

Pilot- und Demonstrationsobjekt EFH Jurt in Hünenberg

Erfahrungen, Energiebilanz, Betriebscharakteristik und Komfort



HTA LUZERN

H. Huber

D. Meierhans

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

November 2001

Auftragnehmer:

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK+ARCHITEKTUR LUZERN

Technikumstrasse 21

6048 Horw

Autoren:

Heinrich Huber, Daniel Meierhans, HTA Luzern

Marianne und Guido Jurt mit Marius und Flurin, Hünenberg

Martin Bürgler, Verband Schweizerischer Hafner- und Plattengeschäfte, Olten

Marco von Wyl, Von Wyl Ofenbau, Kägiswil

Franz Zihlmann, B+W Haustechnik, Hünenberg

2001

Diese Studie wurde im Rahmen der Forschungsprogramme „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ und „Biomasse“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Das Projekt wurde vom BFE und Kanton Zug finanziell unterstützt.

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, Egbacherstrasse 69, 9320 Arbon, www.energieforschung.ch, enet@temas.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Erfahrungen der Bauherrschaft	4
2	Bericht des Hafnerverbandes	6
2.1	Schnittstellen	6
2.2	Emissions- und Wirkungsgradmessung	6
2.3	Messresultate	7
2.4	Schlussbemerkung	7
3	Bericht des Lüftungsplaner	8
4	Bericht des Ofenbauer	9
4.1	Entstehung	9
4.2	Ausgangslage	9
4.3	Die Partner	9
4.4	Die Ofenplanung	9
4.5	Der Ofenbau	10
4.6	Installation beim Kunden	10
4.7	Schnittstellen	10
4.8	Messungen und Optimierungen	10
4.9	Kontrollmessung	11

Anhang

- I Schlussbericht zur Messung
- II Messblätter Speicherofen mit Luftwärmetauscher

Bemerkung

Die am Projekt beteiligten haben ihre Erfahrungen in Kurzberichten zusammengefasst.

Die HTA Luzern hat diese Beiträge zusammengefügt, aber inhaltlich nicht verändert. Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

1 Erfahrungen der Bauherrschaft

M. und G. Jurt Schallberger

Vorgeschichte und wie die Idee entstand.

Vor 4 Jahren konnten wir ein damals 33 jähriges Einfamilienhaus erwerben. Schon bald stellten wir fest, dass die Fenster undicht sind. Auch die Isolation liess zu wünschen übrig.

Ein Jahr später wurde das Haus mit neuen Fenstern (Glas U-Wert 0.7) und einer guten Isolation (Pavatherm 120 mm) mit hinterlüfteter Fassade versehen. Dank gutem Materialeinkauf und den Eigenleistungen konnten die Kosten einigermassen im Rahmen gehalten werden.

Das Motto lautete: Je besser das Gebäude isoliert ist, desto weniger Wärmeenergie muss erbracht werden.

Schon bald stand die Heizperiode vor der Tür. Wir mussten beim neu isolierten Haus feststellen, dass viel häufigeres Lüften nötig war. Wir fragten uns: Das Haus ist zwar gut isoliert, aber durch häufigeres Lüften verlieren wir doch wieder viel Heizenergie. Das bestehende Cheminée in der Stube war unbrauchbar und unsere Oel-Heizung war veraltet.

Immer mehr beschäftigten wir uns mit dem Heizungsproblem.

An der Ausstellung Swiss Bau 98 lernten wir Herrn Marco von Wyl eidg. dipl. Hafnermeister kennen. Wir vereinbarten einen Termin zur Besprechung unseres Problems.

Herr von Wyl war damals der innovative Mann, welcher bei der HTA Hochschule für Technik und Architektur in Horw die Informationen einholte, worauf Herr Heinrich Huber ein Projekt gemäss "Energie 2000" entwickelte und die Eingaben an die zuständigen Amtsstellen einreichte.

Nun haben wir einen ersten Winter mit der neuen Heizung hinter uns. Wir haben es geschätzt, dass wir die Fenster im kalten Winter nicht mehr zu öffnen brauchten. Das Anfeuern muss gelernt sein, um die nötige Wärme zu erreichen. Der Energie-Wärmespender Holz ist uns viel sympathischer als der Oelautomat. Auch die zwei Buben sind begeistert vom Holzen und vom Feuern. Dem Feuer zuzusehen ist behaglich und strahlt angenehme Wärme ab. Leider konnten wir jedoch in der ersten Heizungsperiode die nötigen mind. 20 C nicht erreichen. Auf die Dauer erlebten wir die nicht erreichten Temperaturen als sehr unangenehm;

um nicht zu frösteln, zogen wir wollene Jacken in der Wohnung an. Die regelmässigen Messdaten von der HT A zeigen gut auf, dass die Ziele noch nicht erreicht werden konnten. Gemäss dieser Messedaten wurden gegen Ende des Winters die Einstellung korrigiert und verbessert.

Gerne hoffen wir, dass die notwendigen Verbesserungen nun in der zweiten Heizperiode eine bessere Wärmeeffizienz erbringen werden.

Unser Ziel ist es, mit einem einmaligen guten Anfeuern am Morgen die nötige Wärme für einen ganzen Tag auch bei tieferen Wintertemperaturen zu erreichen. Wir stellten fest, dass wenn am Abend angefeuert wird, es für einen gesunden, angenehmen Schlaf eher zu warm ist.

Wir hoffen auch allgemein, dass wir mit dem Holzverbrauch von höchstens 17 kg pro Tag auch bei tiefer Aussentemperatur, gut über die Runden kommen werden. Mit 17 kg fiel der Holzverbrauch viel höher aus, als bei Projektstart berechnet wurde. Das Holz muss gerüstet werden, Feinholz muss zum Anfeuern bereit sein, all das benötigt zusätzlich Arbeit. Vom Anfeuern bis zur Wärmeentwicklung im Raum braucht der Ofen eine Zeit von mindestens 1.5 Std. Danach dürfen wir die Holzwärme um so mehr spüren und schätzen.

Bei dieser Gelegenheit möchten wir uns bei allen beteiligten Personen, welche zu einem guten Gelingen des Projekts beigetragen haben, herzlich danken. So hoffen wir gerne, dass wir auch in Zukunft bei auftretenden Fragen und Problemen jederzeit einen gesprächsbereiten Partner und Berater finden werden.

Die Bauherrschaft

Marianne und Guido Jurt mit Marius und Flurin

2 Bericht des Hafnerverbandes

M. Bürgler, VHP

2.1 Schnittstellen

Ich wurde zu einem späten Zeitpunkt in dieses Projekt einbezogen. An der ersten Sitzung besprachen die Planeneden und Ausführenden die über einen ganzen Winter erfassten Messresultate und auch die während der Ausführung aufgetretenen Probleme. Einerseits unbekannte neue Techniken, neue Geräte und Komponenten seitens des Lüftungsinstallateurs, Zweifel am berechneten Wärmebedarf, Messresultate vom Prüfstand die nicht eins zu eins umgesetzt werden konnten in die Praxis. Die Kundschaft musste zeitweise mit tiefen Wohnraumtemperaturen leben.

Die Schnittstellen müssen in so einem komplexen Projekt sehr sorgfältig geplant und ausgeführt werden. Eine genaue Instruktion des Betreibers ist Voraussetzung um Fehler zu vermeiden und der Betreiber muss sich an die erteilten Instruktionen halten.

Eine Kleinholzfeuerung ist ein sehr labiles System, was die Druckverhältnisse anbelangt. Es stellte sich bei der ersten Emissions- und Wirkungsgradmessung heraus, dass der Ofen gar nicht richtig betrieben werden konnte. Ein Speicherofen muss, nach erfolgtem Abbrand abgeschiebert werden können, damit möglichst keine Wärme durch den Kamin verloren geht. Die Kaminklappe konnte aber erst geschlossen werden, nachdem die Glut fast vollständig ausgebrannt war, das heisst drei bis vier Stunden nach dem Abbrand. Der leichte, im Raum herrschende Unterdruck verursachte einen Sog aus dem Ofen und die damit verbundenen Geruchsbelästigungen. Im Aufstellraum muss neutraler oder ganz minimer Überdruck herrschen, dann kann der Ofen gemäss Instruktion betrieben werden.

2.2 Emissions- und Wirkungsgradmessung

Die zweite Messung wurde am 19. Oktober 2001 durchgeführt. Der Ofen wurde mit insgesamt 13 kg Brennholz beladen, wovon 1 kg Anfeuerholz. Die Witterung war neblig bei 13 Grad, die Lüftung lief und der Ofen war mehrere Tage nicht in Betrieb.

Der vor dem Anfeuern gemessene Kaminzug war neutral, dies ein Anhaltspunkt, dass im Aufstellraum immer noch ein minimaler Unterdruck herrscht.

Der Abbrand ging in gewohntem Stil vor sich und die Abbrandgeschwindigkeit konnte Anhand des Flammenbildes und des gemessenen Kaminzuges als gut bezeichnet werden.

Nachdem die Frischluft verschlossen war schlossen wir nach weiteren 17 Minuten die Rauchgasklappe. Nach wenigen Sekunden konnten wir einen Gasgeruch ausmachen. Der Geruch trat an der oberen Russtüre aus und nötigte uns die Klappe um 2-3 Grad zu öffnen. Der Effekt konnte der Bauherrin mittels Strömungsprüfröhrchen gezeigt werden. Bei geschlossener Klappe drückt an der oberen Kante der Russtüre Gas in den Aufstellraum, bei minimal geöffneter Klappe wird der Prüfrauch abgesogen. Nach einer weiteren halben Stunde konnten wir die Rauchgasklappe ganz schliessen.

2.3 Messresultate

Der Abbrand kann als qualitativ gut bezeichnet werden. Die mittleren CO Emissionen betragen 1760 mg/m³N und der Wirkungsgrad beträgt im Durchschnitt 77.2%.

Die detaillierte Aufstellung ist im Datenblatt, Anhang II ersichtlich.

2.4 Schlussbemerkung

Das Projekt bringt alle Beteiligten weiter, aus den entstandenen Problemen konnte jeder Beteiligte für zukünftige Anlagen dieser Art profitieren. Verlässliche Angaben sind die Grundpfeiler einer seriösen Planung. Änderungen während der Ausführung müssen kommuniziert werden, eine gute Zusammenarbeit zwischen Planern und Ausführenden ist wesentlich. Aus den Fragestellungen und Erkenntnissen können direkt Fortschritte für ähnlich gelagerte Anlagen gemacht werden, ohne die Fehler zu duplizieren.

3 Bericht des Lüftungsplaner

F. Zihlmann

Um eine Luftheizung in ein bestehendes Gebäude einplanen zu können, soll vor Beginn der Planung die Gebäudehülle im Aufbau aber auch in der Dichtheit getestet und geprüft werden.

Nur unter diesen Voraussetzungen können genaue Daten für die Weiterbearbeitung ermittelt werden. Diese Daten sind um so wichtiger, weil davon die Luftmenge für die Raumheizung sowie der Luftwechsel abgeleitet werden. Die Austrocknung und die max. Einblastemperatur der Luft sind weitere Parameter die bei der Planung einer Luftheizung miteinbezogen werden müssen!

Eine Überdimensionierung (15-20%) des Holzofens für best. Gebäude mit diversen Unbekannten ist ein muss, um die gewünschte Raumlufttemperatur erreichen und garantieren zu können.

Sind alle Komponenten bekannt, kann eine Luftheizung unter Berücksichtigung des passenden Lüftungsgerätes (Luftmenge / System / Grösse / Einbaumöglichkeit), an Bauherrschaften weiterempfohlen werden, insbesondere auch, weil die Beheizung durch nicht fossile Brennstoffe erzeugt wird.

4 Bericht des Ofenbauer

M. Von Wyl

4.1 Entstehung

- Im Februar 1999 an der Swissbau kam es zum ersten Kontakt mit der künftigen Bauherrschaft. Sie zeigten Interesse an einer Holzheizung. Die Situation beschrieb der Bauherr wie folgt: Es hande sich um ein ca. 40 jähriges Wohnhaus. Die Gebäudehülle wurde saniert, gut gedämmt und neue Fenster eingebaut. Im Keller steht ein alter Ölheizkessel welcher bald ersetzt werden müsse. In Zukunft würde er gerne mit Holz heizen. Im Wohnraum steht ein offenes Cheminée welches zum heizen nicht zu gebrauchen sei. Zusätzlich wünsche er sich eine kontrollierte Wohnraumlüftung. Kurze Zeit später besuchte ich die Bauherrschaft.

4.2 Ausgangslage

- Das Gebäude hat einen L-Förmigen Grundriss und ist eingeschossig. Es war offensichtlich, dass die Wärme irgendwie im Haus verteilt werden musste. Ein zentral gebauter Speicherofen, als Alleinheizung, kam bei diesem Grundriss nicht in Frage. Der Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes (Transmission) wurde anfänglich mit ca. 3.2 KW angenommen. Die Standardlösung des Hafners für solche Aufgaben, wäre ein Ofen mit Heizkessel einzubauen, den Wohnraum direkt mit dem Ofen und alle übrigen Räume mit Warmwasser über die Radiatoren zu beheizen. Aus verschiedenen Gründen gefiel mir diese Lösung nicht sehr gut. Es ist es eine sehr aufwendige Anlage. Es braucht einen neuen Ofen, Heizkessel, Wasserspeicher und auch die Wärmeverteilung (Radiatoren und Leitungen) hätten saniert werden müssen. Zusätzlich der Wunsch nach einer kontrollierten Wohnraumlüftung. Der Gedanke an so viel Haustechnik für diesen kleinen Wärmeleistungsbedarf gefiel uns nicht. Wir fragten uns , ob es nicht eine Möglichkeit gebe, die Wärme via das Leitungssystem der Lüftung zu verteilen.

4.3 Die Partner

- Auf der Suche nach Informationen erhielt ich Hilfe von der HTA in Horw und vom VHP. Gemeinsam suchten wir nach Lösungen, formulierten Ziele und legten fest, was noch zu erarbeiten sei. Mit Hilfe dieser beiden Partner wurde die Idee als P+D Projekt beim BfE angemeldet. Der Bauherr entschied sich, eine solche Anlage bauen zu lassen.

