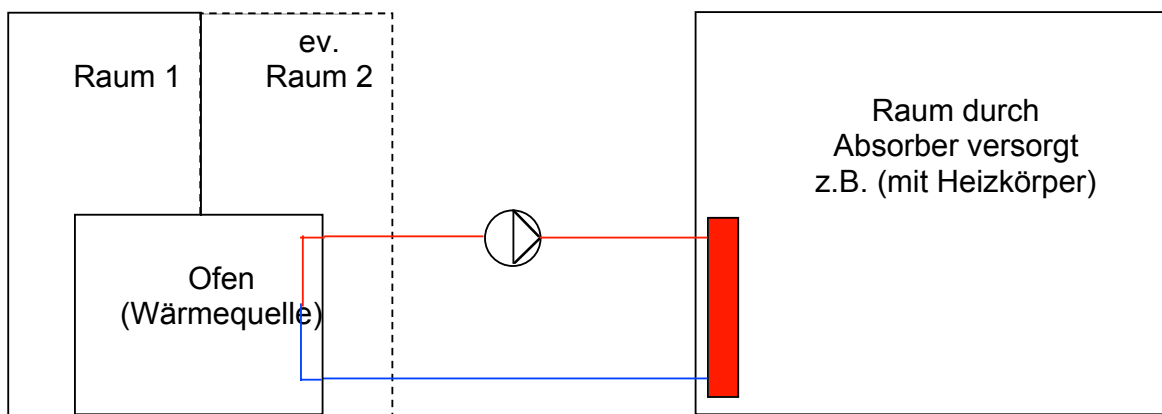


Abb. 4.27: Validierung Absorbermodell, Systemskizze

In der Abbildung 4.28 sieht man die Leistungen, die an den Absorber, bzw. an den Raum abgegeben werden. Der Vorgabewert für den Energieanteil des Absorbers war mit 40 % festgelegt. Gut zu sehen ist, dass die Wärme an den Absorber viel schneller abgegeben wird als an den Raum selbst, was durch die Kachelhülle verzögert wird.

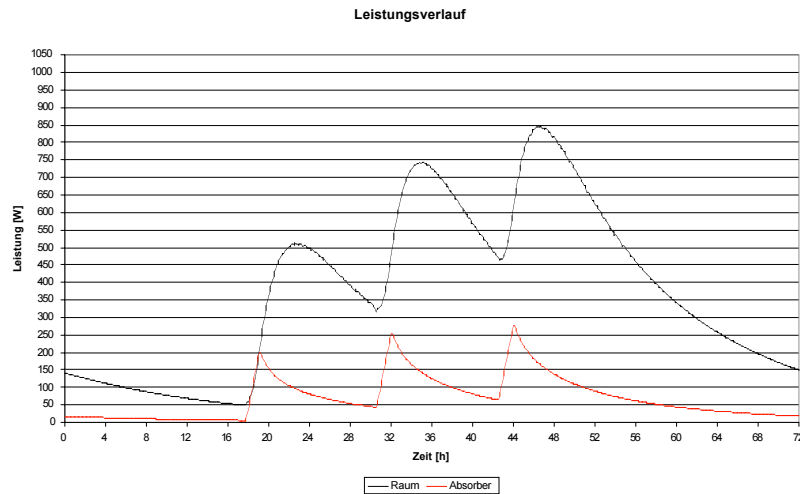


Abb. 4.28: Validierung Absorbermodell: Leistungsabgaben an Absorber und an den Raum

Es wurden mehrere Simulationsreihen mit verschiedenen Absorberanteilen simuliert. Gleichzeitig wurden verschiedene Belegungsarten (z.B. die ersten Züge mit Absorberblech belegt) simuliert.

In der Abbildung 4.29 sieht man die Variante 3 dargestellt. Bei dieser wurde rund 43 % des Ofens mit Absorberblechen bestückt. Die verschiedenen Energieabgaben wurden von 40 % bis 90 % Energieabgabe an den Absorber simuliert. Im Diagramm lässt sich erkennen, dass der Sollwert gut erreicht wird.

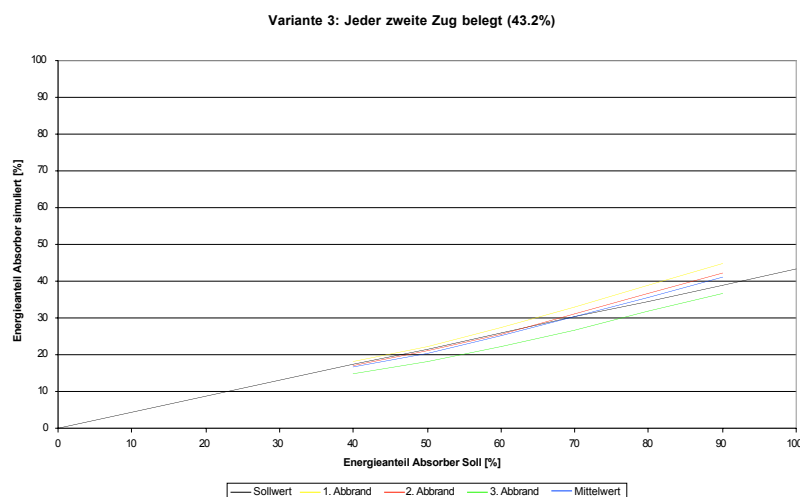


Abb. 4.29: Validierung Absorbermodell: Energieanteil des Absorbers mit Sollwert und simulierten Werten

Einer der grossen Nachteile dieses Modells ist, dass man im Vorhinein bestimmen muss, wie viel der Absorber an Energie bekommen soll. Soll dieser Wert simuliert werden, bedingte dies ein neues Rechenmodell.

5 Validierung Haus/Ofen-System

5.1 Beschreibung der gemessenen Häuser

5.1.1 Haus Nottwil

Das eine gemessene Einfamilienhaus für die Validierung des Komfortberechnungsprogrammes in Nottwil besitzt ein unbeheiztes Kellergeschoss, ein Erdgeschoss mit in der Mitte liegendem Speicherofen, ein Obergeschoss mit einem Satellitenofen sowie einen unbeheizten Estrich. Das Schnittbild (von Westen gesehen) ist in Abbildung 5.1 ersichtlich. Im Schnittbild ist die Lage der beiden Heizgeräte eingetragen.

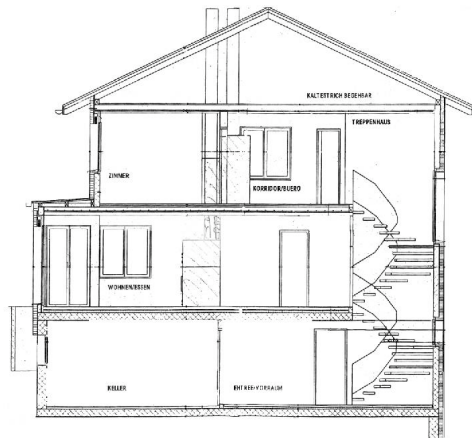


Abb. 5.1: Schnitt durch Haus Nottwil (von Westen gesehen)

Vom Keller-Eingangsraum führt ein offenes Treppenhaus in das Erdgeschoss und weiter in das Obergeschoss. Dabei kann ein Luft-Temperaturausgleich insbesondere vom EG zum OG stattfinden. Im Erdgeschoss liegt in der Mitte der Speicherofen mit beheizbarer Sitzbank (Abb.5.2). Mit einer Umstellklappe können die Abgase indirekt über die Sitzbank oder aber direkt zum Satelliten-Ofen im Obergeschoss geleitet werden. Der Ofen wird durch die untere und mittlere Fülltüre beschickt.



Abb. 5.2 Holz-Speicherofen im Einfamilienhaus Nottwil; Beschickter Speicherofen (Füllschacht über zwei Türen hoch)

5.1.2 Haus Wohlen

Das zweite gemessene und validierte Einfamilienhaus in Wohlen weist ein unbeheiztes Kellergeschoss, ein Erdgeschoss mit im Westen vor einer grossen Fensterscheibe liegenden Speicherofen und ein Obergeschoss mit einer offenen Galerie auf. Das Schnittbild (von Süden gesehen) ist in Abbildung 5.3 ersichtlich. Im Erdgeschoss sind die Bereiche Wohnen, Essen und Küche offen miteinander verbunden. WC/Dusche sind in einer freiliegenden kleinen Zelle rechts neben der Küche in Abbildung 5.3. Ganz rechts ist das mit Schiebetüren abtrennbare TV-Zimmer.

Im offen verbundenen Obergeschoss befindet sich rechts neben der Galerie (Leseplatz) eine freistehende Bürozone, rechts daneben die Badzone und ganz rechts mit Schiebetüren ein abschottbares Schlafzimmer.

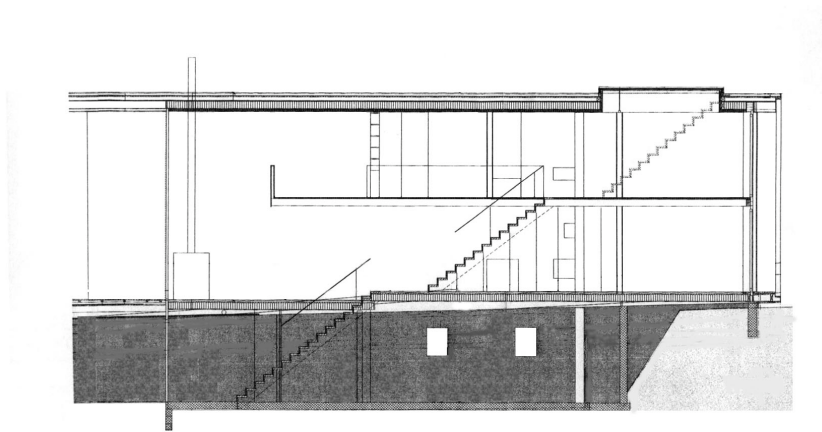


Abb. 5.3: Schnitt durch Haus Wohlen (von Süden gesehen)

Im Westen des Erdgeschosses liegt der Speicherofen direkt hinter der grossen Westverglasung (Abb. 5.4). Wenn die Sonne scheint, so wird die graue Ofenoberfläche zusätzlich durch die direkte Sonneneinstrahlung erwärmt. Dadurch werden die Ofeneigenschaften bei sonnigem Wetter verfälscht!



Abb. 5.4: Sicht auf Wohnzimmer mit Ofen (40 cm hinter Westverglasung)

5.2 Messungen an den Häusern

5.2.1 Haus Nottwil

In Grundrissplan des Erdgeschosses in Abbildung 5.5 sind die Lufttemperaturfühler EG1 - EG5 (Höhe ca. 1.5 m über Boden) sowie die Ofen-Oberflächentemperaturfühler Ofen1 - Ofen5 und die Fühler für Heizgaszug, Türe, Glas und Rahmen eingetragen. Der Aussentemperaturfühler ausserhalb des Fensters ist vor Sonnenbestrahlung geschützt.

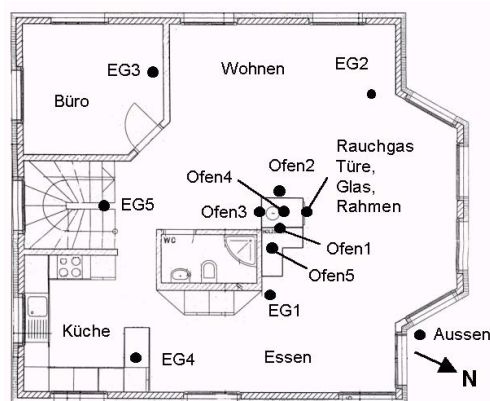


Abb. 5.5: Applizierte Messfühler im Erdgeschoss

In Grundrissplan des Obergeschosses in Abbildung 5.6 sind die Lufttemperaturfühler OG1 - OG6 (Höhe ca. 1.5 m über Boden) sowie die Satelliten-Oberflächentemperaturfühler Sat1- Sat5 und die Fühler für Abgas eingetragen.

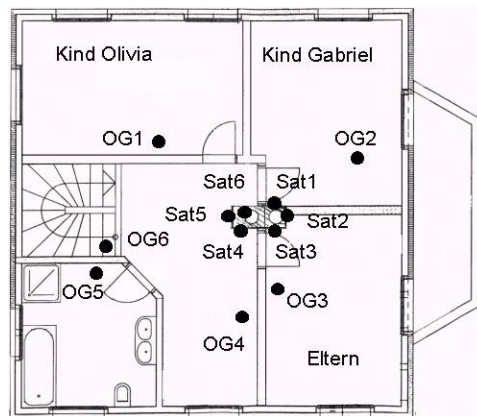


Abb. 5.6: Applizierte Messfühler im Obergeschoss

Abbildung 5.7 zeigt den Speicherofen (von Norden gesehen). Sichtbar sind die Temperaturfühler auf der Sitzbank und der Ofenwand. Auf der Ofentüre wurde mit Stahlbändern (glänzend) ein Fühler auf die Glasscheibe und den Rahmen montiert.



Abb. 5.7: Speicherofen, Sicht auf Temperaturfühler Sitzbank, Ofenwand (Mitte über Sims) und Ofentüren

Im Obergeschoss sind analog zum Ofen im Erdgeschoss verschiedene Temperaturfühler mit Metallklebeband auf die Satellitenoberfläche montiert. In Abbildung 5.8 sind je ein Fühler auf der Stirnseite (Sat5) und auf der rechten Seite (Sat4) sichtbar, die oberen 2 Klebemarken dienen nur zur Kabelbefestigung.