4.4 Die Ofenplanung

- In Zusammenarbeit mit Konrad Imbach plante ich das Innenleben unseres Speicherofens. Wichtig dabei war, dass die Anlage transportabel sein wird, und dass die Speichermasse so gut wie möglich den Anforderungen angepasst wird. Die Zugdimensionen wurden mit dem Ofenberechnungsprogramm des VHP berechnet.

4.5 Der Ofenbau

- Zuerst wurde vom Schlosser ein Kubischer Rahmen geschweisst. In diesen Rahmen wurden dann die Rauchgaszüge gemauert. Der Rahmen hat vier Füsse, so dass der ganze Speicherofen 10cm über dem Boden steht. So konnte unser Ofen bequem mit dem Hubstapler transportiert werden. Die Aussenhülle des Speicherblocks wurde abgedichtet. Der Luftwärmetauscher montierten wir auf den Metallrahmen. Diesen Wärmetauscher konstruierten wir nach den Angaben von Heinrich Huber. Es entstand eine Blechhülle aus CNS Stahl, auf der Innenseite schwarz gespritzt und luftdicht auf den Speicherblock montiert. Der Speicherofen mit Wärmetauscher wurde nach Horw an die HTA transportiert. Im Labor wurde der Ofen auf dessen Luftleistung und Speicherverhalten geprüft. Die Resultate waren sehr ermutigend.

4.6 Installation beim Kunden

- Im Juni 2000 lieferten wir die Anlage dem Kunden. Wir bewegten den ganzen Block mit Hilfe von Rollen und Wagenhebern an den vorgesehenen Standort. Der Ofen wurde dem Kamin angeschlossen, die ganze Anlage mit Gusschamotteplatten ummantelt und verputzt.

4.7 Schnittstellen

- In einem nächsten Schritt wurde der Speicherofen in die Lüftung eingebunden. Dies war die Aufgabe des Planers und des Lüftungsbauers.

4.8 Messungen und Optimierungen

- Im Herbst 2000 konnten von der HTA erste Kontrollmessungen an der Anlage vor Ort gemacht werden. Die Resultate waren ernüchternd. Die Raumtemperaturen beim Kunden sanken zeitweise deutlich unter behagliche Werte. Zusammen mit Martin Bürgler kontrollierten wir mit einer MAD Messung den Ofenwirkungsgrad. Bei dieser ersten Messung war der Wirkungsgrad gut 10% unter dem gerechneten Wirkungsgrad. Die Abstellklappe konnte vom Kunden nie rechtzeitig geschlossen werden, da sonst Rauch in den Wohnraum strömte. Der Abbrand bei dieser Messung war nicht optimal, es dauerte zu lange bis das Feuer genügend Hitze entwickelt hatte. Der Grund dafür war vor allem das zu grob gespaltene Holz welches verwendet wurde. Auf Grund dieser Messung baute ich im Ofen zusätzliche Widerstände ein. Ich instruierte die Kundschaft noch einmal wie sie den Ofen optimal beschicken sollen.

4.9 Kontrollmessung

- Oktober 2001 machten wir eine zweite Messung an der Anlage betreffend Wirkungsgrad und Emissionen. Die Resultate waren deutlich besser. Wir massen einen Wirkungsgrad von 77% über den ganzen Abbrand. Die Emissionen waren in Ordnung. (siehe Anhang II)

Fazit:

- In den immer besser gedämmten Häusern wird die Luftheizung wieder zu einem Thema. Mit Speicheröfen stossen wir in solch gut isolierten Häusern an Grenzen. Zum einen bietet die Wärmeverteilung je nach Grundriss grosse Probleme, zum andern kann die Wärme nicht nach Bedarf geliefert werden. Die Heizenergie wird nach dem Heizen über eine längere Zeit kontinuierlich abgegeben. Wir können kaum reagieren wenn die Raumtemperaturen durch Sonneneinwirkung übermäßig ansteigen. Mit der Anlage Jurt haben wir versucht die in den Steinen gespeicherte Energie gezielt zu verteilen und zu bewirtschaften. Wir Hafner müssen nach Lösungen suchen um auch in Zukunft gute Heizungen anbieten zu können. Um diesem Ziel näher zu kommen müssen folgende Punkte beachtet werden.
- Für die Bewirtschaftung eines Feststoffspeichers fehlen die Wissensgrundlagen. (vielleicht sind sie da, aber noch nicht aufbereitet für uns Handwerker)
- Luftheizungen planen ist nicht einfach und wird nicht mehr oft gemacht. Es braucht gute Planer. Verknüpfungen zur Lüftung müssen standardisiert werden. Die ganze Planung sollte aus einer Hand kommen. (Ofenplanung, Lüftung und Verteilung, Steuerung)
- Es braucht Planungshilfen für den Luftregisterbau.
- Gerechneter Wärmeleistungsbedarf entspricht nicht immer dem effektiven Bedarf. Es müssen genügend Reserven eingeplant werden.
- Mit dem zur Zeit vorhanden „know how“ ist es ein recht grosses Risiko solche Anlagen zu bauen. Es muss viel Zeit investiert werden um diese Anlagen zu optimieren.

Für mich war und ist die Anlage Jurt sehr lehrreiches Projekt, anstrengend und zeitintensiv, geprägt von der sehr guten Zusammenarbeit mit den Projektpartnern.

Danke!

- Einen ganz herzlichen Dank will ich an die Bauherrschaft richten. Nur Dank mutigen und innovativen Bauherren wie die Familie Jurt ist es möglich solche Anlagen zu bauen und die Entwicklung neuer Systeme voranzutreiben. Ein weiteres Dankeschön dem VHP und der HTA, dem BfE und dem Kanton Zug für die Unterstützung.



HTA -> HOCHSCHULE FÜR TECHNIK+ARCHITEKTUR LUZERN
Abteilung Heizung-Lüftung-Klima

Schlussbericht zur Messung

Projekt: EFH Jurt-Schallberger
PE-4825

Auftraggeber: Bundesamt für Energie
Abteilung Energietechnik
3003 Bern

Datum: 2001-11-19

Dieser Bericht umfasst 32 Seiten und darf ohne die schriftliche Genehmigung der Prüfstelle
HLK nur in ungetkürzter Form vervielfältigt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	15
2	Ziele	15
3	Objekt	16
4	Durchführung der Erfolgskontrolle	19
4.1	Ablauf.....	19
4.2	Messaufbau.....	20
5	Messresultate	22
5.1	Energiebilanz der Raumheizung	22
5.2	Betriebscharakteristiken der Anlage.....	26
5.3	Komfort.....	33
5.4	Messung des Ofen-Luftregisters im Labor	35
5.5	Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle	36
5.6	Messung des Ofenwirkungsgrades	37
6	Diskussion.....	37
6.1	Energie	37
7	Schlussbemerkung	39
8	Anhang	40
8.1	Photos	40
8.2	Quellenverzeichnis	42
8.3	Messgeräte	43
8.4	Messgenauigkeit.....	44
8.5	Tabelle Betriebszustände Lüftungsgerät	45

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Energie und vom Kanton Zug finanziell unterstützt.

1 Zusammenfassung

Das Einfamilienhaus aus den 60er-Jahren wurde 1999 saniert und gut wärmegedämmt. Im Sommer 2000 wurde die Ölheizung demontiert und durch einen Holzofen mit Warmluftverteilung ersetzt.

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie (BFE) und Kanton Zug unterstützten Pilot- und Demonstrationsprojekts führte die HTA Luzern Messungen durch. Dabei wurden die Heizenergiebilanz für den Winter 2000/2001 erstellt, der thermische Komfort beurteilt und das Betriebsverhalten der Holzheizung untersucht.

Der effektive Holzverbrauch lag rund 70% über dem Planungswert von 3.7 Ster (Buche). Die Ursachen dazu sind ein zu tiefer Ofenwirkungsgrad (Mehrverbrauch ca. 0.3 Ster), die nicht ideale Bedienung des Ofens (ca. 0.4 Ster), nicht geplante Verteilverluste (ca. 0.8 Ster), ein tieferer Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung als geplant (ca. 0.3 Ster) und vor allem die nicht erwartete undichte Gebäudehülle (ca. 1.2 Ster). Bis zum Ende der Heizsaison wurden die Schwachstellen teilweise behoben, so dass in Zukunft der Holzverbrauch rund 50% über dem Planungswert liegen dürfte. Einige Differenzen gegenüber der Planung lassen sich nicht mit verhältnismässigem Aufwand beheben. So kann zum Beispiel die Gebäudehülle nicht wesentlich besser abgedichtet werden. Eine Folge der genannten Schwachstellen war, dass der gewünschte thermische Komfort nicht erreicht wurde. So lag die mittlere Wohnzimmertemperatur bei ca. 18.5°C.

Im Mai 2000 wurde der Ofen im Labor der HTA Luzern untersucht. Dabei wurde die Wärmeabgabe über das Luftregister bei verschiedenen Betriebsarten gemessen. Die Versuche haben gezeigt, dass die Speichermasse des Ofens bis zu einem gewissen Grad bewirtschaftet werden kann.

Meinung des Berichterstatters: Aufgrund der Erfahrungen mit diesem und zwei weiteren Pilot-Objekten, sollten Speicheröfen mit Luftregistern in Zukunft nur in sehr gut gedämmten und dichten Wohnhäusern eingesetzt werden. Das heisst, dass das Gebäude fast den Passiv-Haus-Standard erreichen soll. Bei dieser Voraussetzung ist das Konzept sinnvoll und kann den Einsatz von Holzspeicheröfen als Vollheizung attraktiv machen.

2 Ziele

Die Untersuchungen hatten folgende Ziele:

?? Energiebilanz der Raumheizung

Für die Heizsaison 2000/2001 soll die Energiebilanz für die Raumheizung erstellt werden.

?? Betriebscharakteristik

Der Betrieb des Holzofens und die Wärmeverteilung über die Lüftung sollen bei verschiedenen Lastfällen beschrieben werden.

?? Beurteilung des Komforts

Es soll beurteilt werden, ob die bedarfsabhängige Regelung des Luftregisters zu ausgeglichenen Raumtemperaturen führt.

3 Objekt

3.1.1 Adresse

EFH Jurt-Schallberger
Holzhäusernstr. 21
6331 Hünenberg

3.1.2 Gebäude

Das Einfamilienhaus aus den 60er-Jahren wurde 1999 saniert und gut wärmegedämmt.

Oelverbrauch vor der Sanierung: Vorgänger: ca. 3000l
Fam. Jurt: ca. 2000l

Energiebezugfläche: 150 m²

Heizenergiebedarf (nach SIA 380/1 mit WRG): $180 \text{ MJ/m}^2\text{a} = 50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

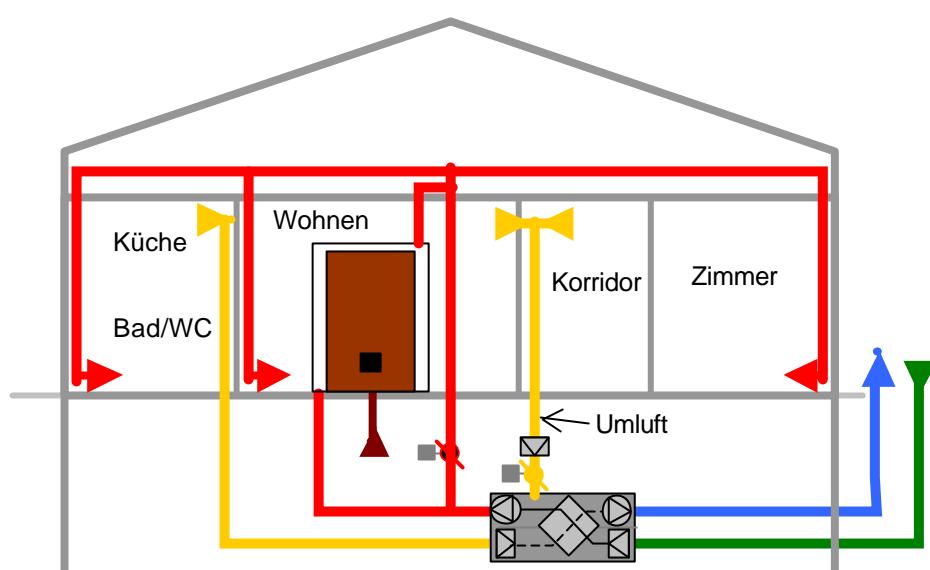
Wärmeleistungsbedarf: 3.5 kW

Berechneter Endenergieverbrauch für Heizen: 7400 kWh (3.7 Ster Buchenholz)

3.1.3 Das Anlagekonzept

Im Sommer 2000 wurde die Ölheizung demontiert und durch einen Holzofen mit Warmluftverteilung ersetzt.

Die Transmissionswärmeverluste werden über warme Zuluft gedeckt. Der Speicherofen ist mit einem Register zur Lufterwärmung ausgerüstet. Figur 3.1 zeigt das vereinfachte Schema der Anlage.



Figur 3.1: Vereinfachtes Anlagenschema

Die Aussenluft wird über eine Wärmerückgewinnung vorgewärmt. Bei Heizbetrieb wird die Zuluftmenge durch Beimischen von Umluft aus Wohnzimmer und Korridor erhöht. Eine Klappe lenkt die Zuluft durch das Ofenregister. Die Klappe wird anhand der Zulufttemperatur nach dem Mischpunkt von Ofenaustritt und Bypass geregelt. Im Auslegefall beträgt die Zulufttemperatur in den Zimmern 50°C.

Planungswerte der Anlage:

Aussenluftvolumenstrom: 150 m³/h

Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung: 85%

Zuluftvolumenstrom bei Heizbetrieb: 300 m³/h

Leistungsabgabe über die Lüftung im Auslegefall: 3.0 kW

3.1.4 Der Ofen

Der gemauerte Speicherofen hat eine Nennleistung von 4kW. Davon werden 3kW über das Luftregister abgeführt und ca. 1kW geht direkt an den Aufstellungsraum. Bei Auslegebedingungen muss zweimal täglich eingefeuert werden. Der Nenn-Luftvolumenstrom durch das Luftregister liegt bei 300 m³/h, dabei ist der Druckverlust 60 Pa.

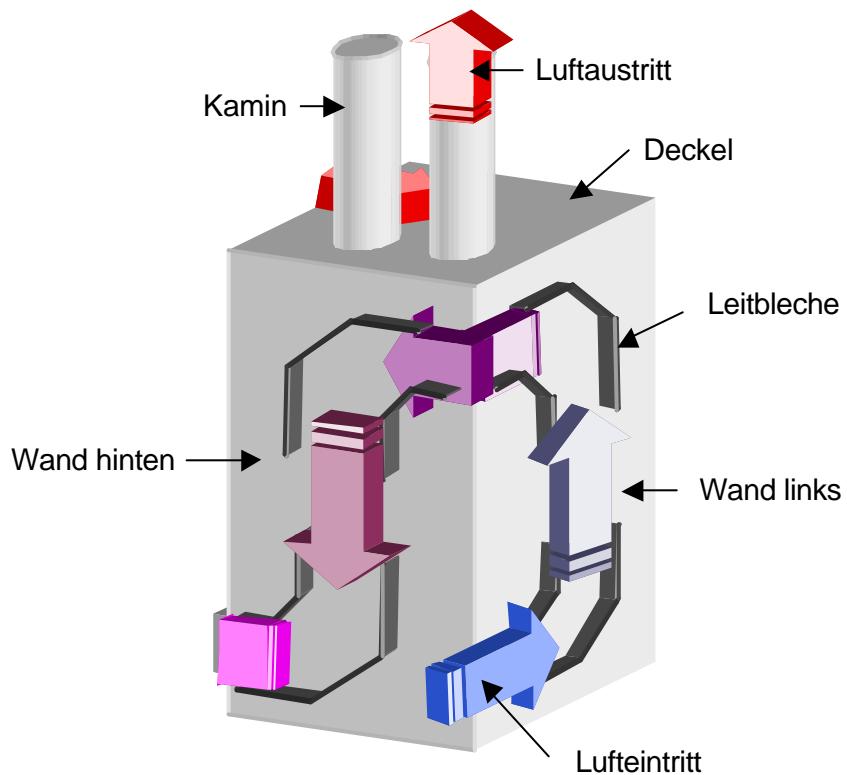
Der gesamte Ofen wiegt rund eine Tonne. Die Höhe ist 1.6 m, Breite und Tiefe messen je ca. 0.9 m. Das Luftregister umschliesst die Seitenwände, die Rückwand und die obere Seite des Ofens. Die Aussenhülle ist aus Chromstahl, innen grenzt es an die verputzte Oberfläche des Ofens. Die Luft wird in Serie durch alle Wände geführt (Fig. 3.3). Der gesamte Ofen ist aussen mit Gusschamott verkleidet und verputzt.



**Figur 3.2: Holzspeicherofen
(Fabrikat von Wyl, Kägiswil)**

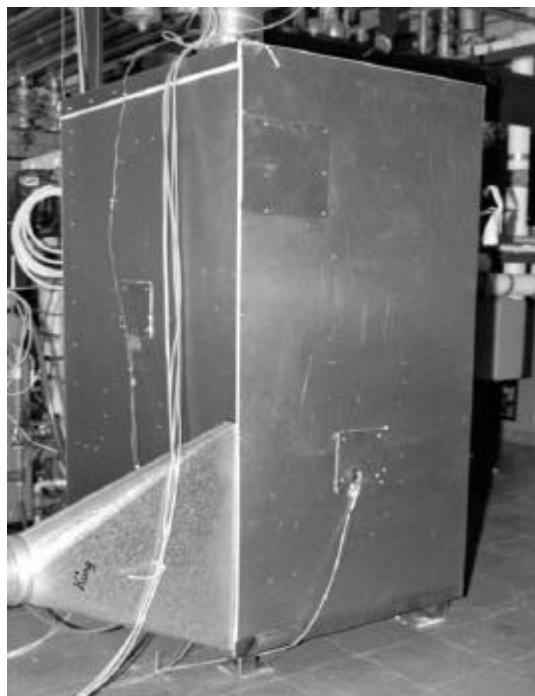
Auf Grund der Fertigungstoleranzen wurde entschieden, dass der Luftspalt im Register eine Höhe von mindestens 40 mm hat. Kleinere Höhen wären aus Sicht des Wärmeübergangs besser. Bei der zu erwartenden Herstellungsgenauigkeit wäre aber das Risiko gross, dass entweder der Druckverlust zu hoch oder die Wärmeleistung zu tief würde.

Die Metallkonstruktion des Luftregisters ist als Einzelanfertigung teuer. Damit mit dieser Lösung eine günstige Vollheizung realisiert werden könnte, müssten die Metallarbeiten standardisiert und teilweise automatisiert werden. Das bedeutet, dass jährlich über hundert Öfen dieser Art gebaut werden müssten.



Figur 3.3: Luftführung im Luftregister

Durchführung der Erfolgskontrolle



Figur 3.4 / 3.5: Luftregister mit Stahlblech-Aussenmantel

4.1 Ablauf

Die Wärmeabgabe über das Luftregister des Holzofens wurde im Mai 2000 im HLK-Labor der HTA-Luzern untersucht. Diese Messungen sind in einem separaten Bericht dokumentiert [1].

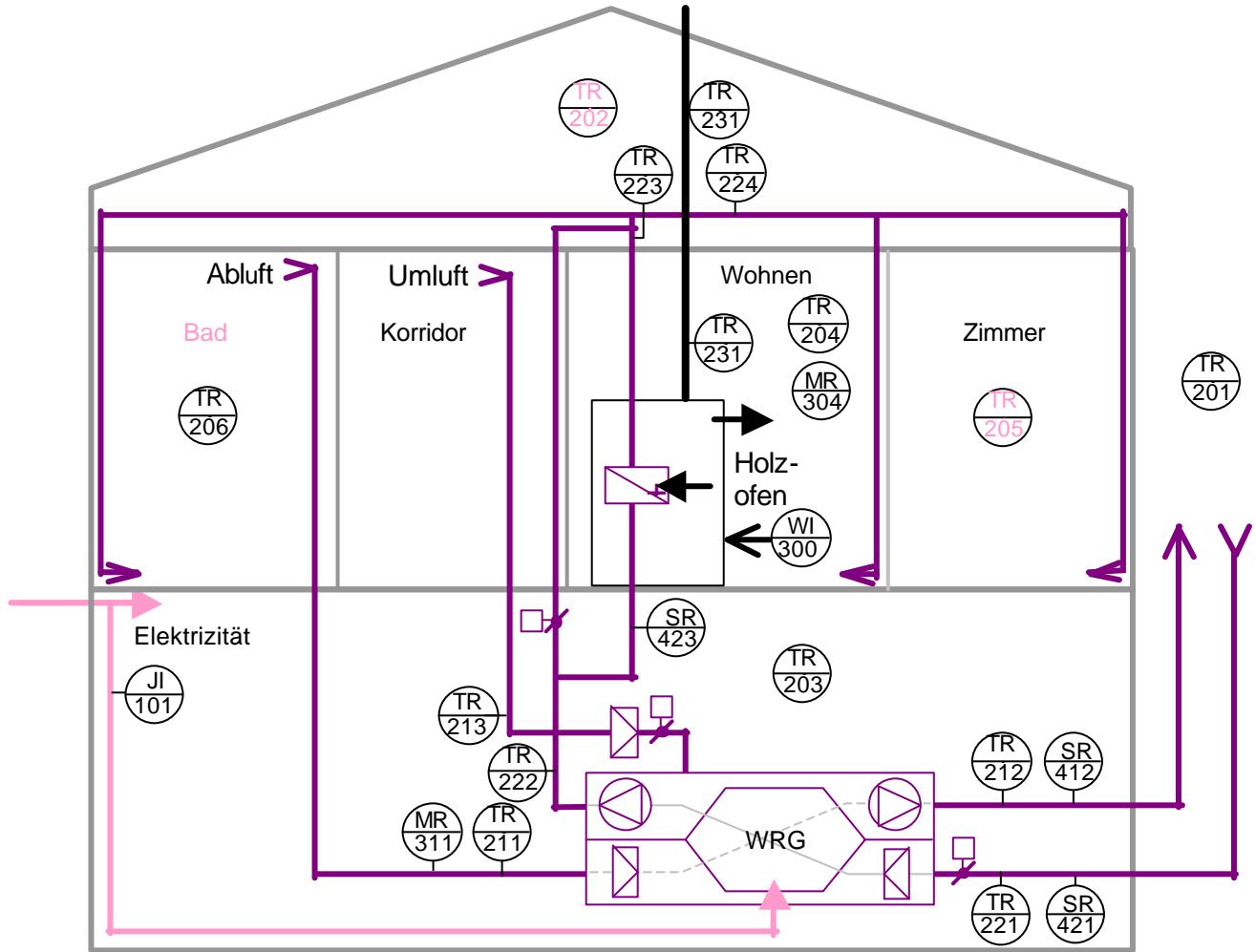
Vom 01.10.2000 bis 31.04.2001 wurden Messungen durchgeführt, die für das Erstellen der Energiebilanz erforderlich waren.

Am 01.03.2001 wurde vom VHP der Ofenwirkungsgrad gemessen. Über diese Messung wurde eine Aktennotiz erstellt [2].

Am 18.04.2001 wurde von der EMPA Dübendorf die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle gemessen. Zu dieser Prüfung wurde eine eigener Bericht erstellt [3].

4.2 Messaufbau

Das folgende Bild zeigt das vereinfachte Schema der Heizung und kontrollierten Wohnungslüftung mit den wichtigsten Messstellen für die Untersuchung im Winter 2000/2001.



Legende	
Medien und Energie	
— Elektrizität	
— Lüftung	
— Holz	
→ Energiestrom	
→ Medienstrom (Luft, Holz)	
Erstbuchstabe:	Folgebuchstabe:
J Energie	I Anzeige
M Feuchte	R Registrierung
S Geschwindigkeit	
T Temperatur	
W Masse	

Figur 4.1: Schema mit Messstellen

Diese Messstellen waren während der ganzen Heizsaison installiert.

4.2.1 Elektrische Energie

J R 101	Lüftungsgerät (vor allem Verbrauch der Ventilatoren)
---------	--

Der Verbrauch des Lüftungsgeräts wurde elektronisch erfasst und alle 60 Minuten abgespeichert.

4.2.2 Temperaturen

T R 201	Aussenluft
T R 202	Raumluft Dachraum (Kaltdach)
T R 203	Raumluft Untergeschoss
T R 204	Raumluft Wohnen
T R 205	Raumluft in einem Zimmer (Kinderzimmer)
T R 205B	Zuluft Kinderzimmer (vor dem Austritt)
T R 206	Raumluft im Bad
T R 211	Abluft vor dem Eintritt ins Lüftungsgerät
T R 212	Fortluft am Austritt aus dem Lüftungsgerät
T R 213	Umluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät
T R 221	Aussenluft vor dem Eintritt ins Lüftungsgerät
T R 222	Zuluft am Austritt aus dem Lüftungsgerät
T R 223	Zuluft nach dem Ofen-Luftregister
T R 224	Zuluft nach dem Mischpunkt von Ofen-Luftregister und Bypass
T R 225	Zuluft am Ende der Verteilleitung
T R 231	Abgastemperatur Holzofen

Die Temperaturen TR 201 bis TR 206 wurden mit Kleindataloggern erfasst und als Stundenwerte gespeichert. Die übrigen Temperaturen wurden mit einem zentralen Datenlogger gemessen, elektronisch erfasst und alle 60 Minuten abgespeichert.

4.2.3 Luftfeuchte

MR 304	Raumluft Wohnen
MR 311	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät

Die relative Feuchte wurde elektronisch erfasst und alle 15 Minuten abgespeichert.

4.2.4 Luftgeschwindigkeit

Die Luftgeschwindigkeitsmessungen dienten als Indikatoren für die Luftvolumenströme und Betriebsstufen. Bei der Installation der Messung wurden die Luftvolumenströme bei den verschiedenen Betriebsstufen gemessen und den entsprechenden Signalen der Luftgeschwindigkeitsfühler zugeordnet.

S R 412	Fortluft nach dem Lüftungsgerät
S R 421	Aussenluft vor dem Eintritt ins Lüftungsgerät
S R 423	Eintritt Ofen-Luftregister

Die Signale wurden elektronisch erfasst und alle 15 Minuten abgespeichert.

4.2.5 Masse

WI 300	Holzverbrauch
--------	---------------

Der Holzverbrauch wurde von den Bewohnern mit einer Waage ermittelt.

Der Tagesverbrauch an Brennholz wurde gewogen und erfasst. Die Bewohner führten eine Liste mit Datum und Anzahl der verfeuerten Chargen (Ofenfüllung). Es wurde auch registriert, wenn mit einer anderen Holzsorte oder mit einer anderen Holzlieferung gefeuert wird.

Messresultate

5.1 Energiebilanz der Raumheizung

5.1.1 Holzverbräuche über die Heizperiode

Über die Heizperiode 2000/2001 wurden die tabellierten Holzverbräuche aufgenommen.

Okt 00	Nov 00	Dez 00	Jan 01	Feb 01	Mrz 01	Apr 01	Mai 01
210.7	415.3	508.4	530.2	415.6	443.3	350	12.8
2886							

Tab. 5.1: Holzverbräuche in kg

Der gesamte Verbrauch entspricht ca. 6.4 Ster Holz (Buche).