Abb. 5.8: Satellit OG (Sicht auf Temperaturfühler Sat4 und Sat5)

Zur Bestimmung der genauen Platzierung der Temperaturfühler auf der Ofenoberfläche wurden Thermografie-Fotos gemacht mit einer Infrarot-Videokamera der HTA Luzern. Abbildung 5.9 zeigt die Wärmeverteilung des Satelliten (Abb. 5.8). In der Mitte ist der viereckige Aluminiumkleber mit dem Temperaturfühler deutlich sichtbar. Aluminium hat einen sehr geringen Emissionsfaktor und ist darum dunkel im Infrarotbild.

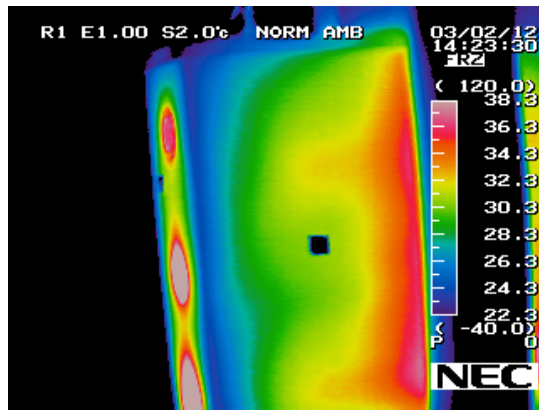


Abb. 5.9: Satellit OG (Infrarotbild mit Sicht auf Temperaturfühler Sat4 und Sat5)

Die vielen 1.5 mm dünnen Thermodrähte wurden mit Papierklebeband an den Holzpartien entlang verlegt. Im Obergeschoss und im Erdgeschoss führen sie je zu zwei Dataloggern. Im Erdgeschoss wurden sie geschützt vor den beiden Kleinkindern auf den Buffetschrank (Abb. 5.10) gestellt, im Obergeschoss auf den darüberliegenden Estrich platziert.



Abb. 5.10: Dezentrale Datalogger (auf Buffetschrank, ausser Kinder-Reichweite)

Die Datenlogger sind über ein 4-adriges Buskabel mit dem Notebook-Computer im Keller verbunden. Alle rund 30 Messkanäle werden im 5 Minutenintervall abgefragt und abgespeichert. Die momentan gemessenen Werte konnten direkt auf dem Bildschirm angezeigt und überprüft werden. Die Daten wurden jede Woche vor Ort herausgelesen.

Abbildung 5.11 zeigt den Verlauf der Temperaturkurven während der kältesten Zeitperiode in der Messkampagne 20.- 28. Februar 2003. Bei den Tagen mit nächtlichen Aussentemperaturen unter Null wird der Ofen mit etwas mehr Holz befeuert. Die Abgastemperaturen erreichen Spitzenwerte von 180°C. Die Ofen-Kacheltemperatur im Erdgeschoss pendelt je nach Beheizung (abhängig vom kalten Wetter) zwischen 30°C und 70°C. Der Temperaturfühler EG4 pendelt bei 18 - 22°C. Die Temperatur im Büro EG3 ist dank stets offener Türe etwa gleich hoch; zu beachten sind die kurzen Temperatureinbrüche als Folge von Stosslüften um ca. 14 Uhr. Die Temperatur OG2 im Obergeschoss im Kinderzimmer ist während kalten Tagen ca. 2°C kühler als im Erdgeschoss und ca. 1°C kühler bei wärmeren Tagen. Auch hier ist deutlich das Lüftungsverhalten (kurzes Fenster-öffnen um jeweils 10 Uhr) sichtbar.

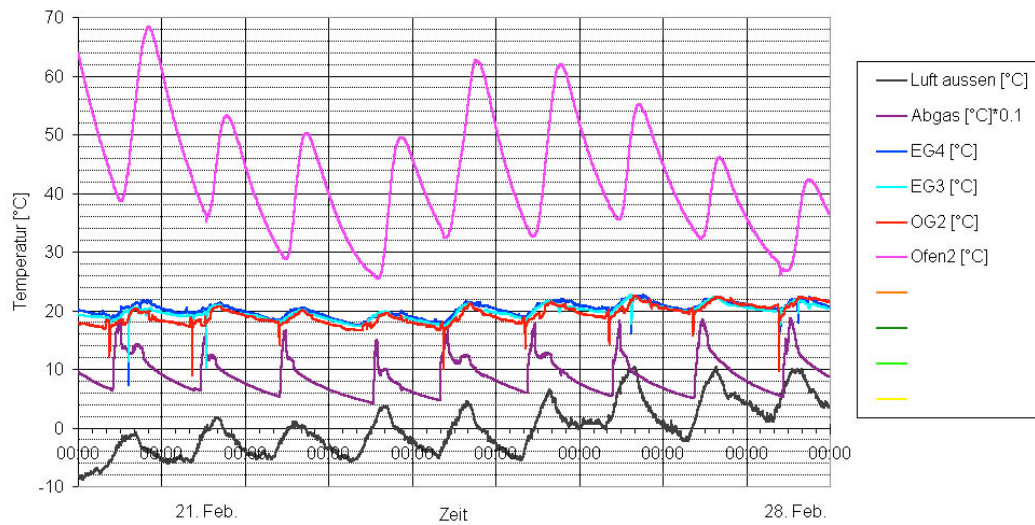


Abb. 5.11: Haus Nottwil: gemessener Temperaturverlauf vom 20.- 28. Februar 2003

5.2.2 Haus Wohlen

Im Grundrissplan des Erdgeschosses in Abbildung 5.12 sind die Lufttemperaturfühler EG1 - EG7 (Höhe ca. 1.5 m über Boden), der Aussentemperaturfühler (geschützt vor Sonnenbestrahlung hinter der Nordfassade) sowie die Ofen-Oberflächentemperaturfühler Ofen1- Ofen6 und die Fühler für Abgas, Türe, Glas und Rahmen eingetragen. Der Fühler EG3 hinter dem Südfassaden-Fenster erwärmt sich bei Sonnenbestrahlung stark und ist damit ein Indikator für sonniges Wetter. Die Datenlogger wurden beim Ofen bzw. beim Fühler EG5 platziert.

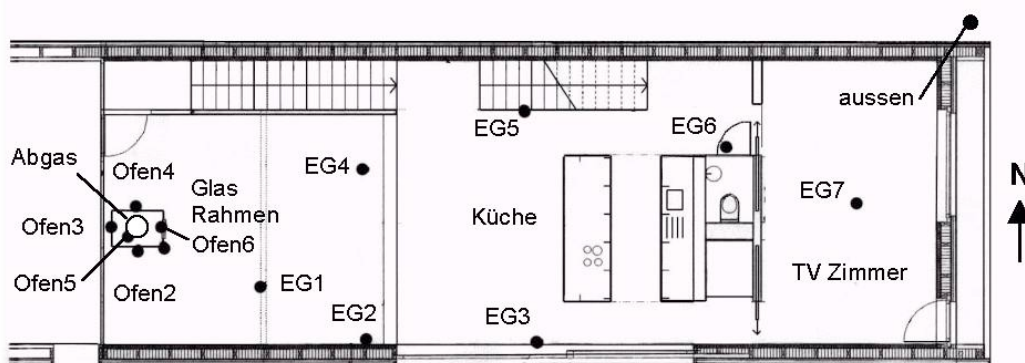


Abb. 5.12: Applizierte Messfühler im Erdgeschoss

Im Grundrissplan des Obergeschosses in Abbildung 5.13 sind die Lufttemperaturfühler OG1 - OG7 (Höhe ca. 1.5 m über Boden) markiert. Die Datenlogger wurden im Büchergestell auf der Galerie, der Notebook-Computer im Büro platziert. Die Schiebetüren des Schlafzimmers (Eltern) wurden nachts geschlossen, was zu einer markanten nächtlichen Temperaturabsenkung bei OG5 und OG6 führte.

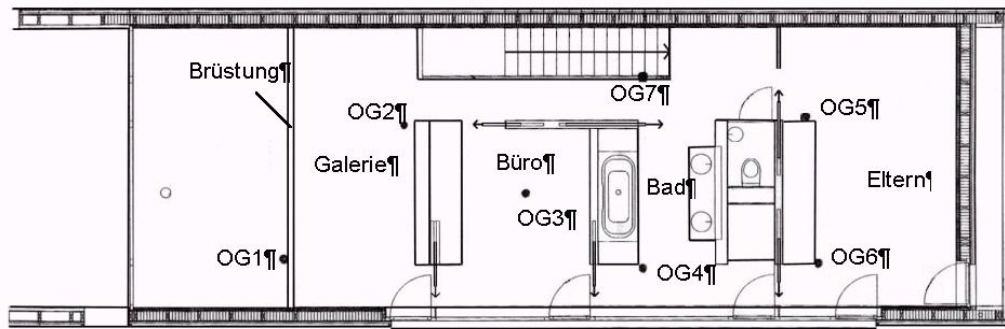


Abb. 5.13: Applizierte Messfühler im Obergeschoss

Generell hat die Sonneneinstrahlung einen sehr starken Einfluss auf die Innentemperatur, genaue Simulationen lassen sich daher nur anhand Messungen von nicht sonnigen Tagen durchführen.

Abbildung 5.14 zeigt den Verlauf der Temperaturkurven in der kältesten Zeitperiode 20.- 28. Februar 2003 der Messkampagne. Bei den Tagen mit nächtlichen Aussentemperaturen unter Null wird der Ofen bis 3 Mal angefeuert (sichtbar in der Abgastemperatur mit Spitzen bis 500°C). Der Temperaturfühler EG3 wird bei Sonnenschein beschienen und ist damit ein Indikator für sonniges Wetter (gemessen über 30°C zwischen 24.- 28. Februar). Die Temperatur EG5 im Erdgeschoss liegt bei Tagen ohne viel Sonnenschein immer bei 18 - 23°C, bei Tagen mit Sonnenschein bei 21 - 25°C.

Die Temperatur im Obergeschoss bei der Galerie ist ca. 1°C wärmer als im Erdgeschoss. Die Schlafzimmertemperatur OG5 ist tagsüber gleich wie OG2; nachts sinkt sie wegen der geschlossenen Schlafzimmertüre deutlich ab.

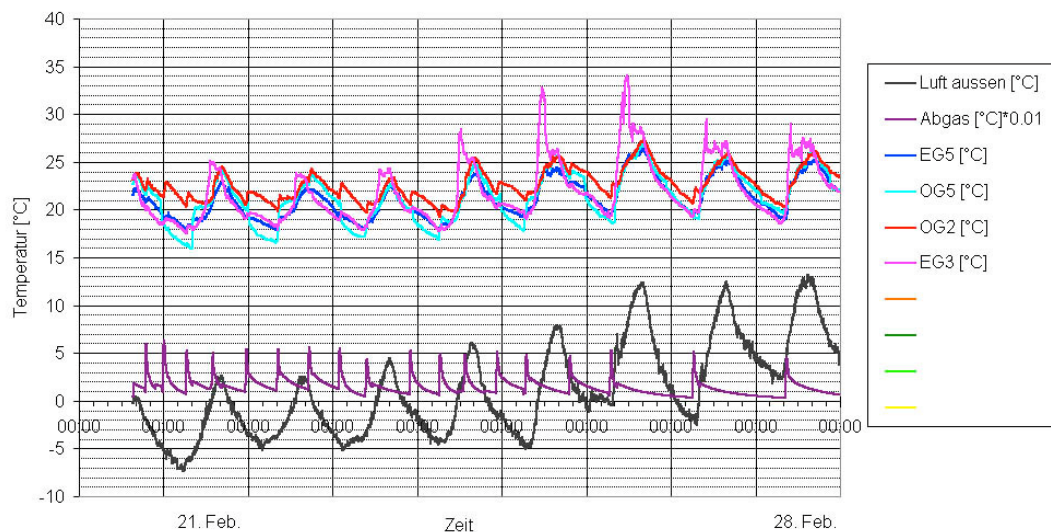


Abb. 5.14: Haus Wohlen: gemessener Temperaturverlauf vom 20.- 28. Februar 2003

5.3 Validierung Haus/Ofen-System

5.3.1 Validierung Haus Nottwil

Wie schon bei der Validierung des Speicherofens aufgrund der Labormessungen (Kapitel 4.3) mussten Vereinfachungen und Annahmen bei der Simulation des Gebäudes mit Holz-Speicherofen getroffen werden.

Bei den Messungen wurde die Aussentemperatur erfasst. Da dies für die Simulation aber nicht ausreichte, mussten die Klimadaten (Aussentemperatur, Sonneneinstrahlung, Wind) von der nächstgelegenen Klimastation verwendet werden. Für das Gebäude in Nottwil war dies die Meteorstation Luzern. Beim Vergleich der Aussentemperaturen wurden nur kleinere Abweichungen festgestellt. Somit konnte davon ausgegangen werden, dass die Klimadaten auch am Standort Nottwil gültig waren.

Die grössten Unsicherheiten entstanden bei der Modellierung des Gebäudes. Die Wand- und Deckenkonstruktionen konnten den Plänen entnommen werden. Bei den Fenstern mussten die thermisch relevanten Werte (U-Wert, g-Wert) abgeschätzt werden. Dadurch konnte bei sonnigem Wetter der Einfluss der Sonnenstrahlung zu einer starken Verfälschung der Werte führen. Das Gebäude besitzt einen beachtlichen Anteil an Fensterfläche. Das Untergeschoss wurde konstant mit 16°C angenommen. Der Dachboden wurde als unbeheizte Zone modelliert. Durch diese beiden Annahmen vergrösserte sich die Modellierungsunsicherheit zusätzlich. Bei einem Vergleich zwischen dem gerechneten Wärmeleistungsbedarf und der gemessenen Heizmenge stellte sich heraus, dass das Gebäude isolationstechnisch etwas zu optimistisch modelliert wurde. Dies machte sich vor allem bei höheren Aussentemperaturen bemerkbar.