5.1.2 Energieverbrauch der Lüftung

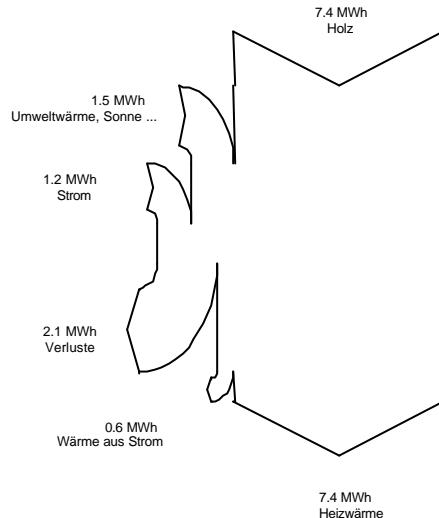
Jan 01	Feb 01	Mrz 01	Apr 01	Mai 01
39.3	35.6	84.6	111.0	87.5

Tab. 5.2: Energieverbrauch der Ventilatoren in kWh

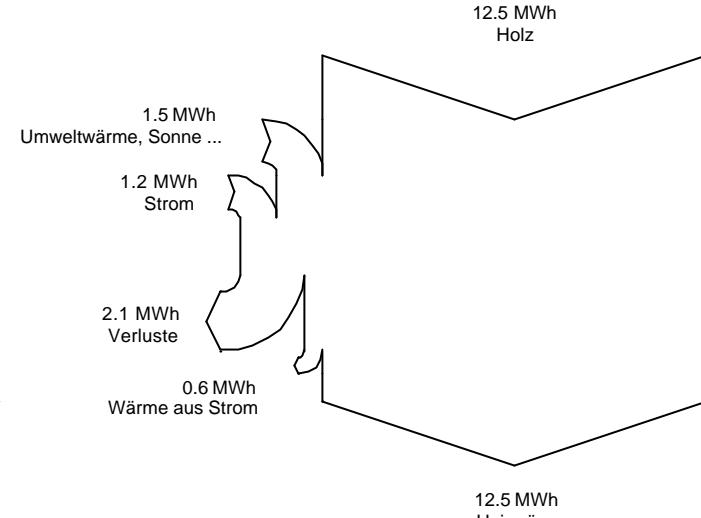
Die Tabelle der Lüftungsenergieverbräuche zeigt sehr unterschiedliche Werte. Werden die Luftvolumenströme mit dem Verbrauch verglichen, fällt auf, dass auch diese Werte starken Schwankungen unterlegen sind. Während des Winters wurde die Anlage verbessert und der Volumenstrom ca. 3 mal neu eingestellt.

5.1.3 Energieflussdiagramm

Die folgenden Diagramme beziehen sich auf das Gebäude. Der Ofen wird speziell betrachtet.



Figur 5.1 : Geplante Werte



Figur 5.2: Erreichte Werte (Winter 00/01)

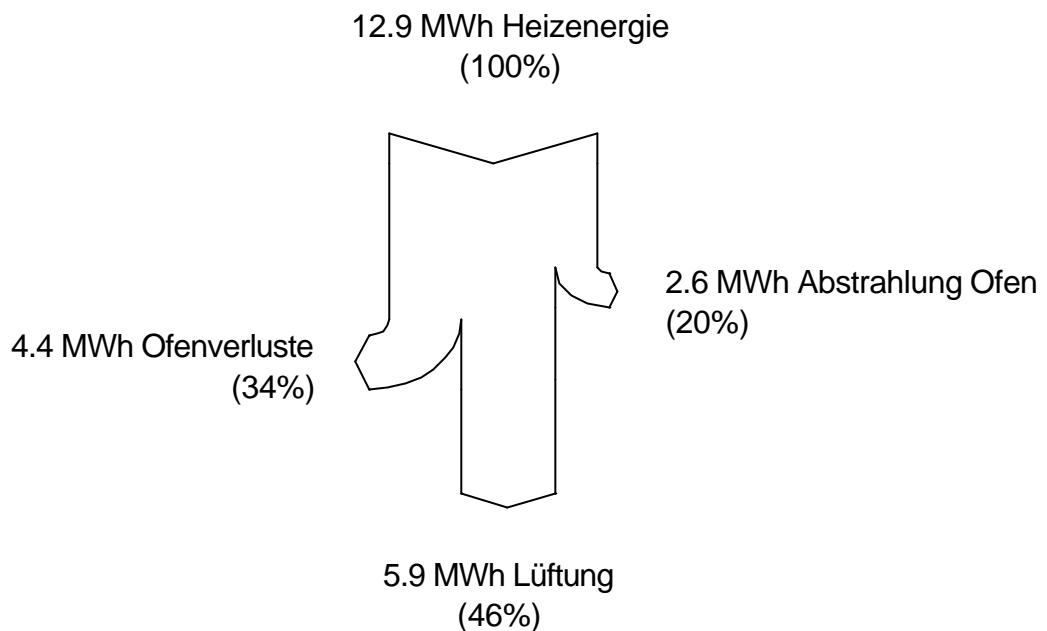
Die Darstellung ist auf die Normheizgradtage korrigiert. Der gemessene Verbrauch ist ca. 1.7 mal grösser, als der vorausberechnete.

5.1.4 Ofenwirkungsgrad und Leistungen

Für 3 Monate wurde untersucht, wieviel Wärme in die Lüftung eingebracht wurde. Die abgestrahlte Leistung wurde mit dem gemessenen Wirkungsgrad von 66% und der Luftleistung ermittelt. (Dieser Wirkungsgrad bezieht sich auf eine Messung und wird für weitere Berechnungen extrapoliert.) In der Zwischenzeit ist der Wirkungsgrad verbessert worden.

	Holzverbrauch (H_u)	Abgabe an die Lüftung	Direktabgabe an das Wohnzimmer
	kWh	kWh	kWh
Okt 00	941.0	465.5	155.5
Mrz 01	1979.8	890.1	416.5
Apr 01	1563.1	700.7	331.0
Anteil	100%	46%	20%

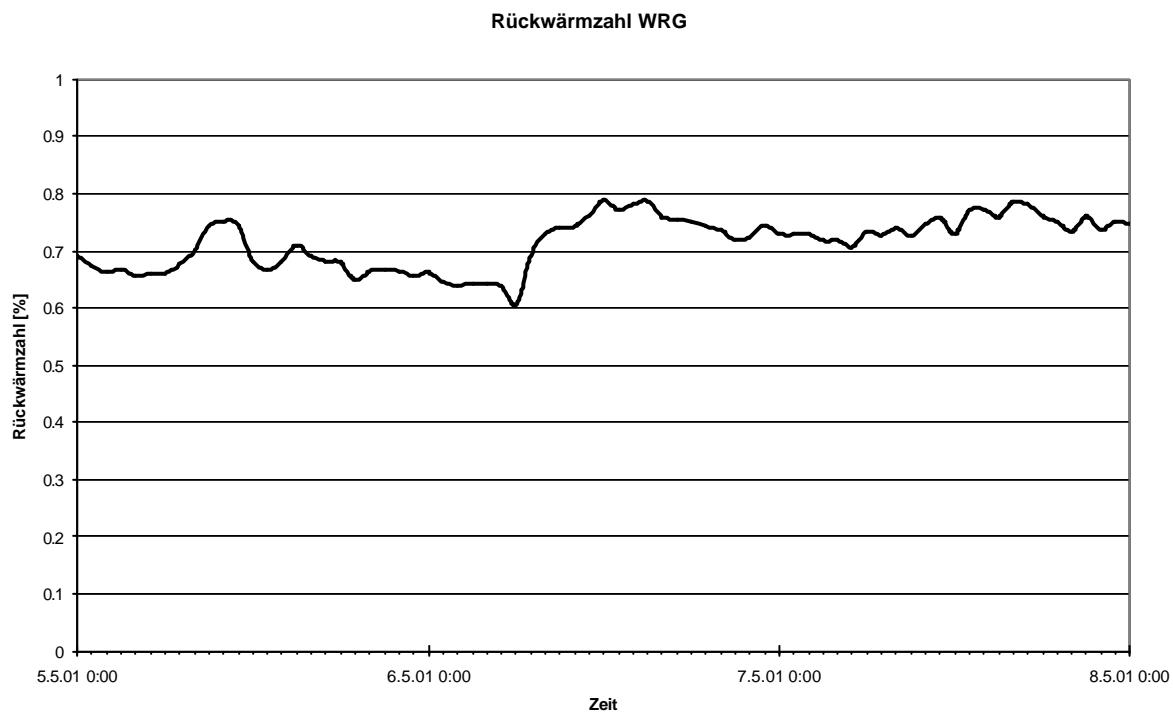
Tab. 5.3: Energiebilanz des Ofens



Figur 5.3: Energieflussdiagramm Wärmeerzeugung

5.1.5 Die Wärmerückgewinnungsanlage

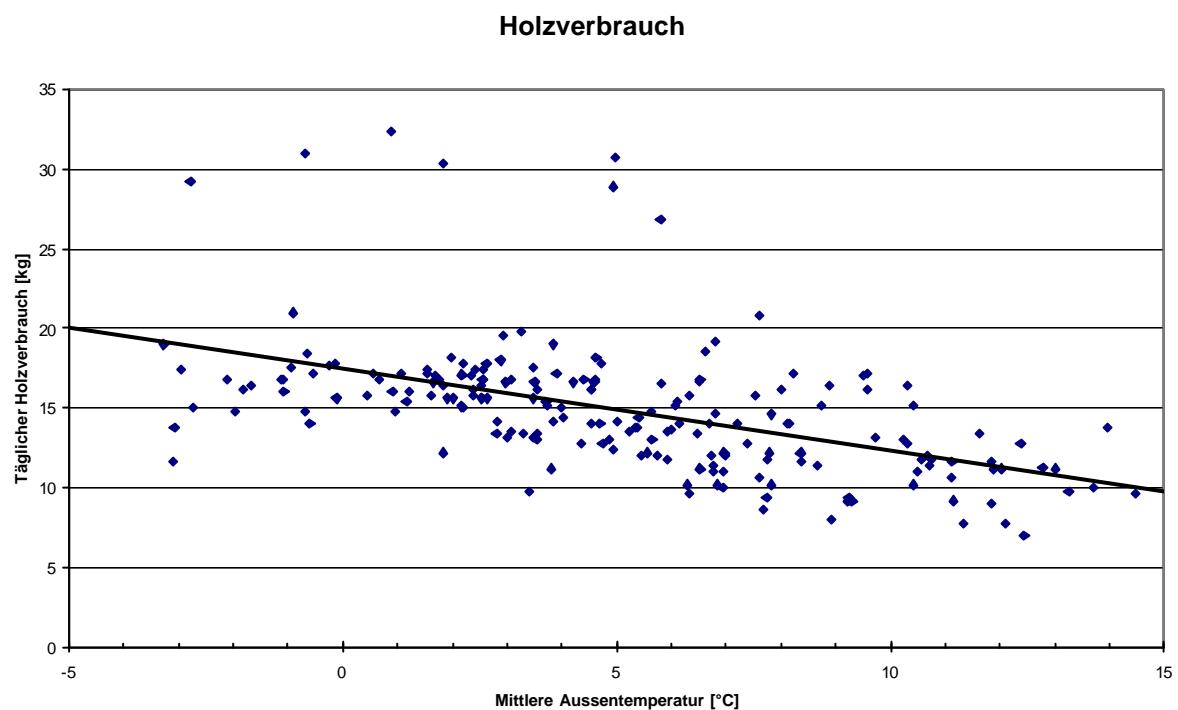
Die Wärmerückgewinnungsanlage arbeitet mit einem Kreuzstromwärmeübertrager. Der Zuluft wird nach der WRG ein Teil an Umluft beigemischt. (s. Schema 4.1)



Figur 5.4: Rückwärmzahl der Wärmerückgewinnung

Über ein Zeitintervall von 3 Tagen ist die Rückwärmzahl im Diagramm 5.4 aufgetragen. Die mittlere Rückwärmzahl beträgt ca. 70%. In der Planung wurde von einem Wert von 85% ausgegangen.

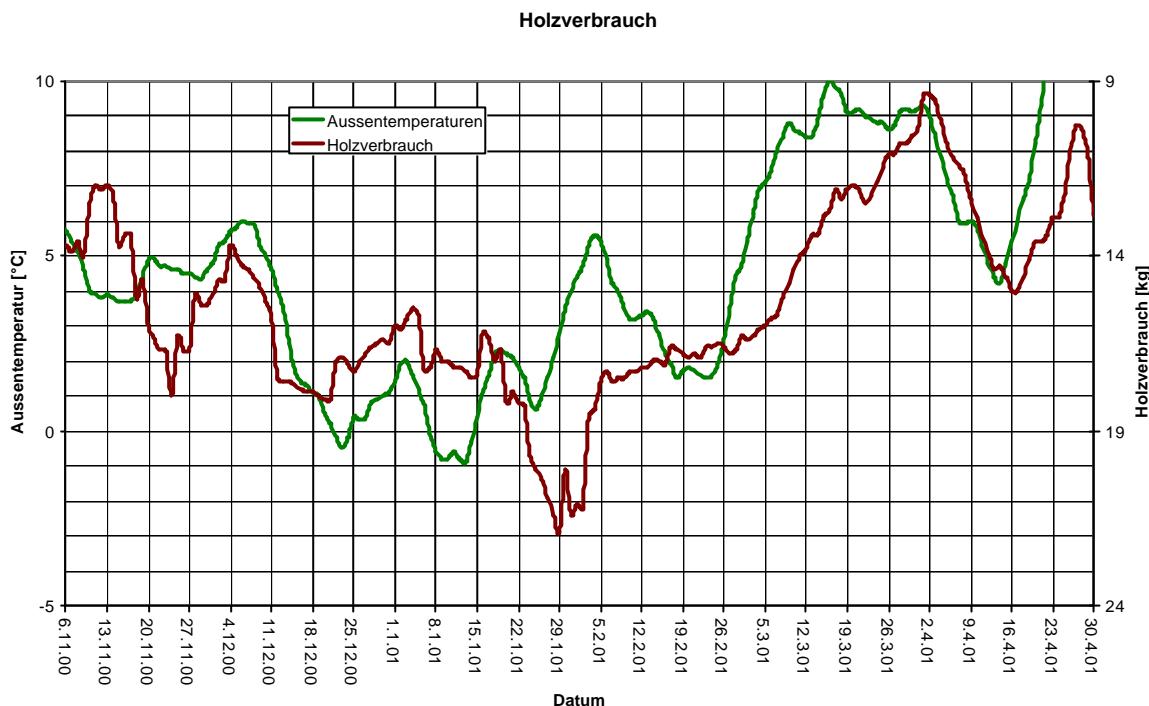
5.1.6 Heizenergiebedarf



Figur 5.5: Holzverbrauch in Abhängigkeit der Aussentemperatur

Im Diagramm 5.5 ist erkennbar, dass bei einer Aussentemperatur von 15°C pro Tag ca. 10 kg Holz benötigt werden, bei –5°C sind es 20 kg Holz.

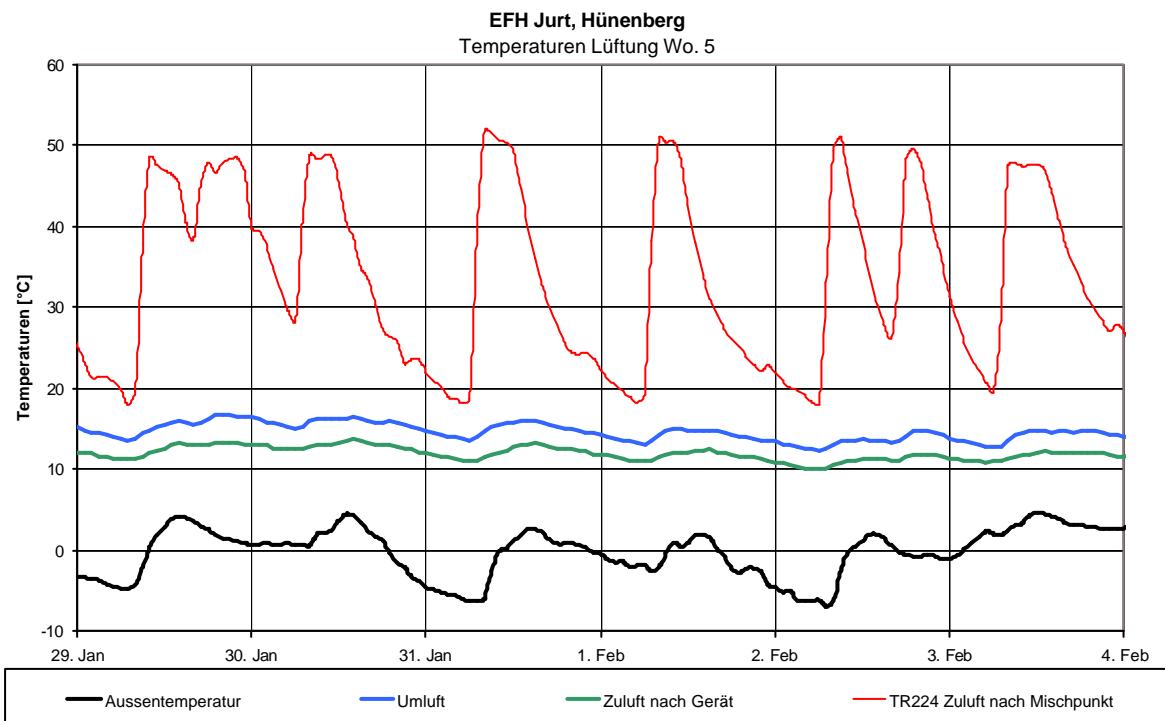
Der zeitliche Verlauf kann im Diagramm 5.6 abgelesen werden.



Figur 5.6: Holzverbrauch in Abhängigkeit der Aussentemperatur

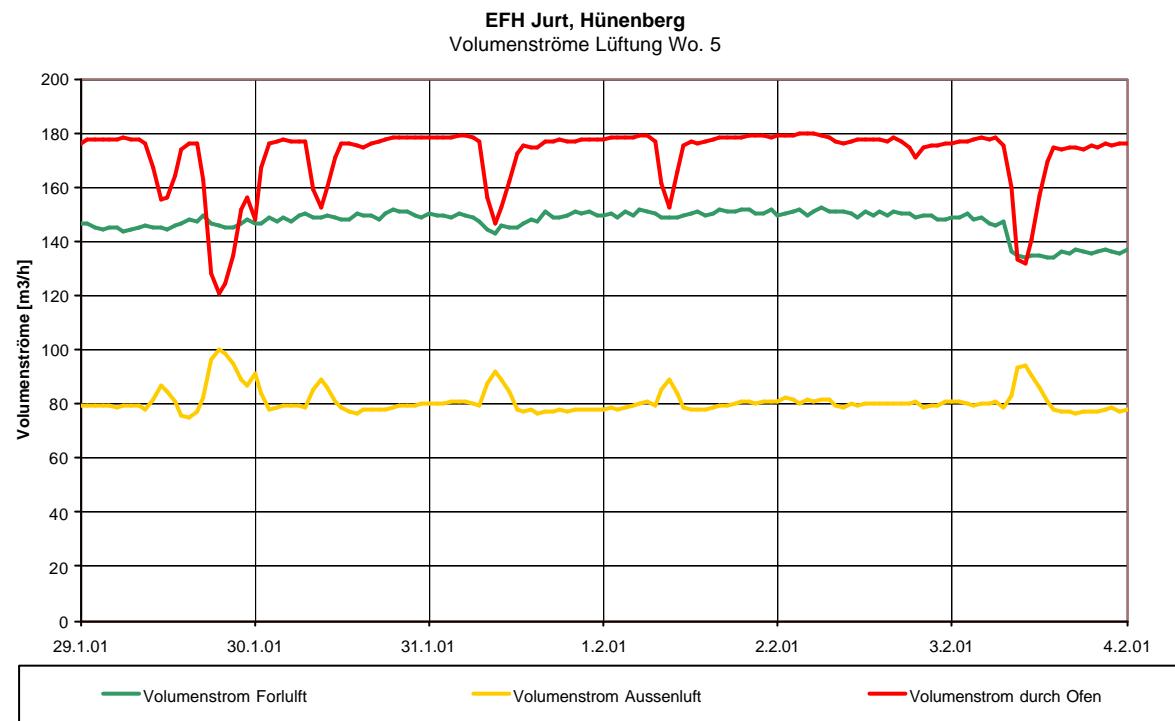
5.2 Betriebscharakteristiken der Anlage

5.2.1 Betriebscharakteristik kalte Woche

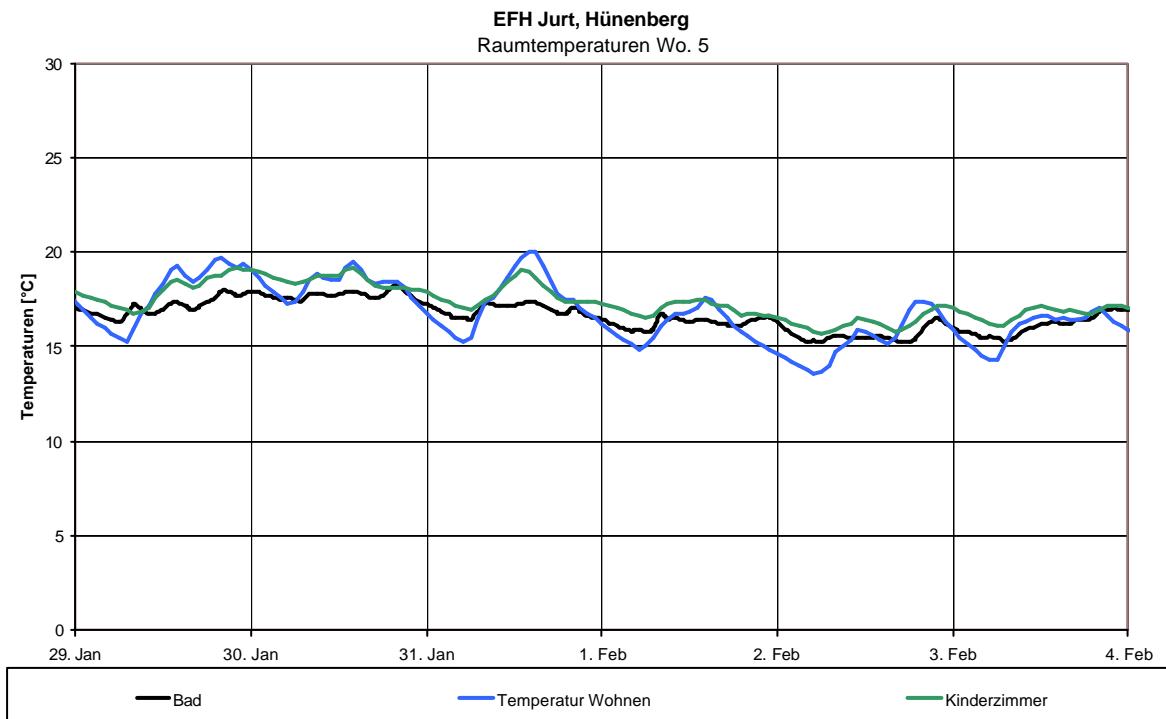


Figur 5.7: Betriebscharakteristik in einer kalten Winterwoche

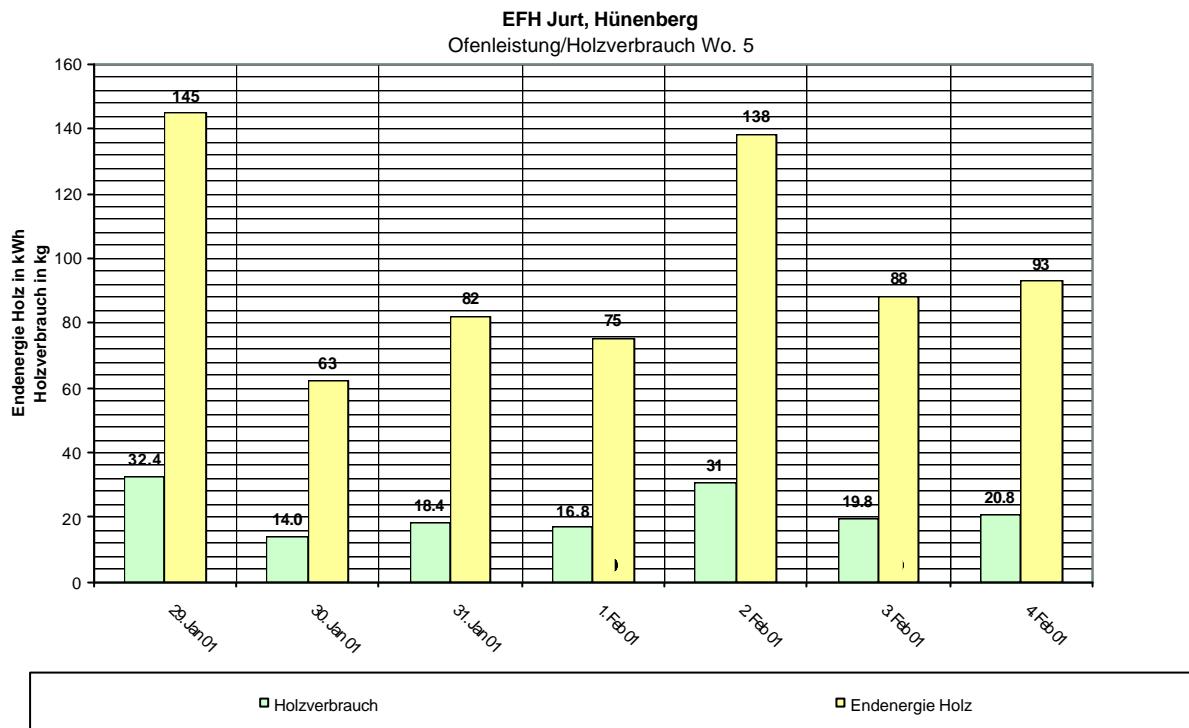
Die Zeit vom 29. Januar bis 4. Februar war eine der kältesten Wochen im Winter 2000/2001. Die Temperaturen lagen immer um den Gefrierpunkt. Die charakteristischen Betriebsbedingungen des Holzofens können sehr gut an den roten, stark schwankenden Linien beobachtet werden. Am Montag (29. Jan.) und am Samstag (2. Feb.) wurde zwei mal angefeuert. Die Raumtemperaturen waren eher am unteren Ende der Behaglichkeit.