Eine weitere Schwierigkeit stellte sich durch die Konstruktion des Ofens. Die vorhandene Sitzbank wurde nicht während der ganzen Betriebszeit des Ofens mit Wärme versorgt (siehe hierzu auch Kapitel 5.1.1). Dieser Effekt konnte mit dem Simulationsmodell nicht erfasst werden.

Als eine grosse Unsicherheit stellte sich der Abbrand des Feuers heraus. Je nach Beschickungsmenge brennt das Feuer kürzer oder länger. In der Simulation musste aber mit einem idealisierten Abbrand des Feuers gearbeitet werden (siehe hierzu auch Kapitel 4.3.5). Durch diese Idealisierung entstanden weitere Abweichungen, die sich vor allem im zeitlichen Verhalten der Wärmeabgabe ausdrückten.

Das Benutzerverhalten beim Fensterlüften konnte nicht simuliert werden. Dadurch wird keine Raumwärme über die Fenster ins Freie gelüftet. Dies sorgt für eine rechnerisch höheren Erwärmung. Ebenfalls wurden keine Personen-, Geräte- und Beleuchtungslasten berücksichtigt.

In den Abbildung 5.15 bis 5.20 ist die ganze Messperiode von drei Wochen dargestellt. In der Abbildung 5.15 ist die Abgastemperatur beim Eintritt ins Kamin dargestellt. Der charakteristische Verlauf konnte gut nachgebildet werden. Die simulierten Temperaturen sind etwas höher als bei der Messung. Dies ist durch den idealisierten Abbrand bedingt.

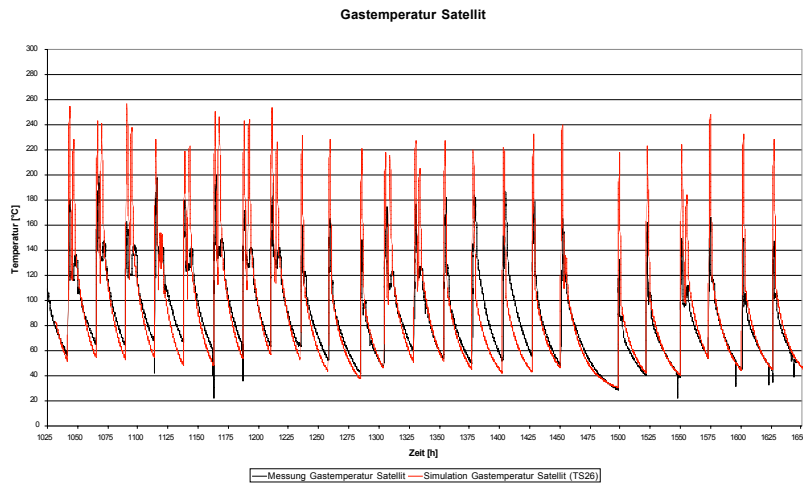


Abb. 5.15: gesamte Messperiode: Abgastemperatur beim Kamineintritt

Die Oberflächentemperatur des Fülltürglases konnte in der Simulation gut nachgebildet werden. Diese Grösse ist in der Abbildung 5.16 dargestellt. Die Temperatur des Glases fällt teilweise aber schneller ab als in der Messung. Dies liegt zum einen am idealisierten Abbrand zum anderen macht sich die massenlose Modellierung des Glases bemerkbar.

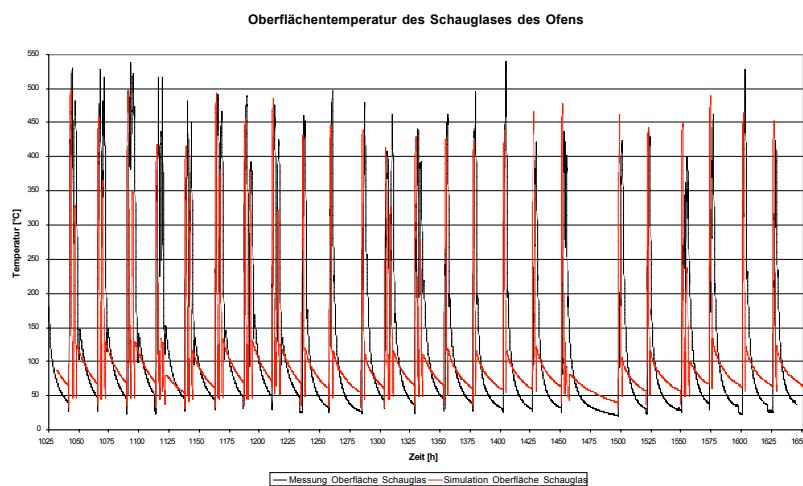


Abb. 5.16: gesamte Messperiode: Oberflächentemperatur des Schauglases

In den Abbildung 5.17 und 5.18 sind die Kacheloberflächentemperaturen der Brennkammer und des Ofens bzw. des Satelliten dargestellt. Die simulierte Kacheloberflächentemperatur des Ofens (Abb. 5.16) liegt unter der gemessenen Temperatur. Hierzu muss gesagt werden, dass bei der Fläche des Ofens die Sitzbank mitgerechnet ist. Würde diese abgerechnet, so würde sich die Oberflächentemperatur auf einem höheren Niveau bewegen.

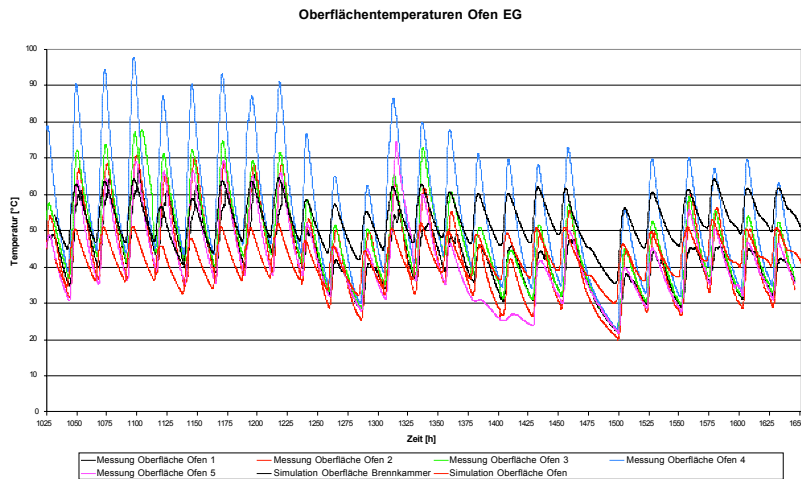


Abb. 5.17: gesamte Messperiode: Kacheloberflächentemperaturen der Brennkammer und des Ofens

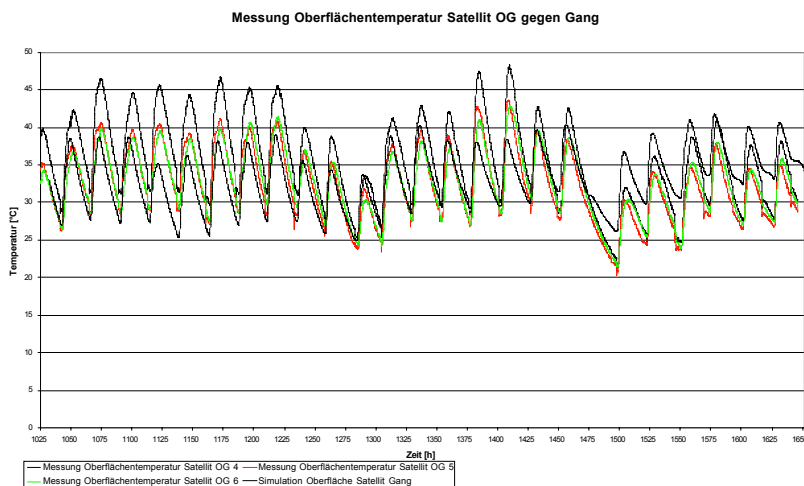


Abb. 5.18: gesamte Messperiode: Kacheloberflächentemperaturen des Satelliten

In der Abbildung 5.19 sind die simulierten Raumtemperaturen des Wohnbereiches im Erdgeschoss zu sehen (siehe Abb. 5.5). Die Temperaturen, die simuliert wurden, liegen immer über denjenigen der Messung. Dies ist auf das Zu- und Wegschalten der Sitzbank zurückzuführen.

Ab der Stunde 1225 beginnt die simulierte Raumtemperatur davon zu driften. Betrachtet man die Aussentemperaturen, so stellt man fest, dass ab diesem Zeitpunkt die Aussentemperatur kontinuierlich anzusteigen beginnt. Hier machen sich die Unsicherheiten im Rechenmodell bei den Fensterkonstruktionen (g-Wert) und dem Benutzerverhalten bemerkbar.

Dieser Effekt mit dem Davondriften der Raumtemperatur konnte im ganzen Gebäude beobachtet werden.

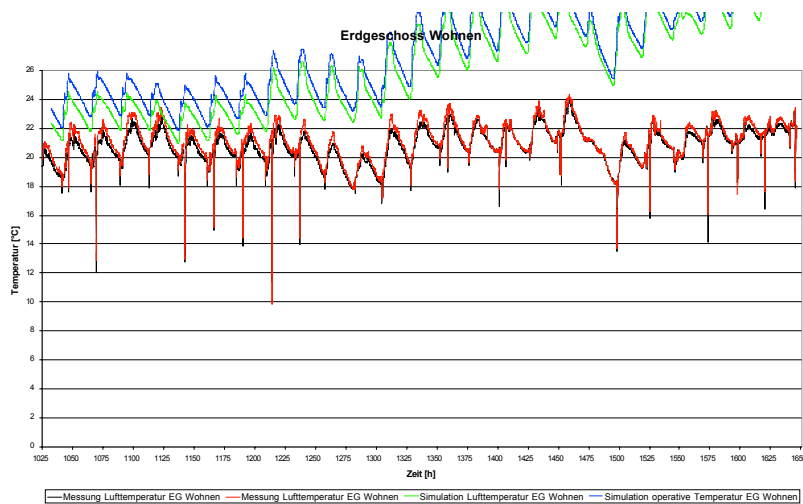


Abb. 5.19: gesamte Messperiode: Raumtemperaturen Erdgeschoss Wohnbereich

Bei der Treppe zwischen Erd- und Obergeschoss konnten die Raumtemperaturen recht gut nachgebildet werden. Dies ist aus der Abbildung 5.20 ersichtlich. Aber auch hier ist das Ansteigen der simulierten Temperaturen ab der Stunde 1225 über die gemessenen festzustellen. Dies ist auf die gleichen Gründe zurückzuführen, wie bezüglich Abbildung 5.18 erläutert.

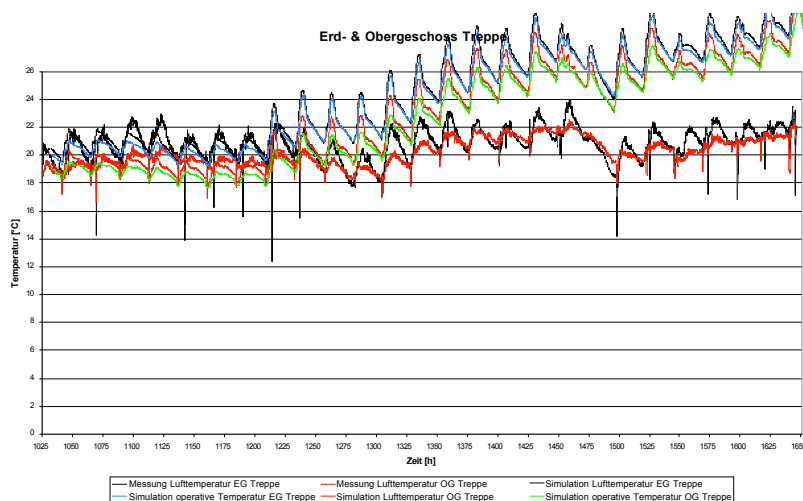


Abb. 5.20: gesamte Messperiode: Raumtemperaturen Erd- und Obergeschoss, Treppe

Da im Erdgeschoss der Ofen auf Grund der Sitzbank etwas zu viel Energie abgibt, erscheint es logisch, dass im Obergeschoss etwas zu wenig Energie abgegeben wird. Dies bedeutet auch, dass die simulierten Raumtemperaturen gegenüber den Messungen eher etwas tiefer liegen sollten. Dieser Effekt ist denn auch im Obergeschoss zu beobachten. In Abbildung 5.21 ist das Kinderzimmer dargestellt. Die simulierten Temperaturen liegen hier eher etwas tiefer als die der Messung. Auch hier beginnen die simulierten Raumtemperaturen bei steigender Aussentemperatur davon zu driften.

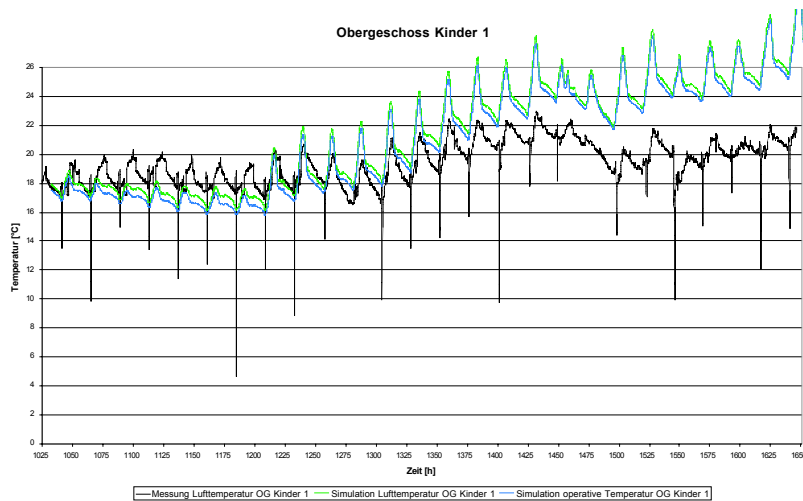


Abb. 5.21: gesamte Messperiode: Raumtemperaturen Obergeschoss Kinderzimmer

Während zweier Tage wurde die Umschaltung auf die Sitzbank nicht vorgenommen. Diese zwei Tage wurden separat simuliert und ausgewertet. Die Auswertung erfolgte nicht so detailliert wie über die gesamte Messperiode.