Figur 5.8: Luftvolumenströme in einer kalten Winterwoche

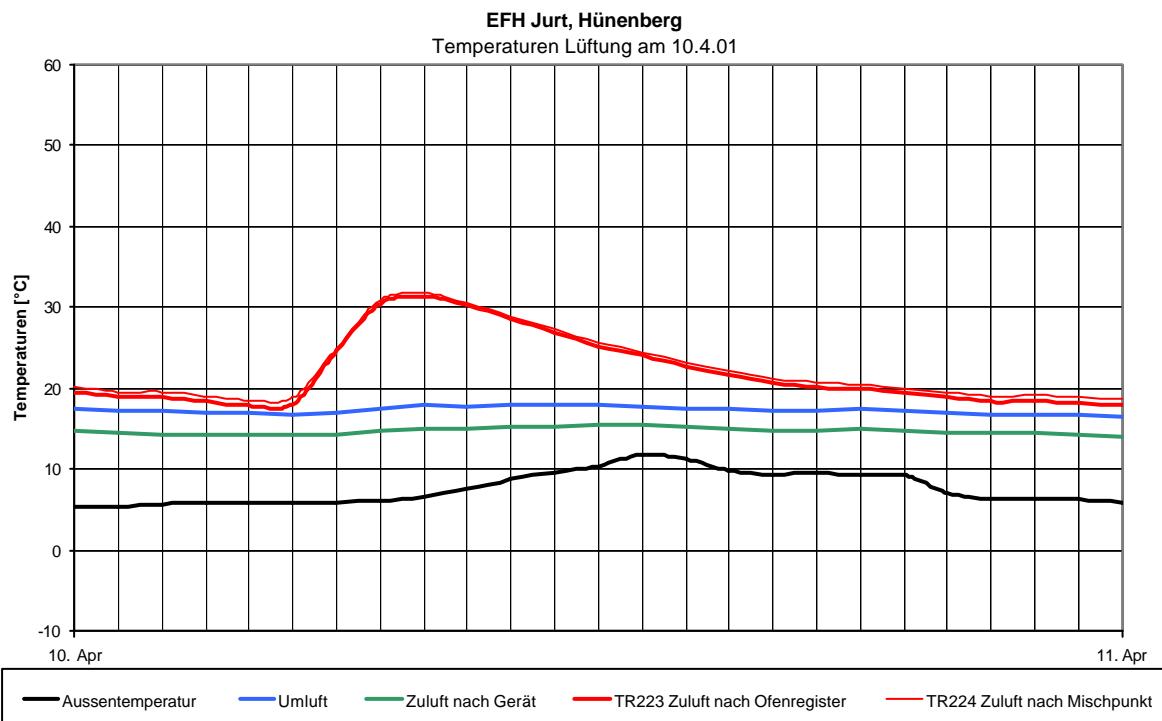


Figur 5.9: Raumtemperaturen in einer kalten Winterwoche



Figur 5.10: Holzverbrauch in einer kalten Winterwoche

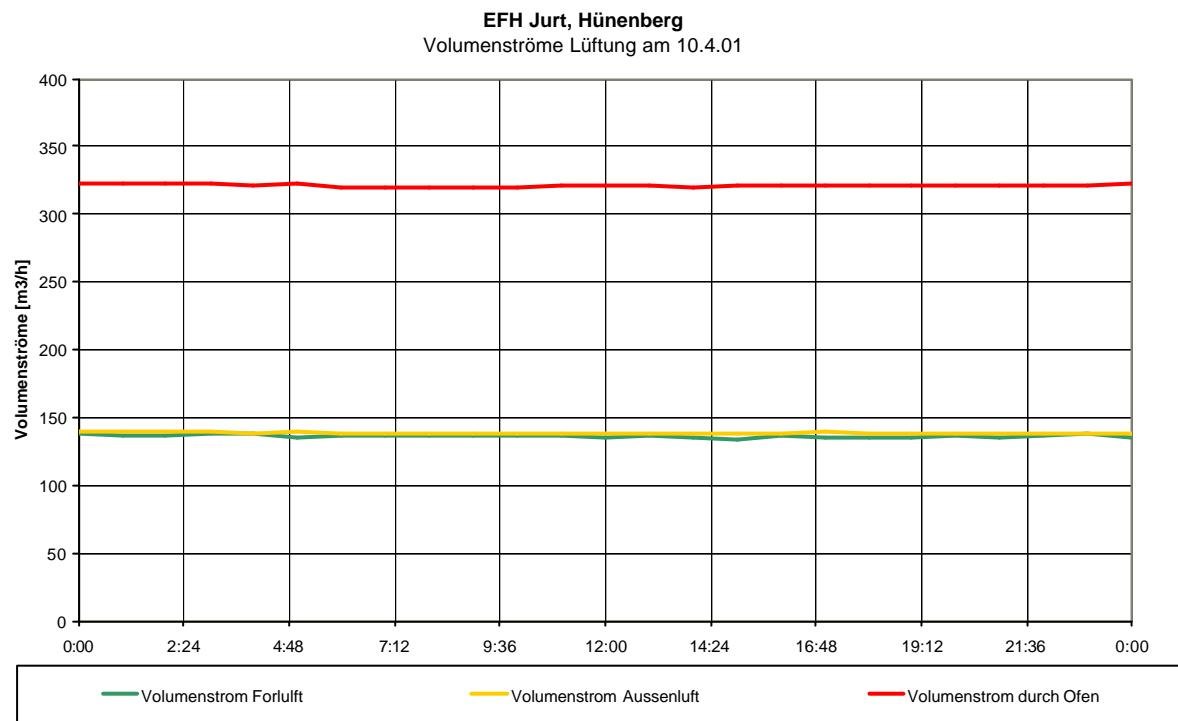
5.2.2 Betriebscharakteristik typischer Wintertag



Figur 5.11: Typischer Wintertag

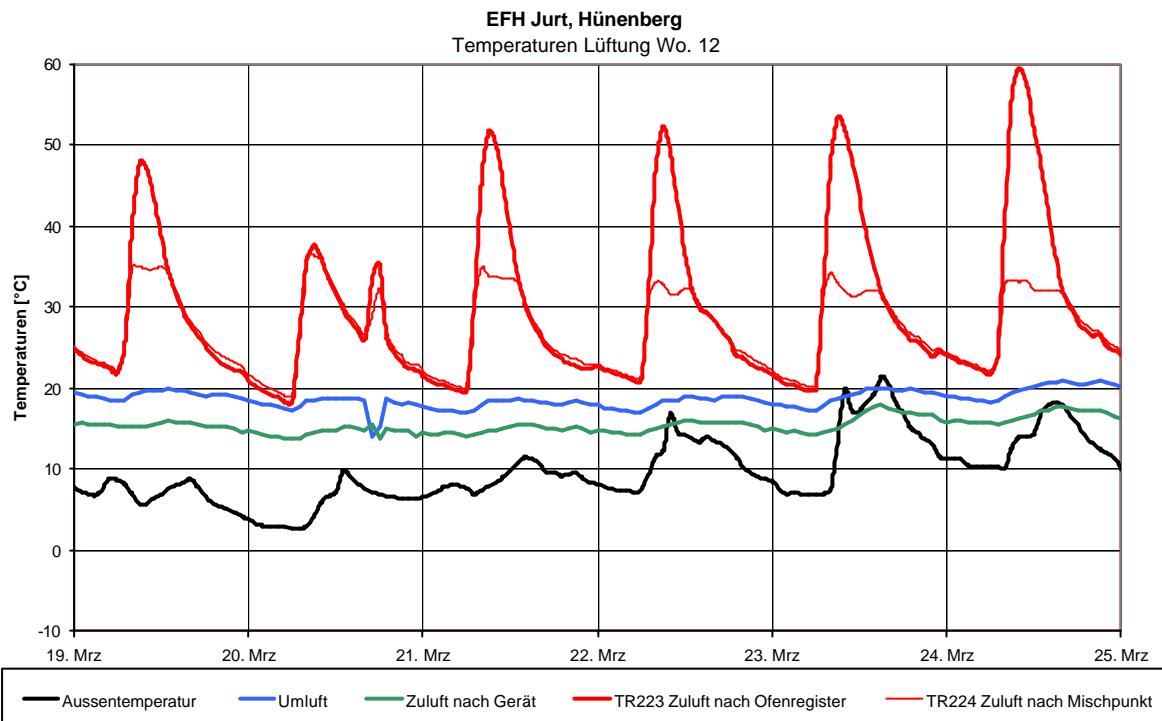
Die Zuluft nach dem Ofen (TR 223) und die Zuluft im Mischpunkt (TR 224) sind fast auf dem gleichen Niveau. Die Bypassregelung beginnt erst bei ca. 35°C zu regeln, deshalb wird die ganze Luftmenge durch den Ofen geblasen.

Die Luftvolumenströme von Ofenluft, Fortluft und Aussenluft sind über den Tag gesehen ziemlich konstant.



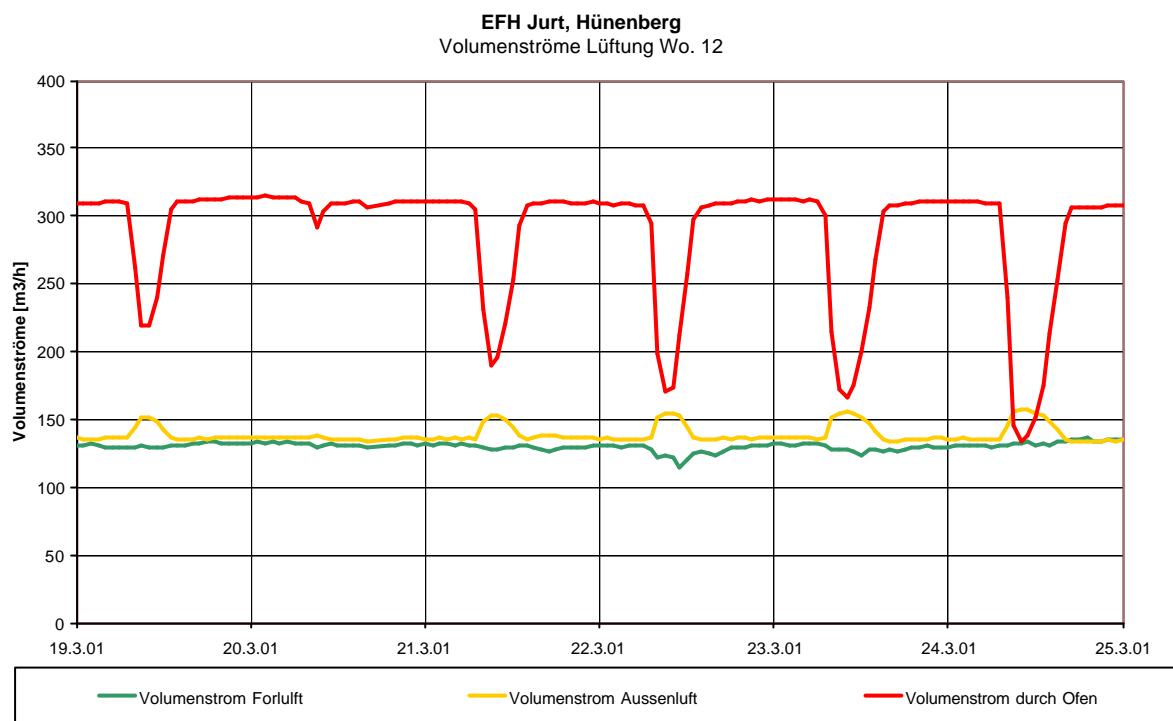
Figur 5.12: Typischer Wintertag

5.2.3 Betriebscharakteristik Übergangszeit

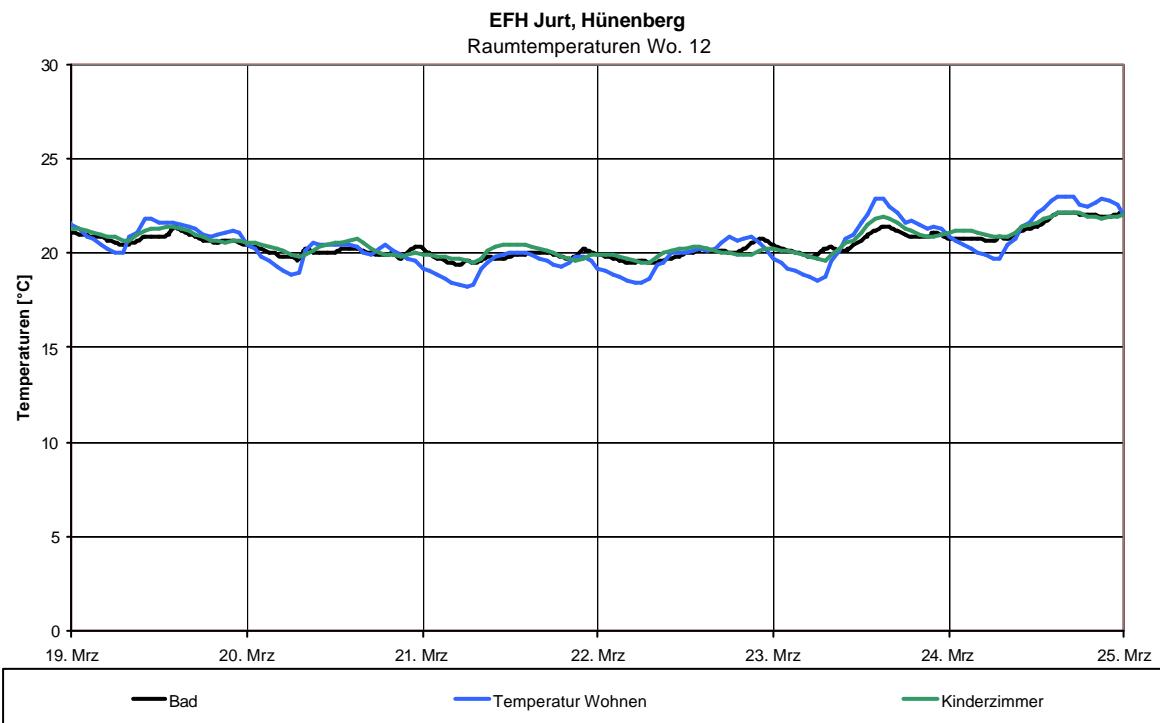


Figur 5.13 : Betriebscharakteristik Übergangszeit

Auf diesem Diagramm kann man das Betriebsverhalten der Zuluft-Temeraturregelung erkennen. Erst wenn die Ofenluft 35°C übersteigt, wird Bypassluft zugemischt.



Figur 5.14: Volumenströme Übergangszeit



Figur 5.15: Raumtemperaturen Übergangszeit

5.2.4 Verteilverluste

Die Leitungen mit der warmen Zuluft werden über den kalten Estrich geführt. Die Wärmeabgabe dieser Leitungen zählt zu den Verteilverlusten.

Nach Bauvollendung waren die Leitungen mit 50 mm Mineraldämmung wärmegedämmt. Die Auskühlung der Zuluft war so gross, dass die Funktion der Anlage nicht gewährleistet war.

Im Dezember 2000 wurden die Leitungen nachgedämmt und mit Weichpavatex-Platten verkleidet. Diese Wärmedämmung ist etwa gleichwertig, wie eine Rohrdämmung mit rund 100 mm Mineraldämmung.

Die Temperaturmessungen bei der Zuluft, nach dem Mischpunkt (TR 224) und der Zuluft im Zimmer zeigen, dass die Auskühlung immer noch relativ gross ist. Augrund der Temperaturmessung kann für die Warmluft ein Verteilverlust von 23% geschätzt werden.