In der Abbildung 5.22 ist die Abgastemperatur vor dem Eintritt in den Kamin dargestellt. Die simulierte Abgastemperatur ist um einiges höher als die gemessene. Das heisst, dass zu viel Energie durch den Kamin entweicht. Dies liegt am idealisierten Abbrand. Es ist gut ersichtlich, dass bei der Messung das Feuer länger brennt als bei der Simulation. Dadurch haben die Schamottsteine länger Zeit die anfallende Energie aufzunehmen. Bei der Simulation wird zwar heisseres Abgas durch den Holz-Speicherofen geleitet, aber die Schamottsteine haben gar keine Zeit, diese Wärme aufzunehmen. Deshalb wird dem Abgas weniger Energie entzogen.

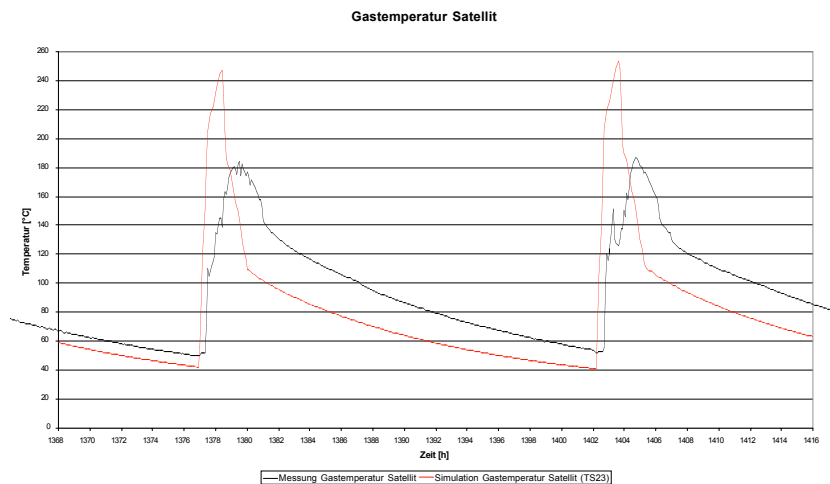


Abb. 5.22: Simulation ohne Sitzbank, Abgastemperatur beim Kamineintritt

In der Abbildung 5.23 sind die Kacheloberflächentemperaturen der Brennkammer und des Ofens dargestellt. Es zeigt sich, dass eine zeitliche Verschiebung zwischen Messung und Simulation vorliegt. Dies ist auf den nur 1.5 Stunden dauernden simulierten Abbrand zurückzuführen. Bei der Messung dauerte der Abbrand länger. Die simulierte Temperatur der Brennkammer liegt eher im oberen Bereich des Messbandes. Jene des Ofens eher an der unteren.

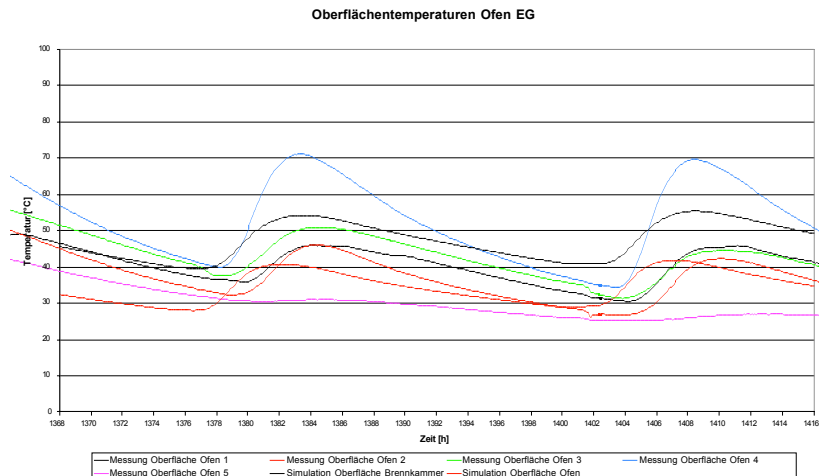


Abb. 5.23: Simulation ohne Sitzbank: Kacheloberflächentemperaturen der Brennkammer und des Ofens

Bei den Raumtemperaturen des Wohnbereiches im Erdgeschoss zeichnet sich das gleiche Bild ab wie bei der Simulation der gesamten Messperiode. Im Erdgeschoss wird etwas zu viel Energie abgegeben. Dies ist in der Abbildung 5.24 dargestellt.

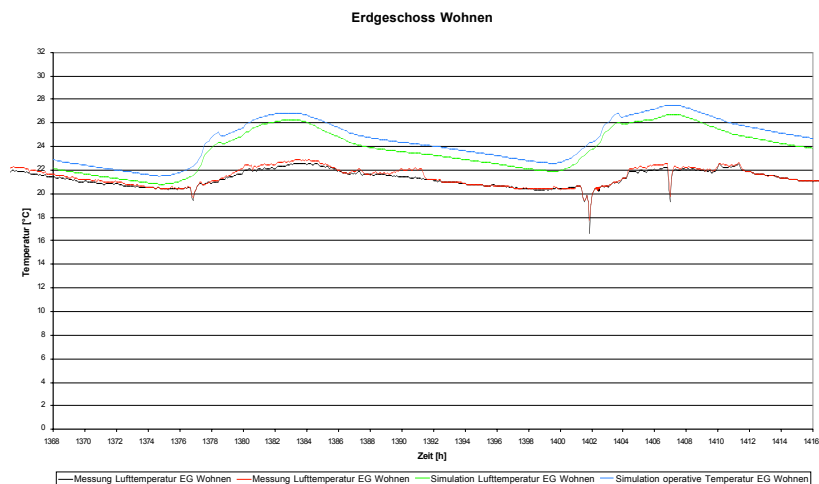


Abb. 5.24: Simulation ohne Sitzbank: Raumtemperaturen Erdgeschoss Wohnbereich

Der simulierte Einfluss der Treppe zwischen Erd- und Obergeschoss entspricht gut den Messungen. Der Wärmeaustausch zwischen Erd- und Obergeschoss ist bei diesem Objekt sehr wichtig. Rund 15 % der vom Holz-Speicherofen abgegebenen Energie wird über die Öffnung der Treppe ins Obergeschoss transportiert.

In der Abbildung 5.25 ist das Kinderzimmer im Obergeschoss dargestellt. Was das Erdgeschoss zu viel an Wärme erhielt, fehlt nun im Obergeschoss. Dort wurden die Temperaturen tendenziell zu tief simuliert (Abb. 5.24).

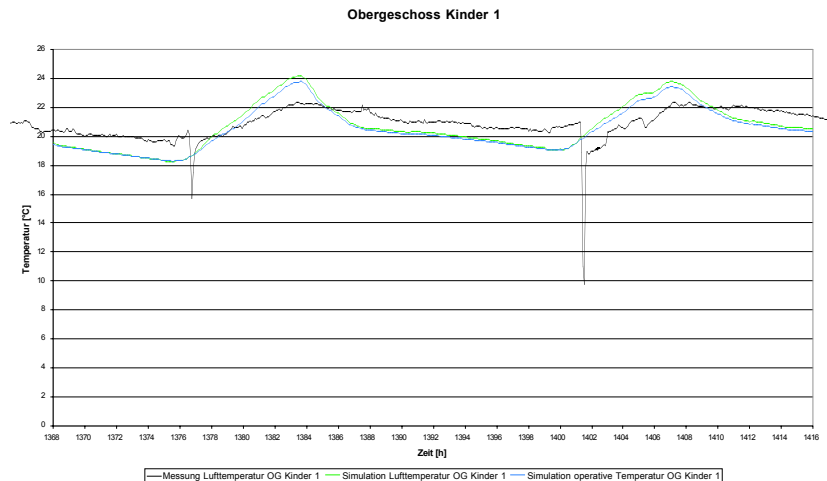


Abb. 5.25: Simulation ohne Sitzbank: Raumtemperaturen Obergeschoss Kinderzimmer

5.3.2 Validierung Haus Wohlen

Auch bei der Validierung des Hauses Wohlen mussten Annahmen und Vereinfachungen getroffen werden.

Bei der Messung wurde auch hier die Aussenlufttemperatur erfasst. Dies liess einen Vergleich mit den Klimadaten der Station Buchs-Suhr zu. Die Abweichungen waren in einem vertretbaren Bereich.

Die grössten Unsicherheiten entstanden wiederum durch die Modellierung der Gebäude. Die Wand- und Deckenkonstruktionen waren zwar aus den Plänen ersichtlich, aber die genauen Wand- bzw. Deckenmaterialien mussten angenommen werden. Die thermischen Werte der Fenster mussten ebenfalls abgeschätzt werden. Da das Gebäude sehr grosse Fensterflächen aufweist, können daraus grössere Abweichungen der Simulation zu den Messungen entstehen. Die beschattenden Elemente wurden so gut als möglich erfasst. Eine weitere Schwierigkeit stellte sich bei der Modellierung der Galerie (Abb. 5.3).

Die Nachbildung der Konstruktion des Holz-Speicherofens gestaltete sich schwieriger als beim Haus Nottwil, da die Pläne nicht den gleichen Detaillierungsgrad aufwiesen. Im Kapitel 5.1.2 ist auch die zusätzliche Erwärmung des Ofens durch die Sonne beschrieben. Dieser Effekt konnte in der Simulation nicht nachvollzogen werden.

Neben dem Holz-Speicherofen war auch noch eine Komfortlüftungsanlage mit Erdluftregister und Wärmetauscher im Haus installiert. Diese wurde nach den Angaben des Planers so gut als möglich nachmodelliert.

Auch bei diesem Objekt stellt der Verlauf der Leistungsabgabe des Feuers eine Unsicherheit dar. Dadurch können grössere Abweichungen entstehen.

Da bei höheren Aussentemperaturen und Sonnenschein die Raumtemperaturen rasch anstiegen, wurden durch die Bewohner längere Perioden mit Fensterlüftungen getätigt. Längere Fensterlüftungen und das Herunterlassen der Storen wurden durch die Bewohner erfasst und so gut als möglich in der Simulation berücksichtigt. Personen-, Geräte- und Beleuchtungslasten wurden aber nicht erfasst.

Die Darstellungen umfassen die gesamte Simulationsperiode von drei Wochen. Darüber hinaus wurden zwei einzelne Tage simuliert (25. und 26. Februar 2003).

In der Abbildung 5.26 sind die Heizgastemperaturen des Holz-Speicherofens zu sehen. Die simulierten Temperaturen betreffen die Heizgastemperaturen am Brennkammeraustritt und beim Eintritt in den Kamin. Die gemessenen Heizgastemperaturen befand sich etwa in der Mitte des Holz-Speicherofens. Entsprechend sollten die gemessenen Heizgastemperaturen zwischen den simulierten Brennkammer- und Kamintemperaturen liegen. Dies trifft über weite Verläufe zu. Auffallend ist aber, dass die gemessene Abgastemperatur nach dem Ausbrand schneller absinkt als die simulierte. Der Holz-Speicherofen kühlt in der Simulation langsamer aus als bei der Messung. Dies mag daran liegen, dass bei der Simulation die Speichermasse des Ofens etwas zu gross gewählt wurde. Es bestehen aber auch Unsicherheiten in Bezug auf die verwendeten Stoffwerte, die diese Abweichungen verursacht haben könnten.

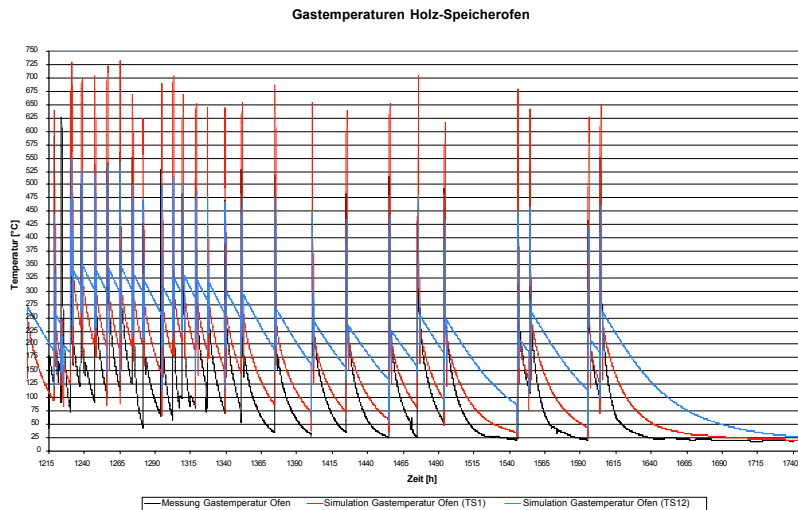


Abb. 5.26: gesamte Messperiode: Heizgastemperaturen Holz-Speicherofen

In der Abbildung 5.27 sind die Kacheloberflächentemperaturen zu sehen. Die simulierten Werte für die Brennkammer und den Holz-Speicherofen stimmen gut mit der Messung überein. Jedoch sind sehr grosse Abweichungen zu Beginn der Messperiode festzustellen. Diese rühren daher, dass bei Messbeginn die Simulation noch nicht vollständig eingeschwungen war. Zudem wurde durch die Bewohner in dieser Zeit sehr stark geheizt, da diese erst kurz zuvor aus den Ferien zurückgekehrt waren.

Ebenfalls gut zu sehen ist, dass die jeweiligen Minima und Maxima mit der Simulation nicht ganz erreicht wurden. Auch dies spricht für eine zu gross angenommene thermische Masse des Holz-Speicherofens oder nicht der Wirklichkeit entsprechende Stoffwerte der Ofenmaterialien.

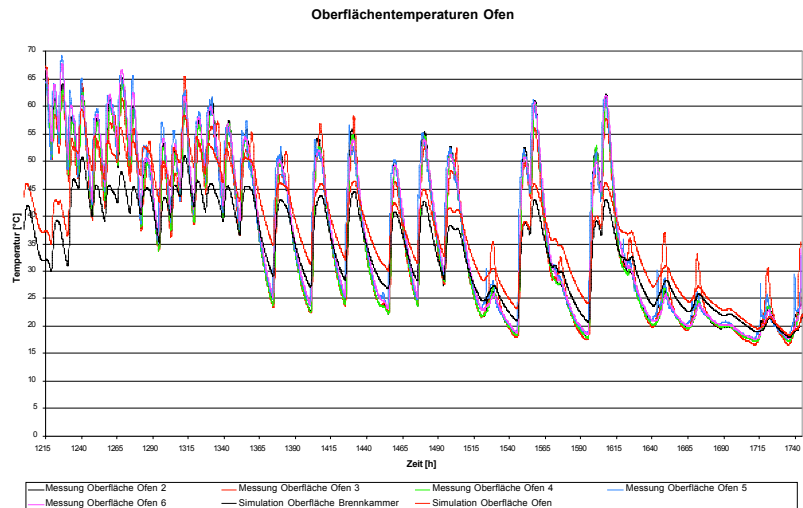


Abb. 5.27: gesamte Messperiode: Kacheloberflächentemperaturen Holz-Speicherofen

Im Raum Wohnen, der sowohl Erd- wie Obergeschoss umfasst, sind die simulierten Raumtemperaturen etwas zu hoch gegenüber der Messung (Abb. 5.28). Dies war zu erwarten, da die ganze Wärme (Konvektive und Strahlung) in diesem Raum anfällt. In der Realität geht aber ein Teil der Wärmestrahlung direkt aus diesem Raum hinaus, da das Gebäude sehr offen gebaut ist.

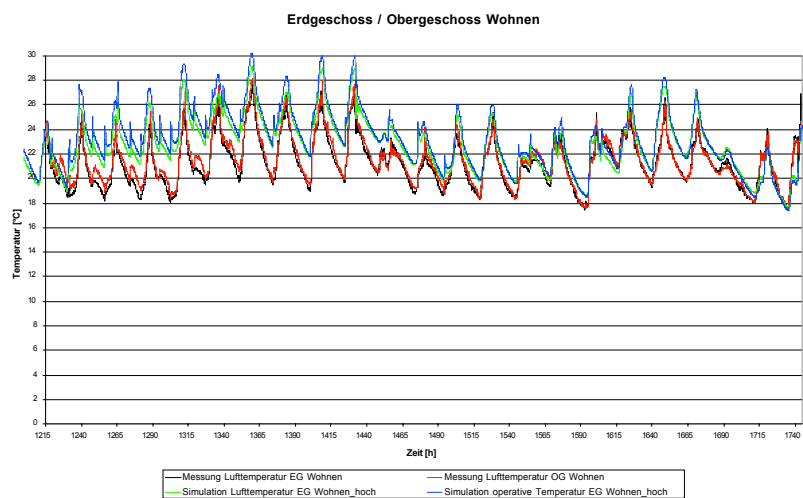


Abb. 5.28: gesamte Messperiode: Raumtemperaturen Wohnen

In der Abbildung 5.29 ist der Temperaturverlauf in der Galerie zu sehen. Die Temperatur in diesem Raum konnte gut nachgebildet werden. Jedoch ist das Auskühlen des Raumes in der Simulation nicht so stark wie bei der Messung.

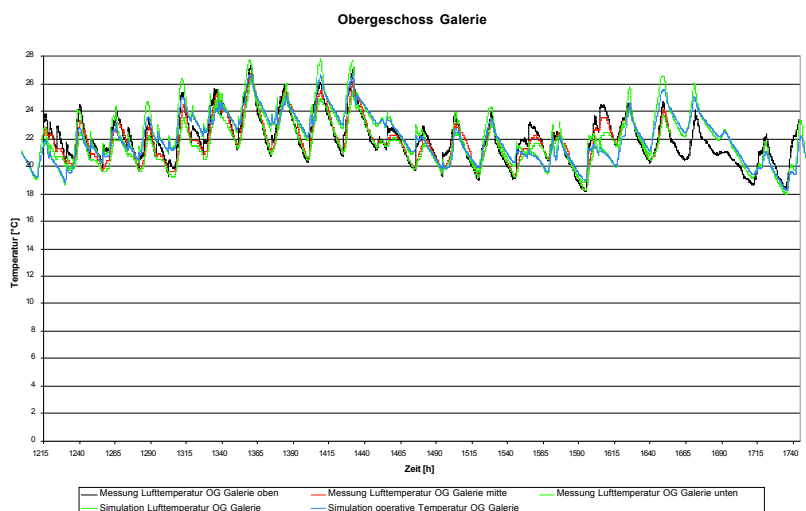


Abb. 5.29: gesamte Messperiode: Raumtemperaturen Galerie Obergeschoss

Auch im Raum Eltern, der in der Abbildung 5.30 dargestellt ist, konnten die simulierten Raumtemperaturen sehr nahe an die Messung herangebracht werden.

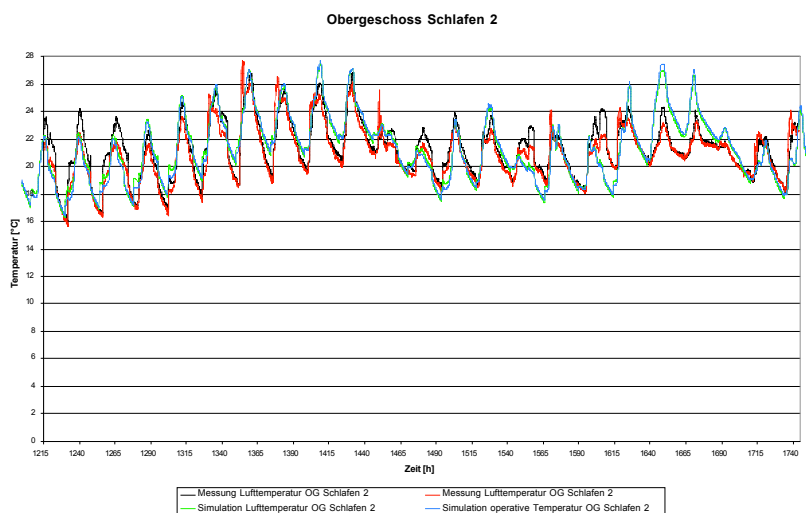


Abb. 5.30: gesamte Messperiode: Raumtemperaturen Eltern Obergeschoss

In Abbildung 5.31 sind die Abgastemperaturen des Holz-Speicherofens über die Messdauer von zwei Tagen ersichtlich. Die gemessene Abgastemperatur bewegt sich nahe der simulierten Eintrittstemperatur ins Kamin. Dies spricht dafür, dass dem Abgas in der Simulation etwas zu wenig Energie entzogen wurde. Da das Gebäude aber thermisch wohl etwas zu optimistisch eingegeben ist, hebt sich dieser Effekt wieder auf.

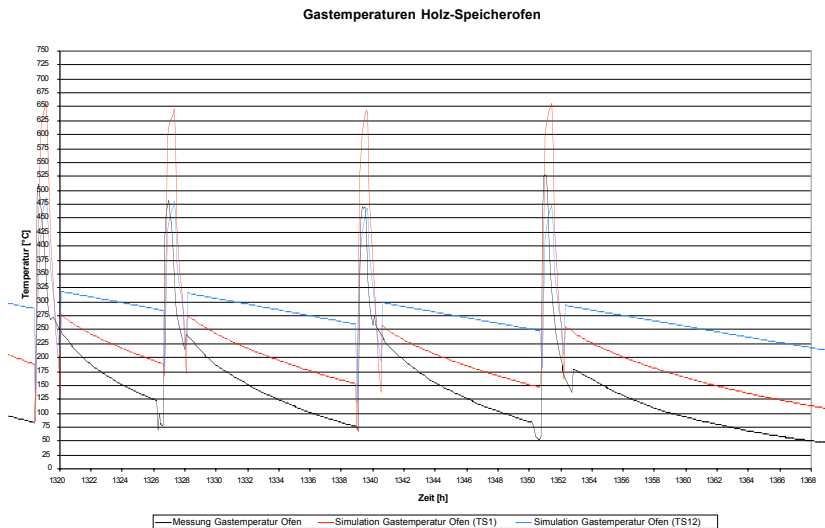


Abb. 5.31: zwei einzelne Tage: Abgastemperaturen Holz-Speicheröfen

In der Abbildung 5.32 sind die Kacheloberflächentemperaturen des Holz-Speicherofens zu sehen. Die simulierte Oberflächentemperatur des Ofens bewegt sich im Bereich der Messungen. Die simulierte Oberflächentemperatur der Brennkammer ist aber ein wenig zu tief. Auch wird eine leichte zeitliche Verschiebung zwischen Messung und Simulation sichtbar. Dies liegt entweder an den Unsicherheiten durch die Stoffwerte des Kachelmaterials oder an einer zu grossen Masse für die Kacheln.

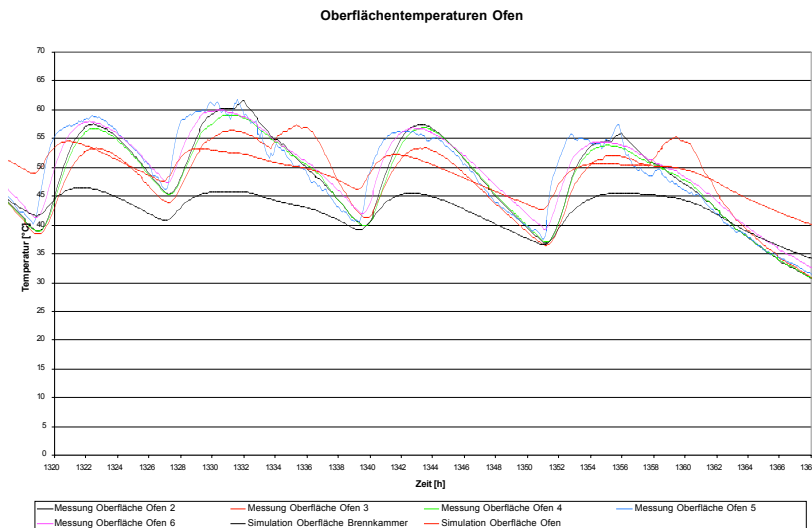


Abb. 5.32: zwei einzelne Tage: Kacheloberflächentemperaturen Holz-Speicheröfen

Bei den Raumtemperaturen des Raumes Wohnen, in dem der Holz-Speicherofen steht, ist das gleiche Verhalten über zwei Tage wie bei der Simulation der gesamten Messperiode zu sehen. In der Abbildung 5.33 entsprechen die kleinen Ausschläge bei den simulierten Temperaturen den Abbrandphasen des Holz-Speicherofens. Die Aussentemperatur dominiert jedoch die Raumtemperatur. Die Messkurven lassen die Ofenabbrände nicht erkennen, was auf die unglückliche Position des Messfühlers zurückgeführt werden kann.

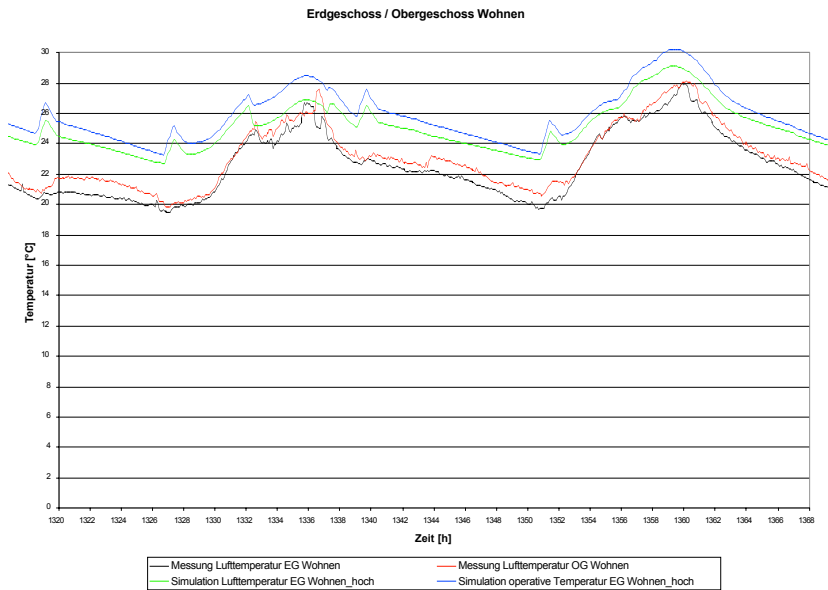


Abb. 5.33: zwei einzelne Tage: Raumtemperaturen Wohnen

Im Raum Galerie konnten die Raumtemperaturen sehr gut nachgebildet werden (Abb. 5.34). Auch hier sind kleine Ausschläge bei den simulierten Temperaturen zu sehen, wenn der Holz-Speicherofen Wärme abgibt. Auch wird gut ersichtlich, dass bei der Simulation das Gebäude langsamer auskühlt als bei der Messung. Dies liegt entweder an zu guten U-Werten der Wände oder an der zu effizient modellierten Komfortlüftungsanlage.

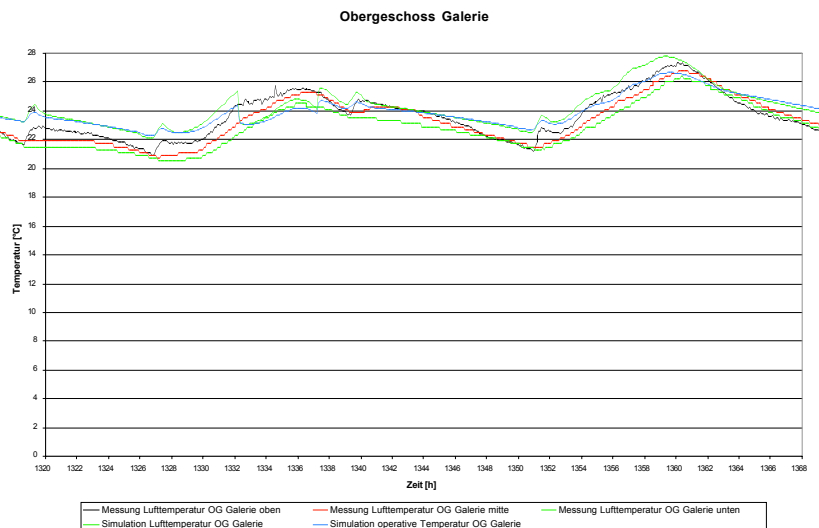


Abb. 5.34: zwei einzelne Tage: Raumtemperaturen Galerie Obergeschoss

In Abbildung 5.35 findet sich der Temperaturverlauf des Schlafzimmers Eltern. Bei der Messung ist gut zu erkennen, dass in der Nacht die Raumtemperaturen durch das Schliessen der Türen zusätzlich absinken. Da die Türöffnung auch in der Simulation berücksichtigt wurde, konnte dieser Effekt nachgeahmt werden. Die Raumtemperaturen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation.

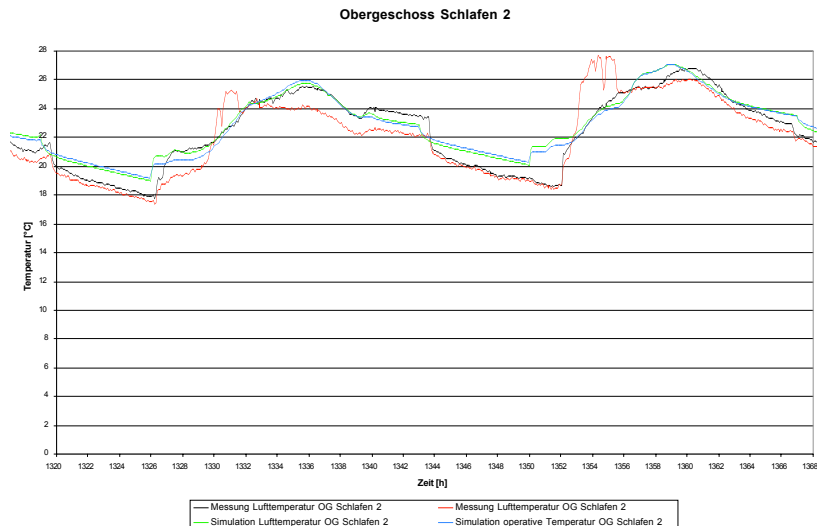


Abb. 5.35 zwei einzelne Tage: Raumtemperaturen Eltern Obergeschoss

5.3.3 Fazit aus den Validierungen der Häuser

Die Simulation von Gebäuden mit Holz-Speicheröfen ist eine sehr komplexe Sache. Zum einen ist die Simulation des Holz-Speicherofens selbst schon äusserst komplex. Kleine Abweichungen bei den Stoffwerten, der Materialstärke usw. können bereits merkliche Einflüsse auf das Wärmeabgabeverhalten des Holz-Speicherofens haben. Dies gilt auch für die Brennkammer mit den Einbauten wie Fülltüre oder Schauglas.

Die Simulation des Gebäudes stellt manchmal hohe Anforderungen an das Verständnis der Luftströme im Gebäude. Diese müssen bei einer Beheizung mit einem Holz-Speicherofen berücksichtigt werden, da ja die Wärmeabgabe diskontinuierlich verläuft. Auch die Gebäudehülle, vor allem die transparenten Bauteile, müssen genau eingegeben werden. Wird bei der Eingabe der Gebäudehülle zu grob abgeschätzt, so können sich bei den Raumtemperaturen grosse Abweichungen zur Realität ergeben.

Das Komfortlüftungssystem des Hauses Wohlen hatte eine ausgleichende Wirkung auf die Temperaturverteilung im Gebäude. Bei Gebäuden mit einem solchen System lassen sich die simulierten Temperaturverläufe am besten an die wirklichen heranführen.

6 Berechnungswerkzeug

6.1 Benutzeroberfläche

Der Zugang zu den Berechnungsprogrammen IDEA XP und Holz-Speicheröfen Komfortberechnungen erfolgt ausschliesslich über das Internet. Nach der Eingabe der Serveradresse (www.ideaxp.ch) öffnet sich die Begrüssungsseite (Abb. 6.1).



Abb. 6.1: Begrüssungsseite des Programms IDEA XP und Holz-Speicheröfen Komfortberechnung

Die Benutzung des Programms ist kostenpflichtig. Grundsätzlich erhält man gegen eine Jahresgebühr von der HTA das Programmnutzungsrecht. Will man den Programmsupport beanspruchen, ist es zwingend notwendig, dass man für die einzelnen Programmbereiche (Grundkurs, Heizleis-

tungsbedarf, Speicherofen-Komfortberechnung usw.) Kurse besucht. Unter der Internetadresse www.hta.fhz.ch/wbk kann man sich über das Kursangebot informieren.

Als Gast kann man das Programm vollumfänglich benutzen. Die einzige Einschränkung besteht darin, dass man nicht ein zweites Mal auf dasselbe Projekt kommt.

Die Projektverwaltung des Programms gibt dem Benutzer die Übersicht über seine verschiedenen Projekte (Abb. 6.2).

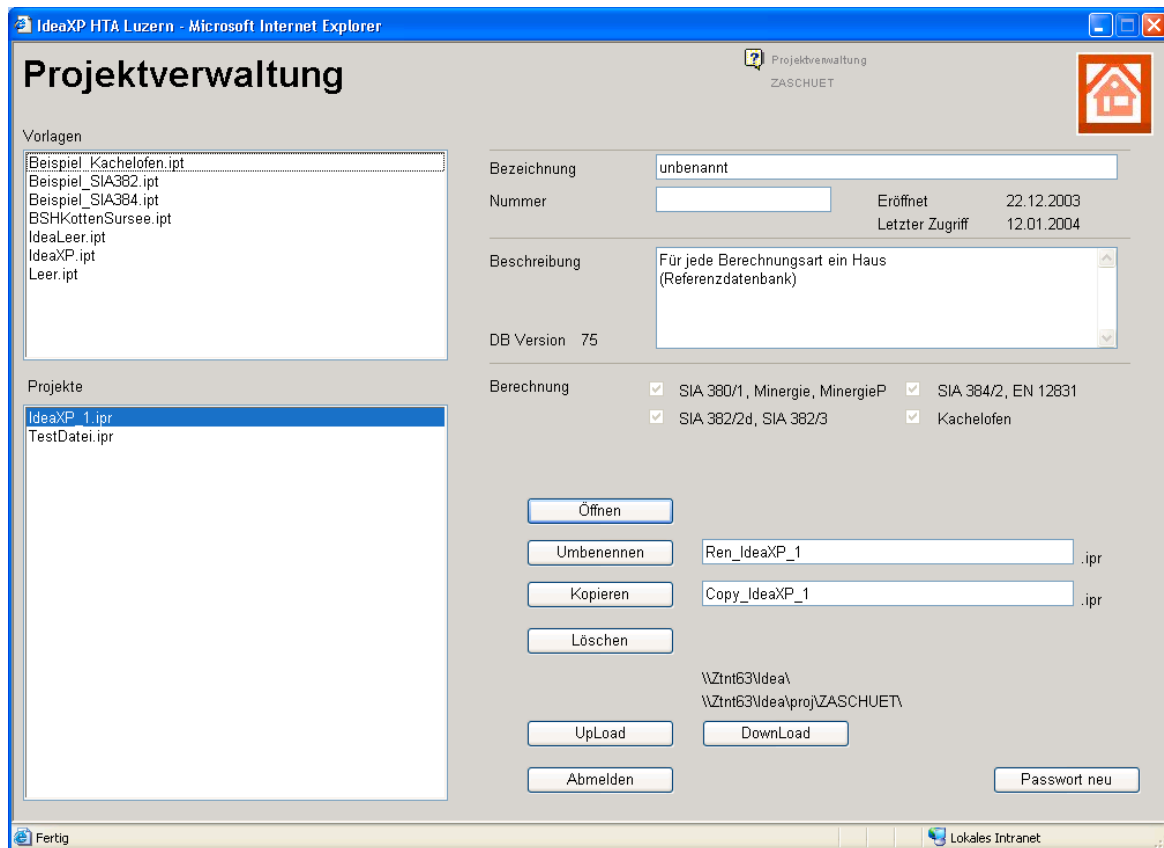


Abb. 6.2: Projektverwaltung

Die Speicherverantwortung für die einzelnen Projekte liegt beim Benutzer.

Das Hauptprogrammfenster zeigt mit einer Baumstruktur die vollständige Modellierung der Eingabedaten (Abb. 6.3). Mit Hilfe dieses Baumes navigiert der Benutzer in den Eingabedaten. Für jede selektierbare Position im Baum (Knoten) erscheint auf der rechten oberen Seite des Programmfensters die Detailansicht der Daten von diesem Knoten. Auf der rechten unteren Seite werden die Daten von gleichen Knoten in einer Tabelle vergleichend dargestellt.

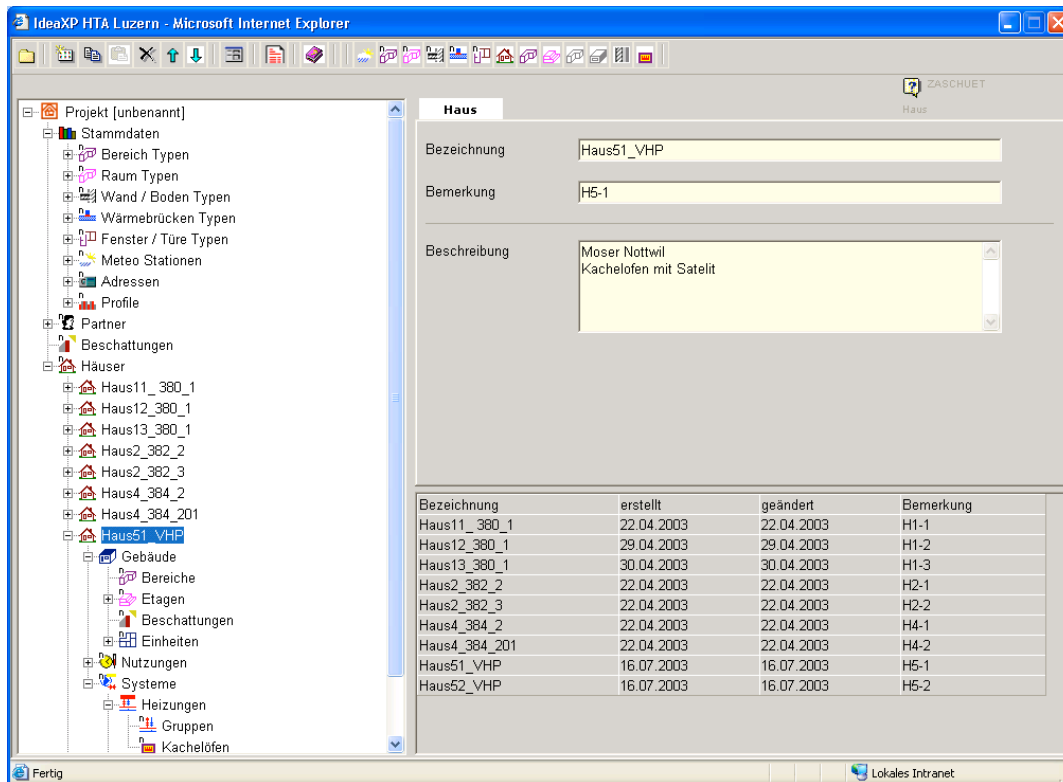


Abb. 6.3: Hauptprogrammfenster mit benutzerfreundlicher Baumstruktur für die Eingabedaten

Jeder Knoten besitzt in der Regel neben Funktion Anzeigen noch weitere Funktionen wie Hinzufügen, Bearbeiten, Kopieren, Erstellen von Ausgaben und Löschen.

Das Hinzufügen und Bearbeiten erfolgt in einem separaten Eingabefenster (Abb. 6.4).

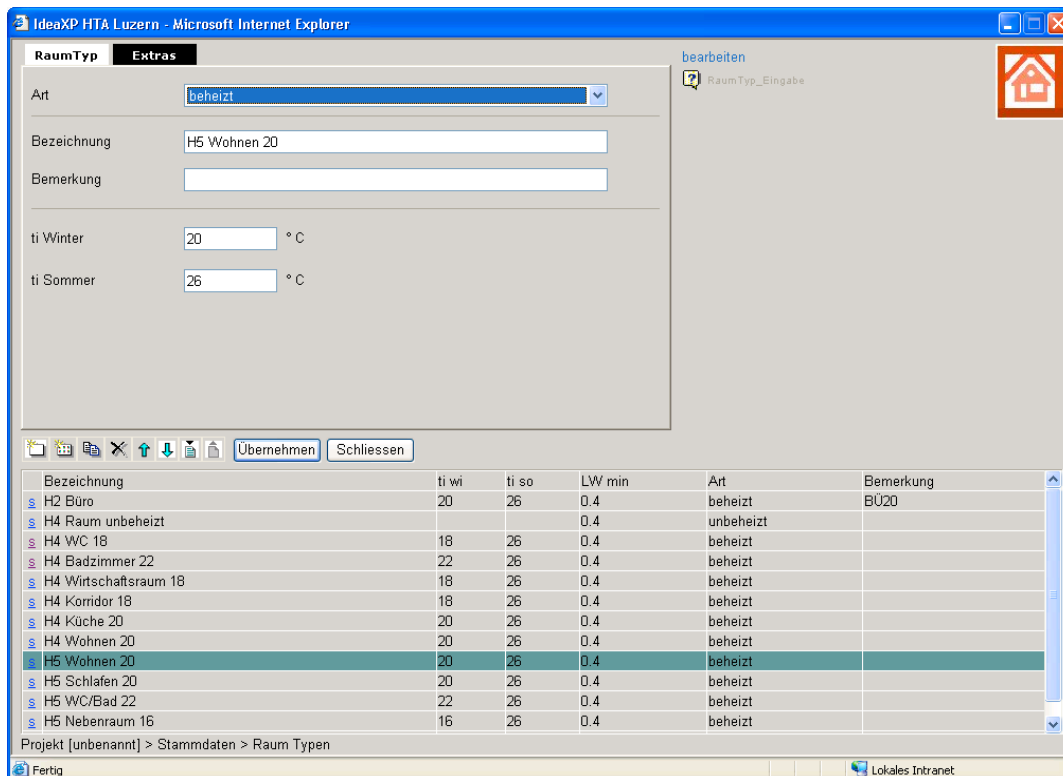


Abb. 6.4: Eingabefenster

Die Ausgaben finden sich entweder in einem separaten Browserfenster oder in einer herunterladbaren Excel-Datei (Abb. 6.5).

Übersicht

Raumzusammenstellung		Lüftungsdaten								Transmission				
Kurz	Bezeichnung	t_i °C	t_a °C	V_i m³	$V_{min,i}$ m³/h	$V_{inf,i}$ m³/h	$V_{inf,i}$ m³/h	$V_{sv,i}$ m³/h	$V_{mech,inf,i}$ m³/h	Aussen W	unbeheizt W	Erdreich W	beheizt W	$Q_{T,i}$ W
	Wohnen													
1	Wirtschaftsraum	18	-10	31.635	5.624	0				0	2129.276	480.0479	-28.16887	2581.155
1	Windfang	18	-10	5.88	0.96	0				160.9651	84.41968	0	-51.62137	193.7834
2	WC	18	-10	3.675	0.6	0				84.12705	47.34819	0	-47.24739	84.22785
3	Küche	20	-10	6.8723	1.122	0				254.7215	325.9416	0	43.28598	623.9491
4	Wohnen Essen	20	-10	0			0	0	0	887.6443	878.7855	0	182.5475	1948.977
5	Arbeiten	20	-10	0			0	0	0	198.7882	309.9767	0	76.1843	584.9492
11	Zimmer 1	20	-10	30.188	5.412	0				368.0403	242.5448	0	-6.603362	603.9818
12	Zimmer 2	20	-10	45.116	7.656	0				488.5901	132.4274	0	16.31422	637.3317
13	Zimmer 3	20	-10	43.808	7.52	0				264.0679	114.1518	0	137.9362	516.1559
14	Bad WC	22	-10	19.632	3.2	0				60.4611	745.5566	0	210.1213	1016.139
	Korridor	18	-10	22.058	3.28	0				0	80.82474	0	-200.784	-119.9592
Summe										2767.42555	5091.25301	480.0479	331.964508	8670.69075

Wärmeleistungsbedarf Gebäude

Transmissionsverluste: 8673.285 Watt

ohne mechanische Lüftungsanlage: V_{min} 35.374 m³/h, $0.5 \cdot V_{inf}$ 0 m³/h, grösster Wert 35.374 m³/h, 334.9415 Watt

mit mechanischer Lüftungsanlage: $0.5 \cdot V_{inf}$ 0 m³/h, $V_{sv,i} \cdot t_v$ 0 m³/h

Abb. 6.5: Ausgabedaten in Browserfenster oder als herunterladbare Excel-Datei

6.2 Input

Grundsätzlich werden die Eingaben in Stammdaten und Hausdaten unterteilt. Die Stammdaten halten die Eigenschaften der Baustoffe fest. Die Hausdaten werden in drei Gruppen unterteilt. In den Gebäudedaten werden die Baustoffe der einzelnen Wände und Decken in ihren Abmessungen und ihrer Lage so beschrieben, dass Räume entstehen. In den Nutzungsdaten wird bestimmt, wie ein Haus und dessen Räume genutzt werden. In den Systemdaten werden dann noch die einzelnen Heizungs-, Lüftungs- und Beleuchtungssysteme beschrieben.

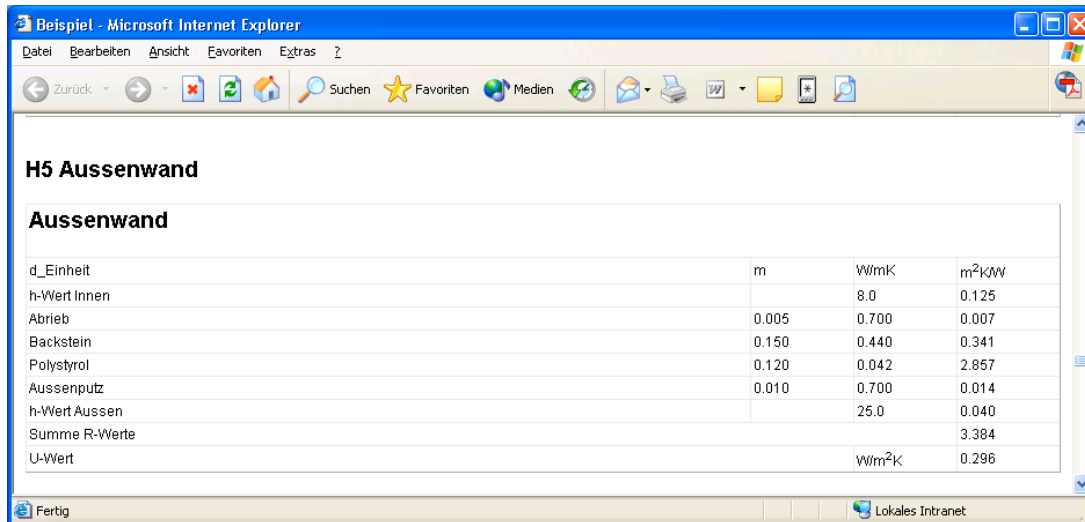
Will man möglichst wirklichkeitsnahe Ergebnisse einer Speicherofen-Komfortberechnung erzielen, kommt man nicht darum herum, alle relevanten Daten zu erfassen. Es ist notwendig, dass man den Aufbau (Speichermasse und Wärmedämmung) von den Wänden und Böden erfasst, und dass man die Bauart der Fenster beschreibt (U-Wert und g-Wert). Jeder Raum im Haus muss definiert sein.

Mit verschiedenen Mitteln (Assistenten) unterstützt das Programm den Benutzer bei der Datenerfassung. Die Daten vom Speicherofen werden dem Ofenberechnungsprogramm (Kachel3) entnommen. Es ist lediglich erforderlich, die einzelnen Heizgaszuganteile des Speicherofens den verschiedenen Räumen zuzuordnen.

Das Erfassen braucht Zeit. Mit steigender Routine lässt sich die Effizienz bei der Dateneingabe erhöhen. Arbeitsteilung ist denkbar. Die Internetlösung bietet da grosse Vorteile. Ein gutes Kursangebot unterstützt zudem die Anwender darin, ihre Aufgabenstellungen gut anzugehen.

6.3 Output

Die Ausgabe der Eingaben und Berechnungen unterteilt sich in drei Gruppen: In Abbildung 6.6 ist die Protokollierung der Eingaben wie U-Werte, Fensterdaten, Speicherofendaten etc. dargestellt.

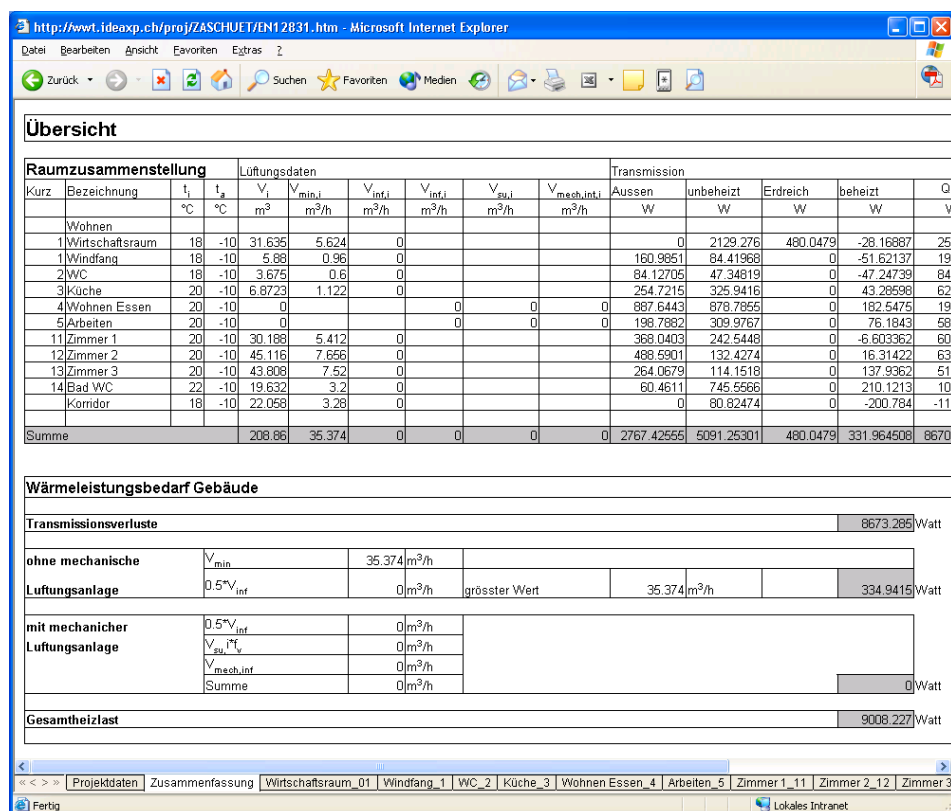


d_Einheit	m	W/mK	m²K/W
h-Wert Innen		8.0	0.125
Abrieb	0.005	0.700	0.007
Backstein	0.150	0.440	0.341
Polystyrol	0.120	0.042	2.857
Aussenputz	0.010	0.700	0.014
h-Wert Aussen		25.0	0.040
Summe R-Werte			3.384
U-Wert		W/m²K	0.296

Abb. 6.6: IDEA XP/Komfortberechnungsprogramm: Dokumentation der Hausdaten

Diese Resultate können unmittelbar auf Knopfdruck erstellt werden.

Die Auswertung der Berechnung des Heizleistungsbedarfs nach SIA 384/2 ist in Abbildung 6.7 ersichtlich.



Raumzusammenstellung		Lüftungsdaten								Transmission				Q	
Kurz	Bezeichnung	t _i	t _e	V _i	V _{min,i}	V _{inf,i}	V _{inf,i}	V _{sup,i}	V _{mesh,inf,i}	Aussen	unbeheizt	Erdreich	beheizt	Q _h	Q _c
		°C	°C	m³	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	W	W	W	W	W	W
	Wohnen														
1	Wirtschaftsraum	18	-10	31.635	5.624	0				0	2129.276	480.0479	-28.16887	25	
1	Windfang	18	-10	5.88	0.96	0				160.9851	84.41968	0	-51.62137	19	
2	WC	18	-10	3.675	0.6	0				84.12705	47.34819	0	-47.24739	84	
3	Küche	20	-10	6.8723	1.122	0				254.7215	325.9416	0	43.28998	62	
4	Wohnen Essen	20	-10	0				0	0	887.6443	878.7855	0	182.5475	19	
5	Arbeiten	20	-10	0				0	0	198.7882	309.9767	0	76.1843	58	
11	Zimmer 1	20	-10	30.188	5.412	0				368.0403	242.5448	0	-6.60362	60	
12	Zimmer 2	20	-10	45.116	7.656	0				488.5901	132.4274	0	16.31422	63	
13	Zimmer 3	20	-10	43.808	7.52	0				264.0679	114.1518	0	137.9362	51	
14	Bad WC	22	-10	19.632	3.2	0				60.4611	745.5566	0	210.1213	10	
	Korridor	18	-10	22.058	3.28	0				0	80.82474	0	-200.784	-11	
	Summe			208.86	35.374	0	0	0	0	2767.42555	5091.25301	480.0479	331.964508	8670	

Wärmeleistungsbedarf Gebäude			
Transmissionsverluste			8673.285 Watt
ohne mechanische	V _{min}	35.374 m³/h	
Lüftungsanlage	0.5 * V _{inf}	0 m³/h	grösster Wert
		35.374 m³/h	334.9415 Watt
mit mechanischer	0.5 * V _{inf}	0 m³/h	
Lüftungsanlage	V _{sup,inf}	0 m³/h	
	V _{mesh,inf}	0 m³/h	
	Summe	0 m³/h	0 Watt
Gesamtheizlast			9008.227 Watt

Abb. 6.7: IDEA XP Komfortberechnungsprogramm: Berechnung des Heizleistungsbedarfs nach SIA 384/2

Die Berechnung des Heizleistungsbedarfs erfordert einige Minuten Rechenzeit. Die Resultate entsprechen bei richtiger Eingabe der Berechnung für die Auslegung der Heizung im Gebäude. Die Resultate hängen von der richtigen Eingabe ab. Der Benutzer allein verantwortet die Richtigkeit der Dateneingabe.

Die thermische Simulation für die Speicherofen-Komfortberechnung dauert etliche Stunden. Als Beispiel ist in Abbildung 6.8 die Auswertung des Temperaturverlaufs in einem Raum dargestellt.

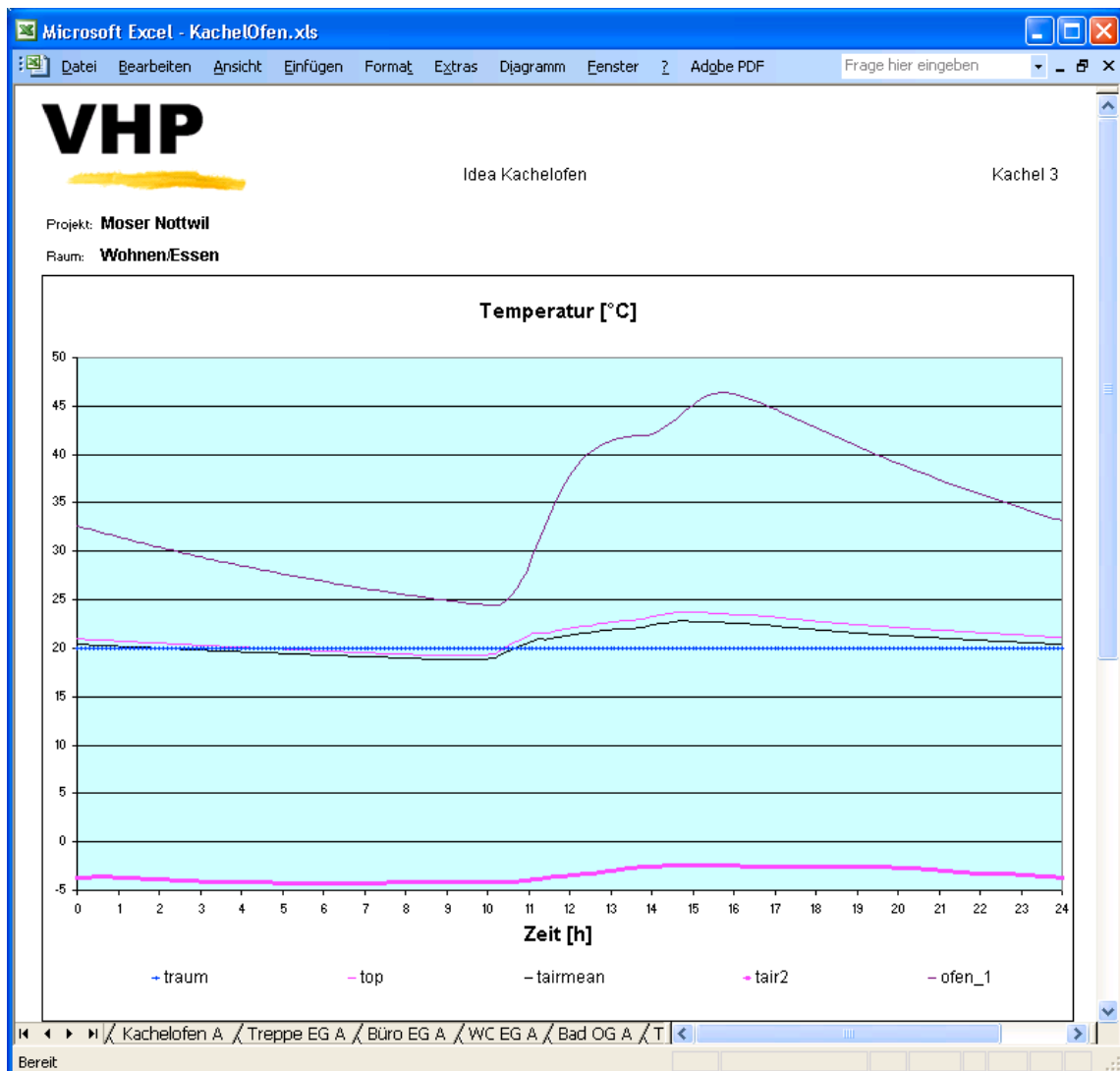


Abb. 6.8: Simulation eines Raumtemperaturverlaufs auf Grund des IDEA XP/Komfortberechnungsprogramms.

In der Regel gilt eingeben heute, Resultate morgen. Sind die Resultate erstellt, erhält der Benutzer eine E-Mail Nachricht.

6.4 Internetzugang

Für die Benutzung des IDEA XP-Programmes mit seinen IDA-Modulen für die Komfortberechnungen von Speicheröfen braucht es als absolutes Minimum einen officetauglichen Windows PC mit einem ADSL-Zugang mit einer minimalen Bandbreite von 256Kbit/s.

Es wird nur der Internet Explorer ab Version 5.5 unterstützt. Das Verwenden von Cookies und Javascript muss zugelassen werden. Die Grösse der Darstellung vom Hauptfenster ist fix und beträgt 768 x 1024.

7 Anwender

7.1 Pilotkurse IDEA XP

Die Benutzer des Komfortberechnungsprogramms werden mehrheitlich Inhaber von Handwerkerbetrieben sein. Ihnen wird es wegen ihrer Betriebsstruktur nicht möglich sein, das Planungswerkzeug täglich anzuwenden. Um sicher zu gehen, dass die Benutzeroberfläche möglichst selbsterklärend, die Begriffe und die Arbeitsweise für die zukünftigen Anwender erlernbar und verständlich sind, wurden mit zwölf interessierten Hafnern zwei ganztägige Pilotkurse durchgeführt. Die umfangreichen Übungen führten einige Schwachstellen und Mängel zu Tage, welche die Programmdesigner zu Anpassungen der Benutzeroberfläche und des Programmcodes veranlassten.

Die zwei Pilottage gaben aber der zukünftigen Kundschaft auch erstmals Gelegenheit, den Nutzen dieses Werkzeuges vollumfänglich zu erkennen, was zu durchwegs sehr positiven Reaktionen führte: *"... Super, sensationell, kreativ, Innovativ und was es sonst noch für Schlagwörter gibt für ein Top-Produkt, das vollkommen überzeugt und die Anwender in Staunen versetzt..."* (Cesi Rappelli, Weggis).

7.2 Ausbildung

Ins verbandseigene Ausbildungszentrum auf der Froburg bei Olten kommen die Hafnerlehrlinge aus der ganzen Schweiz zur Fachausbildung. Es werden regelmässig die Meisterprüfungskandidaten auf die höhere Fachprüfung vorbereitet. Ein umfassendes Weiterbildungsangebot ermöglicht den Gewerbetreibenden sich laufend auf dem neusten Stand der Technik zu halten.

In der Lehrlingsausbildung ist vorgesehen, den Schülern im letzten Lehrjahr regelmässig eine Übersicht zu vermitteln, für welche Problemlösungen das neue Komfortberechnungsprogramm verwendet wird, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, wie man damit arbeitet und wie die Resultate zu interpretieren sind. Die Lehrlinge wirklich darin zu schulen wird nicht sinnvoll sein, weil die Grundlagen noch zuwenig vorhanden sind.

Anders sieht es im Vorbereitungslehrgang zur Meisterprüfung aus. Für diese Absolventen wird dieses Programm ein wichtiges Werkzeug sein. Entsprechend muss im Unterricht das Komfortberechnungsprogramm instruiert und die Anwendung geübt werden.

In Weiterbildungsseminaren sollen alle Branchen-Interessierten die Möglichkeit haben, sich die Grundausbildung für die Anwendung anzueignen. Dazu wird der VHP gemeinsam mit der HTA regelmässig Kurse ausschreiben diese stark bewerben.

7.3 Nutzen und Potenzial

Die Hafner waren in ihrer täglichen Projektarbeit schon lange mit Wärmeleistungs- und Energiebedarf ihrer Objekte konfrontiert. Mit mehr oder weniger genauen Schätzungen haben sie sich dabei beholfen. Für die Überprüfung der Ofengrösse, der Lage des Ofens im Gebäude und seiner Heizwirkung mussten sie sich bislang auf ihre Erfahrung verlassen und das entsprechende Risiko tragen. Mit diesem Projekt erhalten sie nun ein Werkzeug, das ihnen Sicherheit gibt, eine Anlage richtig geplant zu haben. Sie werden ab sofort im Beratungsgespräch selbstsicherer auftreten können und so zu mehr lukrativen Aufträgen kommen.

Für die Erfassung eines Gebäudes benötigt ein geübter Anwender zwischen ein und zwei Arbeitstagen je nach Komplexität. Als nützliche Nebenprodukte fallen die Wärmebedarfsrechnung und der Energienachweis an, was dem planenden Unternehmer erlaubt diese auch als Dienstleistung anzubieten. Für eine Jahresgebühr von ca. CHF 500.– kann jedermann damit unbeschränkt arbeiten, Bedingung wird ein zweitägiges Einführungsseminar sein.

Zur Zeit ist das Programm für individuell gefertigte Öfen ausgelegt. Bei entsprechendem Interesse der Branche und der Industrie lässt sich dieses ausbauen und erweitern für industriell gefertigte Feuerräume und andere Anwendungen.

Der VHP als Kompetenzzentrum der Branche hat grosses Interesse, dass seine Mitglieder auf dem Heizungsmarkt längere Spiesse erhalten, und setzt alles daran, dass neue Hilfsmittel geschaffen, diese fachgerecht geschult und angewendet werden. Für Betriebe, die nicht selber mit dem Planungswerkzeug arbeiten möchten, bietet der VHP die Komfortberechnung als Dienstleistung an.

8 Ausblick

Mit dem Komfortberechnungsprogramm verfügt das älteste Heizungshandwerk als erste Branche über ein internetbasiertes Planungswerkzeug, das eine dynamische Simulationsberechnung des Ofen-Haus-Energieystems beinhaltet.

Das Komfortberechnungsprogramm hat das Potenzial für eine internationale Anwendung. Die im Programm verwendete Gebäudedefinition basiert bereits schon auf der EN 12831 *Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizleistung*. Diese EN-Norm wird vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein SIA voraussichtlich im Jahr 2005 als Schweizer Norm übernommen. Die Ofendaten für die Simulationsrechnungen können aus dem von der Branche breit angewendeten Ofenberechnungsprogramm *Kachel 3* des Kachelofenverband Österreichs (KOV) importiert werden.

Das Komfortberechnungsprogramm lässt sich weiterentwickeln und ausbauen. Eine Weiterentwicklung im internationalen Umfeld wäre sehr sinnvoll. Speziell mit den international führenden österreichischen Instituten (Österreichischer Kachelofenverband und TU Wien) wäre eine Zusammenarbeit anzustreben.

Mögliche Themen für weiterführende Arbeiten im Komfortberechnungsprogramm sind:

- Abbrandprofile
Für den zeitlichen Verlauf von Temperatur und Gas-Massenstrom könnten Modelle entwickelt werden. Dabei wären Holzart und Feuerraumparameter zu berücksichtigen.
- Feuerraum
Für verschiedene Feuerräume könnte eine Bibliothek erstellt werden. Modelle für die Feuer-raumtüren (speziell Glas) liessen sich verfeinern.
- Assistenten für die Erfassung des Ofens
Für eine schnelle und übersichtliche Erfassung des Ofens liessen sich grafische Eingabeas-sistenten erstellen. Sinnvoll wäre eine Anlehnung an das Programm Kachel 4 des KOV.
- Beschleunigung der Rechenzeit
Durch Anpassungen an Modellteilen und an Berechnungsalgorithmen lässt sich die Rechenzeit verkürzen.
- Systeme mit Absorberöfen
Für Absorberöfen müsste die Wärmeverteilung (Hydraulik und Heizflächen) modelliert werden. Mit einem Hydraulikmodell wäre auch die Kombination mit weiteren Wärmeerzeugern (Solar-anlage, Wärmepumpe) denkbar.
- Pellet-Öfen
Zusätzlich zu Stückholzfeuerungen könnten auch Pellet-Öfen erfasst werden.
- Erste Erfahrungen und Validierung
An ersten mit dem Komfortberechnungsprogramm geplanten Objekten können die Erfahrungen ausgewertet werden. Neue Rechenmodule könnten an mehreren Objekten durch Messungen validiert werden.

Für alle weiterführenden Arbeiten wären sowohl experimentelle Untersuchungen im Labor, Validie-rungsmessungen bei ausgeführten Anlagen wie auch eine mathematische Modellbildung erforder-lich.

Danksagung

Das Projektteam dankt für die Förderung des Projektes durch die beiden Stellen Bundesamt für Energie und Kommission für Technik und Architektur.

Den Hausbesitzern der untersuchten Häuser sei für ihre Bereitschaft gedankt, sich auf die Mess-kampagne mit allen Einschränkungen einzulassen.