Verteilverluste ins Zimmer

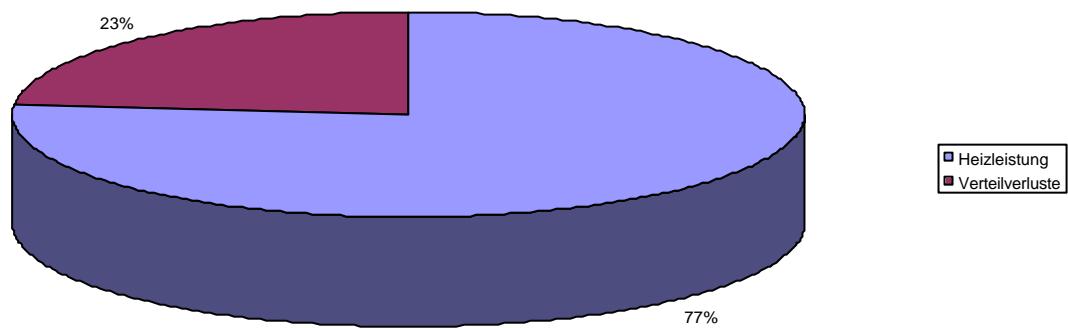
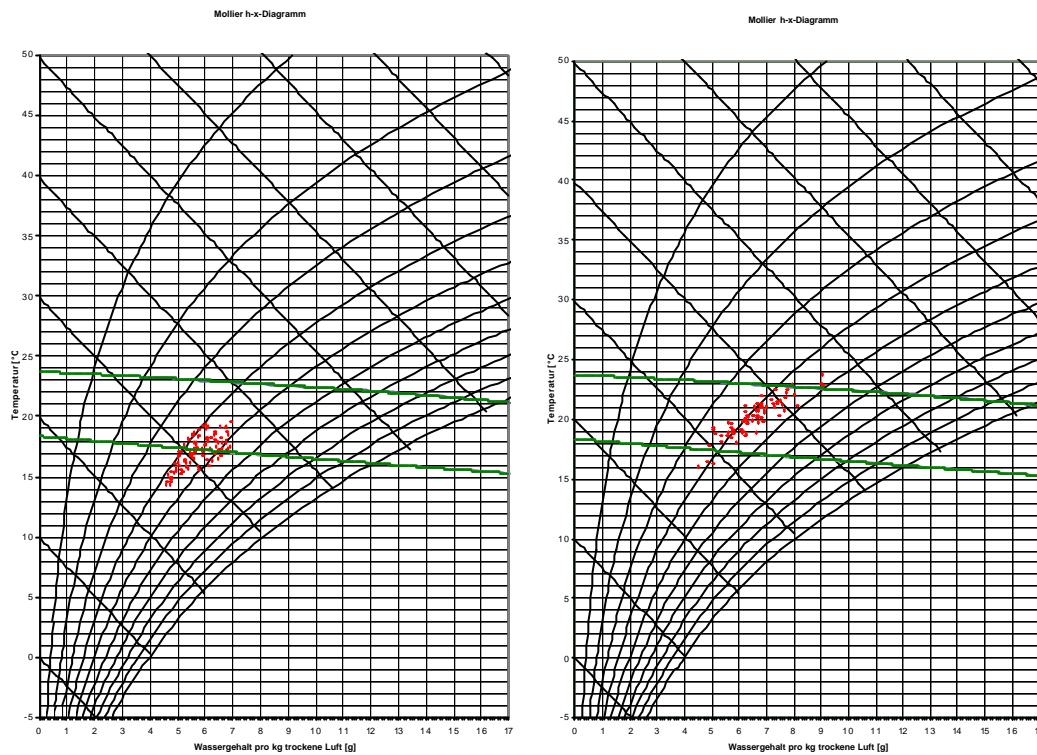


Fig 5.16: Verteilverluste Lüftung

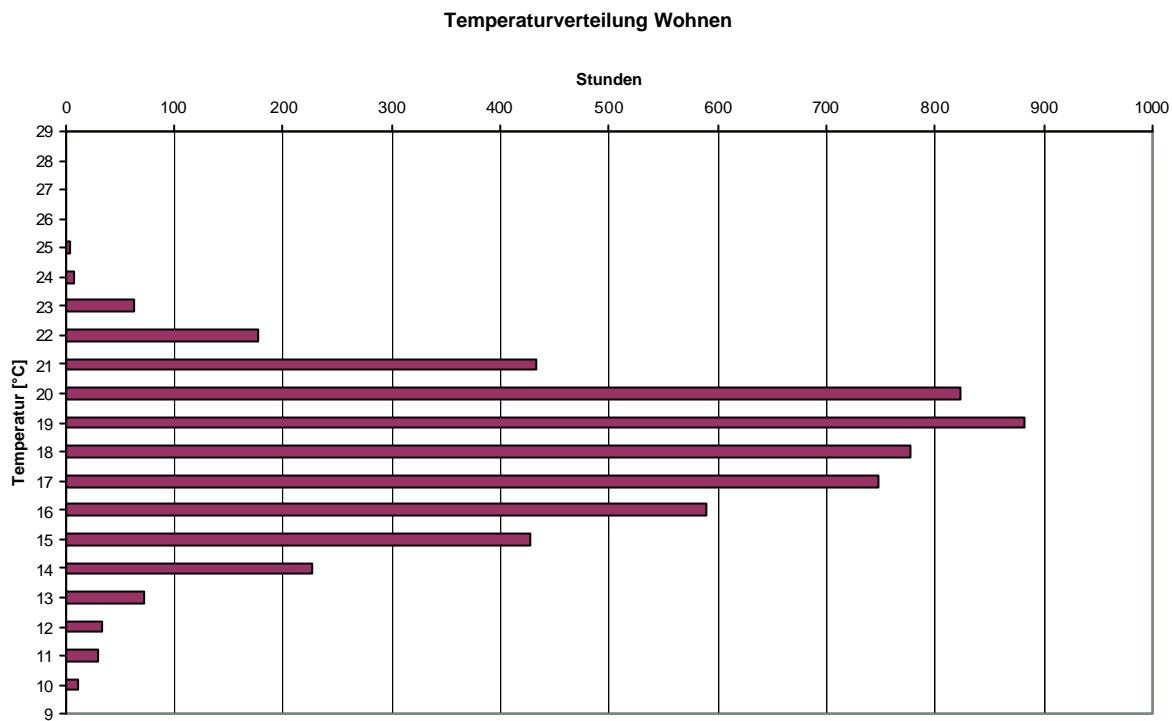
5.3 Komfort

Grundlage: Sitzende Tätigkeit oder entspannt stehend (Büro, Wohnung, Schule, Labor); Hausbekleidung im Winter; mittlere Raumluftgeschwindigkeit: 0.1 m/s.



Figur 5.17 / 18 Behaglichkeit im Dezember (links) und März (rechts) im Wohnzimmer

Im Dezember 2000 waren ca. 50% der Messwerte im Wohnzimmer ausserhalb der Behaglichkeitskriterien. Im März sah dieses Bild bedeutend besser aus. In der Zwischenzeit konnten am Gebäude und im Heizverhalten gewisse Verbesserungen gemacht werden. Zu beachten ist auch, dass der März 2001 ca. 4.4°C wärmer war als der Dezember 2000.



Figur 5.19 Temperaturhäufigkeiten

Die Häufigkeitsverteilung der Raumtemperatur zeigt, dass das Wohnzimmer oft zu kühl war.

5.3.1 Tabelle der Raumlufptemperaturen

	Temperatur Wohnen °C	Feuchte Raumluf t Wohnen r.h. %	Temperatur Kinder- zimmer °C	Temperatur Bad °C	Aussen Temperatur °C	Temperatur Dachraum °C	Temperatur Unter- geschoß °C
Okt 00							
Minimum	17.0	53.0	17.2	17.3	3.0	5.2	13.5
Maximum	22.3	63.3	20.4	21.2	16.5	19.6	16.9
Mittelwert	19.4	58.0	19.0	19.4	10.2	13.5	15.1
Nov 00							
Minimum	13.6	42.8	14.7	14.6	-3.6	2.3	10.1
Maximum	22.8	59.6	20.0	19.6	13.9	16.4	15.0
Mittelwert	16.9	53.2	16.9	16.9	5.1	9.0	12.2
Dez 00							
Minimum	13.7	35.0	15.2	15.2	-6.3		9.2
Maximum	21.2	55.1	20.5	20.5	13.1		12.6
Mittelwert	17.2	45.6	17.7	17.3	3.0		10.7
Jan 01							
Minimum	12.3	35.5	13.7	12.7	-6.8	-0.4	7.1
Maximum	20.9	51.7	19.2	19.1	8.6	10.3	9.9
Mittelwert	15.8	44.4	16.3	15.6	0.9	5.0	8.8

Feb 01							
Minimum	9.9	34.2	10.2	11.4	-8.7	-1.7	8.1
Maximum	21.2	50.4	19.4	18.8	13.4	13.1	10.8
Mittelwert	16.2	43.4	16.3	16.1	3.1	6.8	9.3
Mrz 01							
Minimum	15.5	33.9	17.0	16.6	-2.4	3.3	9.2
Maximum	23.7	50.4	22.7	22.5	27.7	19.5	13.7
Mittelwert	20.0	42.2	20.1	19.9	7.4	10.9	11.6
Apr 01							
Minimum	16.4	33.9	17.6	17.4	-2.5	4.1	10.0
Maximum	25.1	50.1	22.7	23.1	26.8	25.5	15.6
Mittelwert	19.7	41.6	19.9	19.9	8.0	10.7	12.4
Mai 01							
Minimum	17.2	39.0	17.8	18.2	4.2		13.2
Maximum	21.8	57.0	21.6	22.3	34.3		16.8
Mittelwert	19.7	49.7	20.0	20.6	15.6		14.8

Tab. 5.4: Raumtemperaturen

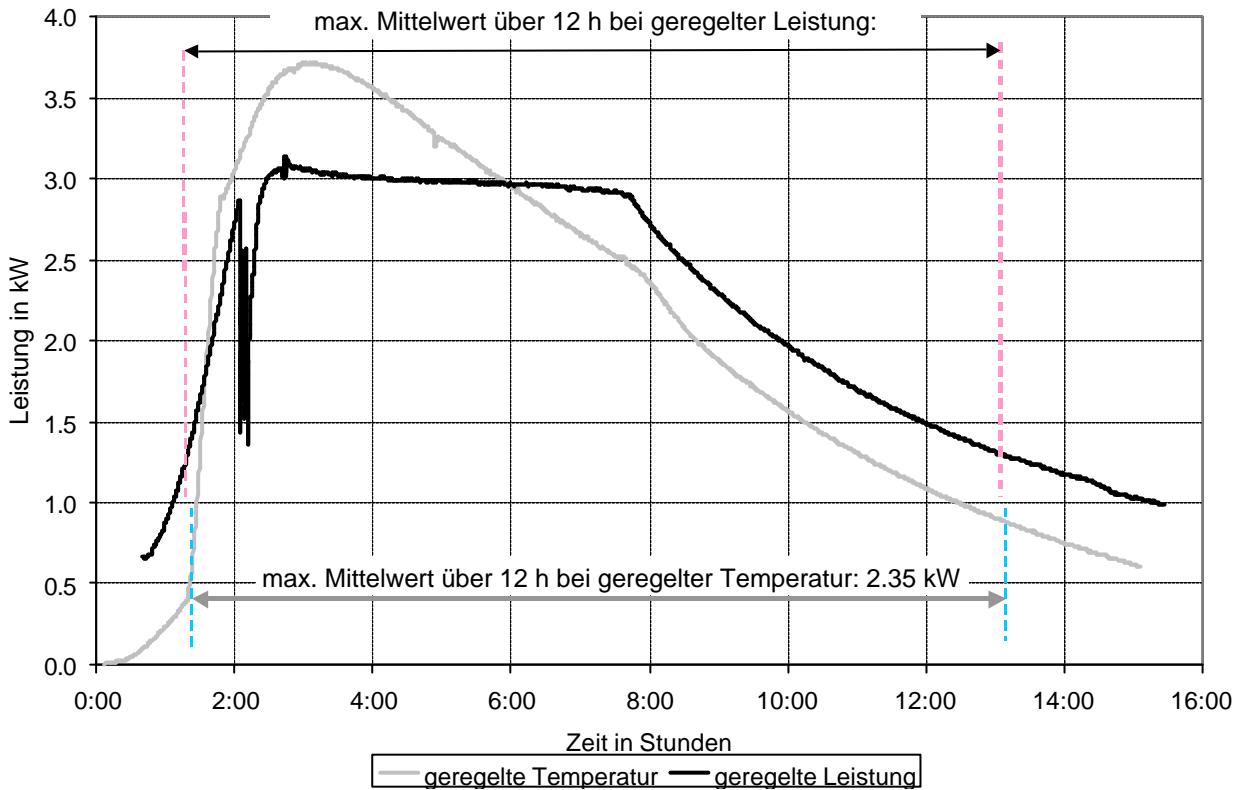
Bei Aussentemperaturen von über +6°C lagen die Raumlufptemperaturen im Bereich der Behaglichkeit.

Im Januar wurden die tiefsten Raumtemperaturen gemessen. In keinem Zimmer, lag die Durchschnittstemperaturen über 16.5°C.

Würden höhere Raumtemperaturen gefordert, würde der Holzverbrauch noch mehr steigen. Bei einer Raumtemperatur von 20°C wären 7.3 Ster Holz (Buche) nötig. D.h. einen doppelt so hohen Energieverbrauch wie geplant.

5.4 Messung des Ofen-Luftregisters im Labor

Im Rahmen von einfachen Prüfstandmessungen wurden verschiedene Betriebsarten des LuftRegisters untersucht. Diese Messungen sind in einem separaten Bericht dokumentiert [2]. Im Versuch wurde die Abgabefistung des LuftRegisters über die Ventilatordrehzahl geregelt. Der Leistungsverlauf ist in Figur 5.20 dargestellt. Der Versuch hat gezeigt, dass die Speichermasse des Ofens bis zu einem gewissen Grad bewirtschaftet werden kann. Wo die Grenzen der Speicherbewirtschaftung liegen, konnte im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht werden.



Figur 5.20: Vergleich der Leitungsabgabe des Ofens über das Luftregister mit geregelter Austrittstemperatur und mit geregelter Leistung

5.5 Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle

Am 08.03.2001 wurde die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle von der EMPA Dübendorf gemessen. Die Messung ist in einem separaten Bericht dokumentiert [3].

Für den n_{50} -Wert wurde 3.7 h^{-1} ermittelt. Die alte Norm SIA 180 (1988) setzte für Gebäude mit Lüftungsanlagen einen Grenzwert von 1 h^{-1} . Die Gebäudehülle wäre nach dieser Norm zu undicht.

Nach der neuen Norm SIA 180 (1999) wird der $v_{a,4}$ -Wert beurteilt. Gemessen wurde ein Wert von $0.4 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Die neue SIA 180 legt für Umbauten mit mechanischer Lüftung einen Grenzwert von $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ fest. Somit ist die in der neuen Norm geforderte Dichtheit erreicht.

Bei der Messung konnten diverse Leckstellen aufgezeigt werden, die sich nachbessern lassen (z.B. Fensteranschläge). Andere Leckstellen lassen sich nicht mit vernünftigem Aufwand beheben. Hier ist vor allem der Dachbereich zu erwähnen.

Ein Indikator für die Undichtigkeit der Gebäudehülle ist die grosse Temperaturschwankung im Wohnzimmer (s. Figuren 5.9 und 5.15): Aufgrund der guten Wärmedämmung der Gebäudehülle sollte die Raumtemperatur in der Nacht nicht so weit absinken.

5.6 Messung des Ofenwirkungsgrades

Am 01.03.2001 wurde vom VHP (Verband schweizerischer Ofen- und Plattengeschäfte) der Ofenwirkungsgrad gemessen. Über diese Messung wurde eine Aktennotiz erstellt [2]. Dabei wurde ein Wirkungsgrad von 66% ermittelt. Dieser Wert ist tief und kann verbessert werden. Die Abgastemperatur kann durch zusätzliche Rauchgaswiderstände reduziert werden. Gemäss VHP-Aktennotiz war die Bedienung (bis zum Messdatum) nicht optimal. Es wurde zu wenig fein gespaltenes Holz und zu wenig Anfeuermaterial verwendet. In der Zwischenzeit sind Verbesserungen gemacht worden, die den Wirkungsgrad wesentlich verbessert haben.

6 Diskussion

6.1 Energie

Der Holzverbrauch im P+D-Projekt EFH Jurt-Schallberger ist 70% höher, als in der Planung berechnet wurde. Dieser Mehrverbrauch hat verschiedene Ursachen:

Undichtigkeit der Gebäudehülle

Gemäss einem in der EN 832 aufgeführten Ansatz kann der natürliche Luftwechsel abgeschätzt werden. Mit dem gemessenen n_{L50} -Wert von 3.7 h^{-1} , liegt die so berechnete Infiltration bei rund 0.2 h^{-1} . Dieser natürliche Luftwechsel überlagert sich mit dem mechanischen. Dadurch erhöht sich der Heizwärmeverbrauch um rund 2.4 MWh/a. Es zeigt sich, dass sich die Undichtheit weitaus am Meisten auf den Mehrverbrauch auswirkt.

Wirkungsgrad und Betrieb des Ofens

Bis März 2001 war der Betrieb des Ofens nicht optimal. Der Wirkungsgrad ist wegen des zu starken Zuges zu klein. Durch Anpassungen am Ofen und ein optimiertes Feuerungsverhalten kann der Wirkungsgrad von 66% in die Nähe der geplanten 80% verbessert werden. Ein Ansatz ist, kleiner gehacktes Holz und mehr Anfeuermaterial verwenden. Zudem soll darauf geachtet werden, dass kein Unterdruck im Haus entsteht. Rauch kann ins Gebäudeinnere abgesogen werden, wenn der Schieber geschlossen wird. Die Benutzer schliessen den Schieber aus diesem Grund zu spät.

Nachtrag: In der Zwischenzeit ist der Wirkungsgrad verbessert worden. (Siehe S. 46/47)

Wärmerückgewinnung und Einstellung der Lüftung

Die Wärmerückgewinnung erreicht eine Rückwärmzahl von rund 70%. In der Planung wurde ein Wert vom 85% eingesetzt. Bis im Dezember 2000 waren die Aussen- und Fortluftvolumenströme nicht optimal eingestellt. Dadurch wurde der Nutzen der Wärmerückgewinnung geschwächt.

Verteilerverluste

Die Verteilverluste der Warmluft sind trotz Nachisolation immer noch zu gross. Sie

betragen immer noch ca. 23%. Eine weitere Verstärkung der Leitungswärmedämmung ist empfehlenswert.

Ursachen für Mehrverbrauch	Endenergie Heizen kWh	Holzverbrauch Ster	%
Planungswert	7400	3.7	100
Mehr- und Minderverbrauch durch:			
Undichtigkeit Gebäudehülle	2400	1.2	32
Wirkungsgrad Ofen und Betrieb Ofen	1600	0.8	22
Wärmerückgewinnung, Einstellung Lüftung	700	0.3	9
Verteilverluste Warmluft	1700	0.9	23
Wärmerer Winter (3220 HGT)	-600	-0.3	-8
Raumtemperaturen auf 19°C statt 20°C	-800	-0.4	-11
Total der erfassten Mehr- und Minderverbräuche	5000	2.5	68
Überlagerung, nicht erfasste Einflüsse und Unsicherheit	500	0.2	7
Gemessener effektiver Verbrauch	12900	6.4	174

Tabelle 5.5: Ursachen für den Mehrverbrauch an Holz

Durch bereits erfolgte und geplante Nachbesserungen sowie eine optimale Bedienung des Ofens kann in Zukunft ein Holzverbrauch erwartet werden, der etwa 50% über dem Planungswert liegt (bei 20°C Raumtemperaturen und Norm-Heizgradtagen).

Die Undichtigkeit der Gebäudehülle und die Verteilverluste vergrösserten nicht nur den Energieverbrauch, diese Schwachstellen beeinträchtigen auch die Funktion der Anlage und den Komfort. Durch die Nachbesserung der Leitungsisolation ist hier bereits eine Verbesserung erzielt worden.

Meinung des Berichterstatters: Aufgrund der Erfahrungen mit diesem und zwei weiteren Objekten, sollten Speicheröfen mit Luftregistern in Zukunft nur in sehr gut gedämmten und dichten Wohnhäusern eingesetzt werden. Das heisst, dass das Gebäude fast den Passiv-Haus-Standard erreichen soll. Bei dieser Voraussetzung ist das Konzept sinnvoll und kann den Einsatz von Holzspeicheröfen als Vollheizung attraktiv machen.

7 Schlussbemerkung

Die Messungen wurden im Rahmen einer energetischen Erfolgskontrolle durchgeführt. Es handelt sich daher keinesfalls um Abnahme oder Garantiemessungen.

Die elektronisch erfassten Daten werden während 3 Jahren gespeichert. Der Prüfbericht und die zugehörigen Dokumente werden bei uns an der Prüfstelle während 10 Jahren archiviert. Der Auftraggeber kann während dieser Zeit die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.

Horw, 2001-07-10

Projektleiter
Heinrich Huber Ing. HTL

Sachbearbeiter
D. Meierhans Ing. FH

8 Anhang

8.1 Photos



Gut sichtbar ist die hinterlüftete Fassade mit 120 mm Pavatherm Wärmedämmung.

Bild 1: Messobjekt: EFH Jurt-Schallberger, Hünenberg



Bild 2: Lüftungsgerät im Keller



Bild 3: Luftverteilung im Dachraum (Kaltdach)

8.2 Quellenverzeichnis

- [1] Huber H.: Labormessungen, HTA Luzern, 2000
- [2] Bürgler M.: Aktennotiz zur Wirkungsgradmessung, Hafnerverband, 2001
- [3] Tanner Ch.: Bestimmung der Luftdurchlässigkeit ($n_{L50}/v_{a,4}$ Wert) "Abnahmetest" nach Bauvollendung, EMPA, 2001
- [4] EN 832 1997 E, Europäisches Komitee für Normung, 1997

8.3 Messgeräte

Fabrikat	Datataker
Typ	DT 605 V 4:01, Relais Multiplexer
Messbereich	± 100 VDC, 4-20 mA, 7 kOhm, 10 Hz 1 kHz
Log Nr.	1.16 HP 003
Fabrikat	Datataker
Typ	DT 605 V 4:01, Relais Multiplexer
Messbereich	± 100 VDC, 4-20 mA, 7 kOhm, 10 Hz 1 kHz
Log Nr.	1.16 HP 001
Fabrikat	EMU
Typ	EMU 30.X7
Messbereich	3 - phasig: 400 VAC / 16A
Genauigkeit	Kl.2 (IEC 1036)
Log Nr.	1.13 HP 092
Fabrikat	Tinytag Feuchte
Typ	Art. 9903-0304
Messbereich	0 - 95% rF
Log Nr.	1.16 HP 095
Fabrikat	Tinytag Plus
Typ	TG-0017
Messbereich	Range E -40°C bis +85°C
Log Nr.	1.16 HP 095 / 097 / 100 / 101 / 077 / 079

8.4 Messgenauigkeit

Elektrische Energie

Genauigkeit: $\pm 2\%$

Temperatur mit Tinytag Kleindataloggern

Genauigkeit: 0.5 K

Temperatur mit zentralem Datenlogger

Genauigkeit der Messkette: 0.3 K

Durchfluss

Bestimmung der Luftvolumenströme pro Raum mit „Flowfinder“

Genauigkeit: $\pm 10\%$

Bestimmung der Luftvolumenströme in den Luftleitungen mit Anemometer

Genauigkeit: $\pm 20\%$

Bemerkung: In Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2080 liegt bei Feldmessungen die Messunsicherheit mit dem Anemometer bei ca. 20%. Neben der beschränkten Anzahl Messpunkte (Leitungsdurchmesser ca. 200 mm) sind in der Regel die Störungsprofile ungünstig.

Luftfeuchte

Kapazitive Fühler

Genauigkeit: $\pm 5\% \text{ r.F.}$

Masse

Der Holzverbrauch wurde mit einer Personenwaage bestimmt.

Genauigkeit: $\pm 1 \text{ kg}$

8.5 Tabelle Betriebszustände Lüftungsgerät

	Temperatur Aussenluft vor L.G.	Temperatur Zuluft nach Gerät	Temperatur Zuluft nach Mischpunkt	Temperatur Umluft	Temperatur Fortluft
	°C	°C	°C	°C	°C
Okt 00					
Minimum	2.9	13.2	18.5	14.2	9.1
Maximum	16.6	17.4	48.0	19.0	16.2
Mittelwert	11.5	15.8	28.0	16.8	12.9
Nov 00					
Minimum	-3.0	10.1	17.0	10.7	4.4
Maximum	14.7	16.1	55.0	18.5	14.4
Mittelwert	6.6	12.9	28.6	14.2	9.3
Dez 00					
Minimum	-5.6	10.4		12.5	5.5
Maximum	11.6	15.1		18.0	13.4
Mittelwert	1.9	12.8		15.3	8.9
Jan 01					
Minimum	-6.5	7.9	17.7	10.5	4.1
Maximum	9.7	14.0	55.3	16.8	11.5
Mittelwert	0.1	11.7	32.1	13.7	7.2
Feb 01					
Minimum	-7.5	8.2	10.5	9.1	3.0
Maximum	14.2	14.4	58.0	17.4	12.6
Mittelwert	2.5	11.9	28.6	14.0	7.8
Mrz 01					
Minimum	-3.0	11.2	17.0	14.0	4.3
Maximum	18.3	17.8	52.9	21.3	17.4
Mittelwert	5.6	14.8	28.4	18.0	10.0
Apr 01					
Minimum	-3.1	10.9	13.1	11.7	4.3
Maximum	19.5	19.3	58.5	21.6	18.1
Mittelwert	5.9	14.8	25.3	17.9	9.8
Mai 01					
Minimum	4.1	13.9		14.8	10.5
Maximum	23.7	18.9		19.7	20.2
Mittelwert	12.3	16.3		17.9	14.1

Projekt Jurt, Speicherofen mit Luftwärmetauscher

Versuch 2 ,Holzcharge 13 kg, Batch von oben

Datum : 19.10.01

Prüfbezeichnung

Prüfobjekt

Versuchs-Nr.

A011019.txt

Brennstoff

Holzsorte, Stückgrösse

Hart- & Weichholz, 33cm

Holzmenge

Anfeuerholz 1 kg, Hart- und Weichholz 12 kg

Holzfeuchtigkeit atro

[%-atro]

20

Heizwert berechnet

[MJ/kg]

15.00

MESSWERTE

	Anfahrrphase	Stationäre Phase	Ausbrandphase	Ganzer Abbrand
Von	8:19	8:33	9:26	8:19
Bis	8:33	9:26	9:39	9:39
Dauer	0:14	0:53	0:13	1:20

Umgebungstemperatur

[°C] 20 21 21

21

Abgastemperatur

[°C] 154 250 230

229

Kaminzug

[mmWS] 0.82 1.45 1.34

1.32

Emissionsmessung

Kohlendioxid CO2

[Vol.-%] 8.1 8.0 2.7

7.1

Kohlenmonoxid CO

[ppm] 1432 1393 1080

1280

CO bei 13% O2 im Normzustand

[mg/Nm³] 1689 1662 3746

1725

Thermische Verluste

[%] 12.4 21.3 52.9

21.7

Chemische Verluste

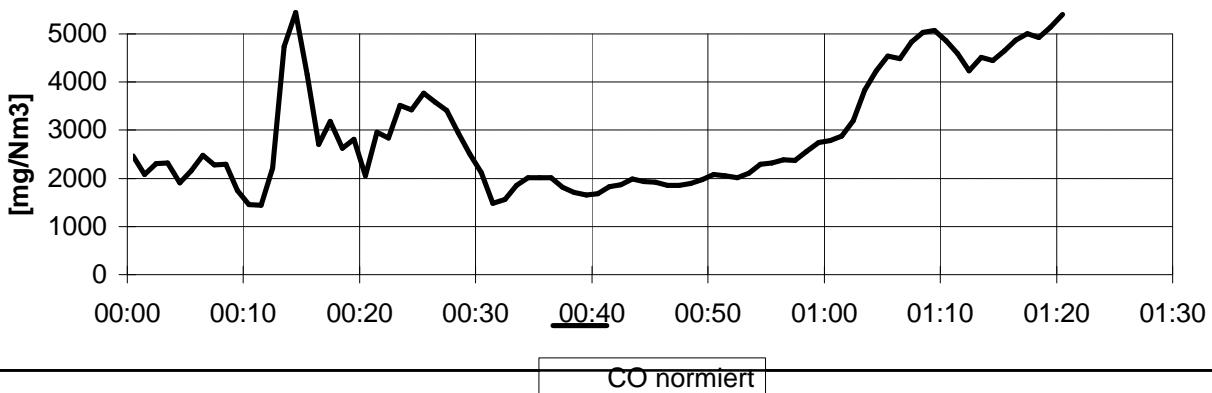
[%] 1.1 1.1 2.5

1.2

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

[%] 86.3 77.2 42.6

76.8



CO normiert

Kohlendioxid: