

# Neubau Doppel Einfamilienhaus Am Birkenweg 8, 6280 Hochdorf

Kombination von Holzspeicherofen und Lüftung in  
einem Gebäude im Minergiestandard

Erfolgskontrolle 1999 - 2000



*Ansicht von Südwesten*

## **Ausgangslage**

Das Doppelfamilienhaus "Am Birkenweg" in Hochdorf Luzern ist ein Gebäude, das gemäss den Angaben des Planers mit einer Energiekennzahl Wärme  $E_w = 160 \text{ MJ/m}^2\text{a}$  den Minergiestandard erfüllt. Die beiden Gebäudehälften werden separat beheizt, die Ergebnisse des vorliegenden Berichts beschränken sich auf einen Hausteil. Dieser wird durch einen Holzspeicherofen geheizt, die Wärmeverteilung erfolgt durch ein Umluftsystem, das mit einer kontrollierten Wohnungslüftung kombiniert ist. Das Wohnungslüftungsgerät ist mit einer Wärmerückgewinnung (WRG) und einer Luft-Luft Wärmepumpe (WP) ausgerüstet, so dass der Abluft Wärme entzogen werden kann. Dadurch kann die Zuluft auf höherem Temperaturniveau eingeblasen werden.

## **Fragestellung**

Die erwähnte Kombination eines Holzofens mit Umluftsystem, kontrollierter Wohnungslüftung mit WRG und WP stellt ein grundsätzlich neuartiges Konzept dar, für welches einige Fragen zu beantworten waren. Grundsätzlich sollter der Betrieb aller erwähnten Komponenten während einer vollen Heizperiode ausführlich untersucht und analysiert werden. Dabei waren neben den energetischen Kennwerten (Temperaturen, Energieflüsse, etc.) auch der Komfort ein wichtiger Aspekt. Von besonderem Interesse war das Verhalten des Speicherofens und die Bewirtschaftung der Wärme für die Luftheizung.

## **Inhalt des Messprojekts:**

- Wirkt sich die Beheizung über Luftumwälzung negativ auf den Komfort aus? (zu hohe Luftgeschwindigkeiten, ungenügende Wärmeverteilung, Temperaturasymmetrien).
- Bis zu welchen Heizleistungen können mit einem Holzofen der eingesetzten Art Wohnräume beheizt werden? Welches sind die Randbedingungen, um z. B. bei Sanierungen dieses System mit einmaligem Abbrand pro Tag ebenfalls einsetzen zu können?
- Ist ein Speicherofen in der Lage, genügend lange die erforderliche Wärmemenge zu liefern?
- Wie konkurrenzieren sich Holzofen und Wärmepumpe in der Übergangszeit?

## **Bericht des Bauherren (Ivo Langenick, Hochdorf)**

### **A Planung**

Die Idee, die vorgesehene kontrollierte Lüftung, auch als System zur Erwärmung des Gebäudes einzusetzen, wurde von Seiten des Ofenbauers eingebracht. In Zusammenarbeit mit dem Heizungs-/Lüftungsplaner, dem Ofenbauer und dem Architekten wurde diese Idee weitergesponnen und zur Ausführungsreife gebracht (Detaillierter Anlagenbeschrieb im Bericht des Ofenbauers und im Messbericht der HTA Luzern).

### **B Realisation**

Der Planungsaufwand für diese für alle beteiligten neue Anlage war enorm. Die Koordination welche durch den Architekten vorgenommen wurde, erwies sich als weitaus komplexer als marktübliche haustechnische Problemstellungen.

Die Kosten für die Realisation der Anlage sind sehr hoch. Nur durch ein tolles Engagement aller Beteiligten, die einen grossen Teil ihrer Arbeit in Fronarbeit verrichteten, stiegen diese Kosten nicht ins unendliche.

### **C Funktionsfähigkeit**

Aus heutiger Sicht bin ich mit der gesamten Anlage zufrieden. Es ist mir möglich mit Holz den grössten Teil der benötigten Wärme zu erzeugen und diese im Hause zu verteilen. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ( $> -5^{\circ}$ ) beläuft sich der Heizaufwand auf ein Abbrand im Holzspeicherofen pro Tag.

Das Haus durch eine kontrollierte Lüftung mit Frischluft zu versorgen ist ausgesprochen angenehm und funktioniert einwandfrei. Die Behaglichkeit ist an allen Stellen des Hauses sehr hoch, dieses angenehme Raumklima wird durch die biologische Bauweise stark gefördert.

### **D Fazit**

Um das Maximum aus der vorhandenen Anlage herauszuholen, müssen zwei wesentliche Punkte ergänzt werden:

- Sämtliche Luftverteilerrohre müssen mit mind. 5 cm Wärmedämmung versehen werden. Der Wärmeverlust bei den Rohren, auch in beheizten Räumen, erschwert es die geforderte Menge Warmluft in die Zimmer zu befördern.
- Dem relativ tiefen Luftfeuchtigkeitsgehalt ( $< 35\%$ ) kann entgegengewirkt werden, indem man die Menge der umgewälzten Luft reduziert. Das heisst, dass Minergie-Standard für das Heizen mit Luft nicht genügt. Benötigt wird ein Passivhaus-Standard.

Im weiteren sehe ich die Notwendigkeit einer durchgehenden Verantwortlichkeit. Ich meine damit, dass eine Person die Schnittstellen zwischen Lüftung und Ofen koordinieren muss.

Mein Dank geht an:

Das Bundesamt für Energie für die finanzielle Unterstützung

Roland Christen, KWP Energieplanung, Hochdorf

Jörg Bienz, Chiquet Energietechnik, Ormalingen

Heinrich Huber, HTA Luzern, Horw

Architekturbüro Bachmann Langenick & Partner, Urswil

## Bericht des Ofenbauers

Chiquet-Energetechnik AG

Jürg Bienz

### A Ziel:

Ablieferung von Wärme aus dem Ofen-Steinspeicher in genügender Menge, resultierend aus **einem** Abbrand pro Tag.

### B Lösungsweg:

Der Ofen wurde bzgl. Speichermasse ausgelegt, wie dies für statische, schwere Speicheröfen als Vollheizung üblich ist. Die Luftspalte zur Erwärmung der Heiz-Umluft wurden nach den gültigen Regeln der Hafnerbranche für Hypokaustsysteme dimensioniert. Die Steinspeichermasse wurde mit 3 Messstellen versehen, bei jeder Messstelle wurden je 3 Temperaturen registriert: rauchgasseitig, in der Mitte der Speicherwandung und warmluftseitig.

### C Hauptergebnisse:

Der Schamotte-Feststoffspeicher kühlte durch die erzwungene Luftströmung ca drei mal schneller ab, als dies bei statischen Speicheröfen bekannt ist.

Die an die Umluft zur Verfügung zu stellende Energie muss auf einem höheren Temperaturniveau liegen, als bei statischen Speicheröfen. Dies lässt einen Steinspeicher zusätzlich „als sehr schnell erkaltet,“ erscheinen.

Die direkte Wärmeabgabe in den Aufstellungsraum war trotz innenliegender Wärmedämmung viel höher als erwartet.

Die in solchen Systemen erforderliche Dichtheit von der Heizumluft gegenüber den Rauchgasen sowie gegenüber der freien Raumluft ist mit hafnerüblichen Mitteln schwierig zu erreichen.

### D Abstützung der Ergebnisse:

Die Ergebnisse können nur pauschal zusammengefasst werden. Der direkte Einfluss der aus mehreren Gründen ständig wechselnden Rahmenbedingungen der Lufterneuerung und Umluftheizung sowie deren über mehrere Steuerkriterien ändernde Vermischung dieser Luftströme verunmöglichten gesicherte Einzelerkenntnisse, die eine problemlose Auslegung weiterer solcher Anlagen zulassen.

### E Weiterverwendung der Erkenntnisse:

die vorliegende Anwendung erfordert speziell dichte Speichermaterialien und einen sehr qualifiziert ausgelegten Luftspalt zwischen Steinspeicher und Ofen-Aussenhülle. Die Kosten sind klar höher als bei einem üblichen statischen Speicherofen.

### F Praxisanwendung:

Weitere Entwicklungen und Erfahrungen sind nötig, bis Speicheröfen als Wärmequelle in solche Heizsysteme erfolgreich eingebunden werden können. Sicher ist, dass das Grundrisskonzept des Hauses mit Vorteil bis auf weiteres nahezu so offen ausgelegt wird, wie dies für eine Hausbeheizung mit **statischen** Speicheröfen üblich ist.

### G Ungelöste Probleme:

Für die Wärmedämmung gegen den Aufstellraum wurden 4 cm dicke, temperaturbeständige Isolationssteine mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,1 W/mK eingesetzt. Diese Platten sind einerseits zuwenig luftdicht, andererseits müssten sie in viel höherer Wandstärke eingesetzt werden. Das ergäbe aber noch grössere Ofenabmessungen, ein so schon kritischer Punkt. Dämmstoffe mit besserer Wärmeleitfähigkeit sind aus

lufthygienischen Gründen (Faserflug) kaum einsetzbar und benötigen eine definierte zweite Abdichthülle gegen die freie Umgebungsluft (Kosten!)

H Weiteres Vorgehen:

Grundlagenforschung „Steinspeicher“, vorantreiben (in Hafnerkreisen ins Auge gefasstes Entwicklungsprojekt zur Erlangung von allgemein gültigen Daten von rauchgasdurchströmten Steinspeichern) Dabei zwingend unterscheiden zwischen statischen und zwangsdurchlüfteten Speichern!



*Ess-Wohnbereich EG  
Holzspeicherofen mit Backfach  
Verkleidung Sandstein*

## Allgemeine Erkenntnisse aus Sicht des Ofenbauers

### Ziel:

Einspeisung von Wärme aus einem Holz-Speicherofen ins Luftheizsystem anstelle direkter elektrischer Energie, zur Ergänzung der Wärmebereitstellung durch die Abluftwärmepumpe des Lüftungssystems.

### Lösungsweg:

Zumischen der warmen Ofenluft in die frische Zuluft des Obergeschosses zur Beheizung desselben

### Hauptergebnisse:

Die Lüftungsbranche ist gewohnt, auf konstant abrufbare Wärmeleistungen zurückgreifen zu können. Der in diesem Fall erforderliche „haushälterische„ Umgang mit **endlichen** zur Verfügung stehenden **Energiemengen** verlangt eine andere Denkweise, die aber Voraussetzung ist für ein positives Resultat

### Abstützung der Ergebnisse:

Laufende konzeptionelle Änderungen ohne Rücksprache und branchenübliche Ausführungsstandards führen zu Schein-Resultaten, die nur schwierig und unvollständig zu sicheren Erkenntnissen uminterpretiert werden können. Erschwerend wirken sich dabei aus die wetterabhängigkeit, die beschränkte Realisierbarkeit von erforderlichen Änderungen während der Heizperiode und der sich dadurch um bis zu Jahresfrist verzögernde Erhalt der neuen Erkenntnissen.

### Weiterverwendung der Erkenntnisse:

im gegenwärtigen Zeitpunkt sind die Resultate nur sehr bedingt weiterverwendbar. Erst die Messungen in den Projekten „Hünenberg„ und „Grasswil„ werden brauchbarere Resultate liefern können.

### Praxisanwendung:

nur für höchstwärmegeämmte EFH einsetzbar mit einer höheren Dämmung als Minergiestandard

### ungelöste Probleme:

Eine derartige Heizanlage überschneidet die Fachbereiche Ofenbau und Lüftung. Für ein erfolgreiches Konzept müsste die letztendlich dem Kunden gegenüber verantwortliche Person ein aus beiden Fachgebieten kombiniertes Fachwissen aufweisen, welches das übliche Fachwissen beider Fachgebiete deutlich übersteigt, da nur ein branchen**un**üblich hoher Ausführungsstandard dieser Aufgabenstellung genügen kann.

### weiteres Vorgehen:

Projekte „Hünenberg„ und „Grasswil„ abwarten.

Ormalingen, 19.12.2000  
Chiquet-Energietechnik AG  
Jürg Bienz

## **Messbericht Nr: HP-9909**

**Objekt:**                **Neubau DEFH Am Birkenweg 8**  
                              **6208 Hochdorf**

**Auftraggeber:**    **Ivo Langenick**  
                              **Am Birkenweg 8**  
                              **6208 Hochdorf**

**Datum:**                **2000-12-15**

1. Dieser Bericht umfasst 19 Seiten und sieben Anhänge

# Schlussbericht P+D-Projekt ‚Neubau DEFH Am Birkenweg 8‘, 6280 Hochdorf

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	7
2	Auftraggeber .....	7
3	Objekt .....	7
3.1	Adresse .....	7
3.2	Datum der Messungen .....	7
3.3	Kurzbeschreibung .....	7
4	Messkonzept .....	8
4.1	Ablauf der Messungen .....	8
4.2	Messaufbau .....	11
4.3	Permanente Messstellen .....	12
4.4	Temporär erfasste Messwerte .....	13
4.5	Messgeräte .....	13
5	Resultate .....	14
5.1	Luftvolumenströme .....	14
5.2	Elektrische Leistungsaufnahme .....	14
5.3	Raumlufttemperaturen .....	15
5.4	Thermischer Komfort .....	15
5.5	Leckagen im Luftregister des Holzofens .....	18
5.6	Betrieb mit und ohne Wärmepumpe .....	19
5.7	Energiebilanz Heizsaison 1999/2000 .....	20
6	Diskussion und Schlussfolgerungen .....	22
6.1	Vergleich mit Planungswerten .....	22
6.2	Erfahrungen und Hinweise für weitere Anlagen .....	24
7	Schlussbemerkung .....	25
8	Anhang	
8.1	Betriebsart nur mit Holzofen (99-03-09 bis 99-30-31)	
8.2	Betriebsart nur mit Wärmepumpe (99-03-31 bis 99-04-21)	
8.3	Aktennotiz vom 99-12-02: Leckagen Holzofen	
8.4	Monatsdiagramme Lüftung	
8.5	Monatsdiagramme Raumlufttemperaturen	
8.6	Monatsdiagramme Holzofen	
8.7	Fotos	

## 1 Zusammenfassung

Das Doppelfamilienhaus ‚Am Birkenweg 8‘, in Hochdorf hat einen hohen Wärmedämmstandard und wird mit einer Abluft-Wärmepumpe sowie einem Holzofen beheizt.

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützten Pilot- und Demonstrationsprojekts führte die HTA Luzern Messungen durch. Dabei wurden die Heizenergiebilanz für den Winter 1999/2000 erstellt, der thermische Komfort beurteilt und das Betriebsverhalten der Heizung untersucht.

Der Minergie-Standard wird erreicht, obwohl mehr mit Holz und weniger mit der Wärmepumpe geheizt wird, als geplant war.

## 2 Auftraggeber

Auftraggeber: Ivo Langenick  
Am Birkenweg 8  
6280 Hochdorf

## 3 Objekt

### 3.1 Adresse

Am Birkenweg 8  
6302 Hochdorf

### 3.2 Datum der Messungen

Betrieb mit Holzofen: 99-03-09 bis 99-03-30  
Betrieb mit Wärmepumpe: 99-03-31 bis 99-04-21  
Messperiode für Energiebilanz: 99-10-01 bis 00-04-30  
Thermischer Komfort: 00-03-29

### 3.3 Kurzbeschreibung

#### *Gebäude*

Doppelfamilienhaus

Baujahr 1998

Energiebezugsfläche 165 m<sup>2</sup>

Heizenergiebedarf 143 MJ/m<sup>2</sup> (Standardnutzung gem. SIA 380/1)

#### *Haustechnik*

Das Haus hat eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung (Heat-Pipe) und Abluft-Wärmepumpe. Die von der Wärmepumpe produzierte Wärme wird zur Zulufterwärmung verwendet. Ein im Wohnzimmer aufgestellter Holzofen wird zur Spitzenlastdeckung eingesetzt. Der Holzofen ist mit einem Luftheizregister ausgerüstet, in dem die Zuluft für das Obergeschoss nachgewärmt wird.

Die Wassererwärmung erfolgt mit einer Kompakt-Solaranlage und einem Elektroheizeinsatz. Die Wassererwärmung war nicht Gegenstand der Erfolgskontrolle.

## 4 Messkonzept

### 4.1 Ablauf der Messungen

#### 4.1.1 Betriebsarten

Im März und April 1999 wurden Messungen bei zwei verschiedenen Betriebsarten durchgeführt.

##### A Nur mit Holzofen

Die Wärmepumpe wurde ausgeschaltet. Die Heizung erfolgt nur noch über den Holzofen. Die Lüftung wurde vom Bewohner nach Bedarf ein- und ausgeschaltet.

##### B Nur mit Wärmepumpe

Der Aussenluftvolumenstrom wurde auf 140 m<sup>3</sup>/h reduziert. Die Lüftung war dauernd in Betrieb. Da keine tiefen Aussentemperaturen auftraten (Tagesmittelwert über +2°C) musste der Holzofen nie in Betrieb genommen werden.

Bei jeder Betriebsart dauerten die Messungen drei Wochen.

#### 4.1.2 Energiebilanz über eine Heizsaison

Vom 1999-10-01 bis 2000-04-30 wurden Messungen durchgeführt, die zum Erstellen der Heizenergiebilanz dienten.

#### 4.1.3 Thermischer Komfort

Am 2000-03-29 wurden Messungen zur Beurteilung des thermischen Komforts durchgeführt.

## 4.2 Messaufbau

Das folgende Bild zeigt das vereinfachte Systemschema ‚Heizung/Lüftung‘ mit den wichtigsten Messstellen.

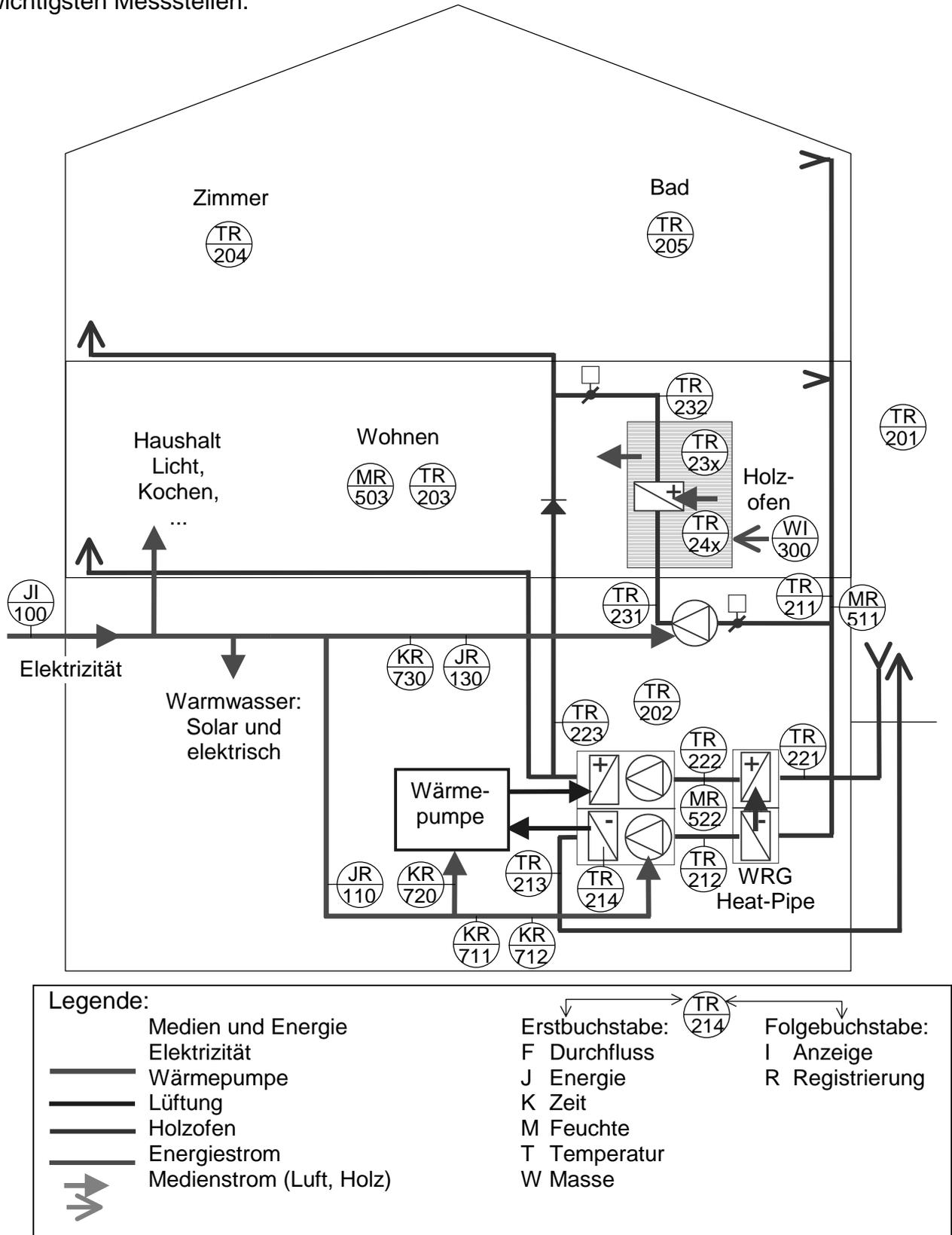


Bild 1: Systemschema ‚Heizung/Lüftung‘ mit den wichtigsten Messstellen.

## 2. Permanente Messstellen

Diese Messstellen waren während allen Messungen installiert.

### *Elektrische Energie*

J I 100	Gesamter Bezug (Zähler des Elektrizitätswerks)
JR 110	Lüftungsgerät mit Wärmepumpe
JR 130	Ventilator Holzofen

Der gesamte Elektrizitätsverbrauch (Zähler des Elektrizitätswerks) wurde monatlich durch die Bewohner abgelesen. Die übrigen elektrischen Energien wurden elektronisch erfasst und alle 30 Minuten als Mittelwert gespeichert.

### *Temperaturen*

TR 201	Aussenluft
TR 202	Raumluft Untergeschoss (nur März 1999)
TR 203	Raumluft Wohnen, Erdgeschoss
TR 204	Raumluft in einem Zimmer im Obergeschoss
TR 205	Raumluft im Bad im Obergeschoss
TR 211	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät
TR 212	Abluft am Austritt der Heat-Pipe
TR 213	Fortluft beim Austritt aus dem Lüftungsgerät, nach der WP
TR 214	Verdampferoberfläche der WP (ab April 1999, Umplatzieren des Fühlers von TR 202)
TR 221	Aussenluft vor dem Eintritt in die Heat-Pipe
TR 222	Zuluft am Austritt der Heat-Pipe
TR 223	Zuluft nach Lüftungsgerät
TR 231	Eintritt am Luftregister des Holzofens
TR 232	Austritt am Luftregister des Holzofens
TR 23x	12 Fühler im Holzofen
TR 24x	(von Fa. Chiquet installiert)

Die Temperaturen TR 201 und TR 203 bis TR 205 wurden mit Kleindatenloggern erfasst und als Stundenwerte gespeichert. Die übrigen Temperaturen wurden mit Thermoelementen gemessen, elektronisch erfasst und alle 30 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

### *Masse*

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

Der Holzverbrauch wurde von den BewohnerInnen mit einer Waage ermittelt.

### *Luftfeuchte*

MR 503	Raumluft Wohnen
MR 511	Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät
MR 522	Zuluft nach Heat-Pipe (gleiche absolute Feuchte wie Aussenluft)

Die relative Feuchte wurde elektronisch erfasst und alle 60 Minuten abgespeichert.

### *Laufzeiten*

KR711	Abluftventilator Lüftungsgerät Stufe1
KR712	Abluftventilator Lüftungsgerät Stufe 2
KR720	Wärmepumpe, inkl. Steuerung
KR730	Ventilator Luftregister Holzofen

Die Laufzeiten der Ventilatoren wurden indirekt über die Messung der Betriebsspannung der Ventilatoren ermittelt. Die Betriebsspannungen wurden alle 30 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

### **4.3 Temporär erfasste Messwerte**

Diese Messstellen wurden für kurze Zeitintervalle oder Momentanmessungen eingesetzt.

#### *Luftvolumenströme*

Die eingestellten Luftvolumenströme wurden an den Ein- und Auslässen gemessen.

#### *Thermischer Komfort*

Zur Bestimmung des thermischen Komforts wurden im Wohnzimmer folgende Größen gemessen:

- Raumluftgeschwindigkeiten und die Raumlufttemperaturen an drei Standorten in je drei Höhen
- Oberflächentemperaturen von Fenster und Aussenwand
- Äquivalente Temperatur nach Fanger (Fangerkopf)

#### *Heizwert Holz*

Der Heizwert des Holzes wurde über die Messung der relativen Feuchte abgeschätzt.

### **4.4 Messgeräte**

#### *Datenerfassung*

Datenlogger (Datataker)

Kleindatalogger (Tinytag) für Temperatur und Feuchte der Raumluft

#### *Elektrische Energie*

EMU

Genauigkeit:  $\pm 1\%$  vom Messbereich

#### *Temperatur*

Sonden: Thermoelemente Typ T

Genauigkeit der Messkette: 0.5 K

Die bereits im Ofen eingebauten Fühler konnten nicht kalibriert werden. Bei diesen Fühlern kann Genauigkeit nicht bestimmt werden.

#### *Durchfluss*

Bestimmung der Luftvolumenströme mit Flowfinder

Genauigkeit:  $\pm 10\%$

#### *Luftfeuchte*

Kapazitive Fühler

Genauigkeit:  $\pm 5\%$  r.F.

### Masse

Die Waage wurde vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.  
Genauigkeit: ca.  $\pm 1$  kg

### Thermischer Komfort

Raumklima-Analysator  
Fabrikat Brüel & Kjaer, Typ 1213  
Raumklima-Messgerät (Fangerkopf)  
Fabrikat Brüel & Kjaer, Typ 1212 A

### Raumluftgeschwindigkeit

Fabrikat Schildknecht, Typ ThermoAir 64 omnidir

## 5 Resultate

### 5.1 Luftvolumenströme

Am 99-11-25 wurden die Luftvolumenströme pro Raum gemessen.

Luftvolumenströme		Lüftungsstufe II ohne Umluft	Lüftungsstufe I ohne Umluft	Lüftungsstufe I Umluft ein
Zuluft	Küche	13 m <sup>3</sup> /h	8 m <sup>3</sup> /h	8 m <sup>3</sup> /h
	Wohnen West	28 m <sup>3</sup> /h	18 m <sup>3</sup> /h	22 m <sup>3</sup> /h
	Wohnen Ost	28 m <sup>3</sup> /h	17 m <sup>3</sup> /h	22 m <sup>3</sup> /h
	Zimmer Süd-West	45 m <sup>3</sup> /h	27 m <sup>3</sup> /h	37 m <sup>3</sup> /h
	Zimmer Nord-West	60 m <sup>3</sup> /h	37 m <sup>3</sup> /h	51 m <sup>3</sup> /h
	Zimmer Nord-Ost	45 m <sup>3</sup> /h	26 m <sup>3</sup> /h	38 m <sup>3</sup> /h
Total Zuluft	(Summe der Auslässe)	219 m <sup>3</sup> /h	133 m <sup>3</sup> /h	178 m <sup>3</sup> /h
Aussenluft	(gemessen am Gitter)	293 m <sup>3</sup> /h	175 m <sup>3</sup> /h	165 m <sup>3</sup> /h
Umluft	Austritt Ofen, höchste Stufe	-	-	197 m <sup>3</sup> /h
Abluft	Küche	62 m <sup>3</sup> /h	95 m <sup>3</sup> /h	110 m <sup>3</sup> /h
	WC EG	23 m <sup>3</sup> /h	35 m <sup>3</sup> /h	42 m <sup>3</sup> /h
	Bad	55 m <sup>3</sup> /h	95 m <sup>3</sup> /h	100 m <sup>3</sup> /h
Total Abluft	(Summe der Einlässe)	215 m <sup>3</sup> /h	140 m <sup>3</sup> /h	252 m <sup>3</sup> /h
Fortluft	(gemessen am Gitter)	365 m <sup>3</sup> /h	248 m <sup>3</sup> /h	214 m <sup>3</sup> /h
Umluft	Eintritt Ofen, höchste Stufe	-	-	74 m <sup>3</sup> /h

#### Tabelle 1: Luftvolumenströme

Die Lüftung wird von den BewohnerInnen nach Bedarf ein- und ausgeschaltet. Die Ventilatorstufe II wurde praktisch nie eingestellt.

Bei ausgeschaltetem Umluftventilator ist eine beachtliche Differenz zwischen den gemessenen Volumenströmen von Zu- und Aussenluft sowie Abluft- und Fortluft vorhanden. Durch Rauchversuche wurden an sichtbaren Anlagenteilen keine grösseren Leckstellen entdeckt. Die Differenz entsteht vermutlich durch Leckagen im Gerät, im Leitungsnetz (Steigzonen, Anschlüsse Luftauslässe?) und im Ofen. Die Messunsicherheit liegt bei ca. 10%.

### 5.2 Elektrische Leistungsaufnahme

Die elektrische Aufnahmeleistung wurde am 99-04-22 gemessen. Die in den Tabellen aufgeführten Aufnahmeleistungen sind am Eintritt des Steuertableaus des Umluftventilators gemessen. Das heisst, dass neben dem Ventilator auch die Steuerung und die Verluste des Stufen-Transformators gemessen ist.

Betriebsstufe Ventilator	Verdichter Wärmepumpe	Aufnahmeleistung
AUS	AUS	2 W
Stufe I	AUS	161 W
Stufe II	AUS	245 W
Stufe III	AUS	262 W
Stufe I	EIN	620 W

**Tabelle 2: Elektrische Leistungsaufnahme des Lüftungsgeräts (Wärmepumpe)**

Betriebsstufe Ventilator	Aufnahmeleistung
AUS	13 W
Stufe 1 (kleinste Stufe)	35 W
Stufe 7 (höchste Stufe)	68 W

**Tabelle 3: Elektrische Leistungsaufnahme der Umluft (Holzofen)**

### 5.3 Raumlufftemperaturen

#### 5.3.1 Betrieb nur mit Holzofen (März 99)

(Diagramme im Anhang 8.1)

Die Tagesmittelwerte der Aussenlufttemperaturen lagen zwischen +2°C und +10°C. Die Raumlufftemperaturen im Wohnzimmer schwankten zwischen 18°C und 26°C. Diese grosse Schwankung ergab sich durch die Art (Häufigkeit) des Holzofenbetriebs. Im Obergeschoss lagen die Raumlufftemperaturen zwischen 16°C und 23°C. Tendenziell ist erkennbar, dass mit sinkender Aussenlufttemperatur die Temperaturunterschiede zwischen Erd- und Obergeschoss steigen. Der thermische Komfort nimmt also bei dieser Betriebsart bei tiefen Aussentemperaturen ab (entweder überheizen des EG's oder zu kühl im OG).

#### 5.3.2 Betrieb nur mit Wärmepumpe (April 99)

(Diagramme im Anhang 8.2)

Die Tagesmittelwerte der Aussenlufttemperaturen lagen zwischen +2°C und +12°C. Die Raumlufftemperaturen im Wohnzimmer schwankten zwischen 20°C und 25°C. Im Obergeschoss lagen die Raumlufftemperaturen zwischen 19°C und 22°C. Im Vergleich zum Betrieb nur mit Holzofen sind die Temperaturdifferenzen zwischen EG und OG kleiner und weniger von der Aussentemperatur abhängig. Bei einer Aussenlufttemperatur von unter ca. +3°C vermag die Wärmepumpe alleine die Raumlufftemperatur im EG nicht mehr auf 20°C zu halten.

#### 5.3.3 Winter 1999/2000

(Diagramme im Anhang 8.4, 8.5 und 8.6)

Die Monatsmittel der Raumlufftemperaturen (Abluft) lagen mit Ausnahme des Novembers zwischen 20 und 21°C.

Im November lag die mittlere Raumlufftemperatur bei 17.8°C. In diesem Monat wurde offensichtlich wenig mit Holz gefeuert.

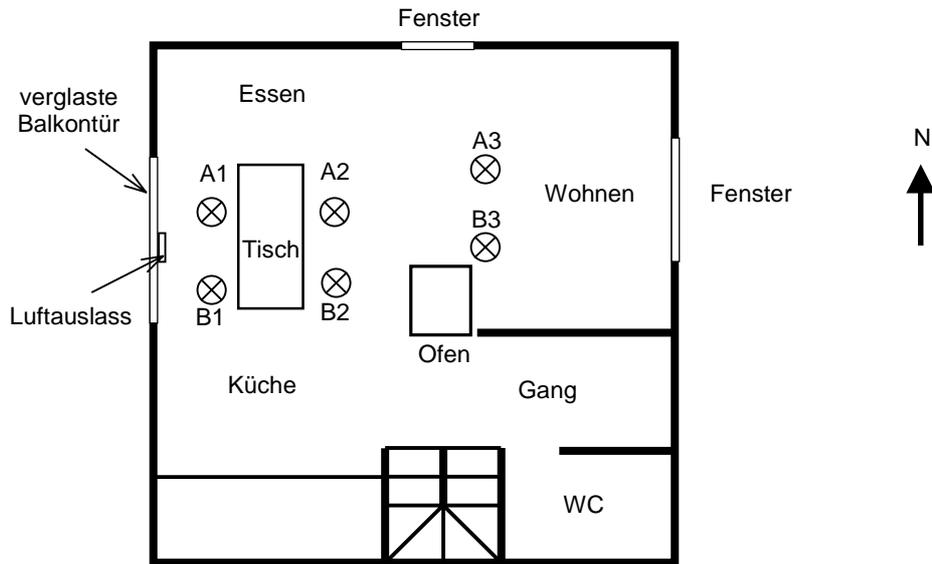
Je tiefer die Aussenlufttemperatur ist und je mehr der Holzofen in Betrieb, desto grösser ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Erdgeschoss und dem Obergeschoss.

### 5.4 Thermischer Komfort

Am 29. März 2000 wurden Messungen zur Beurteilung des thermischen Komforts durchgeführt.

### 5.4.1 Messstellen

Die Messungen wurden im Erdgeschoss im Raum Wohnen/Essen durchgeführt. In der untenstehenden Skizze sind die Messstellen im Grundriss eingetragen.



Legende:

A: Position des Wärme-Komfort-Mesgerätes (Fangerkopf)

B: Position der Raumluftströmungssonden und der Raumlufttemperaturfühler

1 ... 3: Nummer der Messung

**Bild 2: Grundriss Erdgeschoss mit Messstellen für den thermischen Komfort**

Die Sonden hatten bei allen Messungen folgende Höhen:

Sensor	Höhe über Boden
Wärme-Komfort-Mesgerät	0.6 m
Raumluftströmungssonden und Raumlufttemperaturfühler, unten	0.1 m
Raumluftströmungssonden und Raumlufttemperaturfühler, mitte	0.6 m
Raumluftströmungssonden und Raumlufttemperaturfühler, oben	1.5 m

**Tabelle 4: Höhe der Sonden**

*Messung 1: Essen, zwischen Tisch und Fenster*

Abstand vom Fenster (= Balkontür): 1.0 m

Die beiden Stative (A und B) standen jeweils in der Mitte vor einem der beiden Fensterflügel (= Balkontür)

*Messung 2: Essen, zwischen Tisch und Wohnen*

Abstand vom Fenster (= Balkontür): 3.0 m

Die beiden Stative standen jeweils in der Mitte vor einem der beiden Fensterflügel

*Messung 3: Wohnen*

Abstand von der Ost-Wand: 2.5 m

Abstand Stativ A von der Nord-Wand: 1.8 m

Abstand Stativ B von der Nord-Wand: 2.2 m

#### 5.4.2 Messergebnisse

Die Aussenlufttemperatur lag während der Messzeit zwischen 0°C (09:30 Uhr) und 5°C (11:00 Uhr). Der Himmel war bedeckt. Das Wetter am Vortag war praktisch gleich.

Der Holzofen war ‚kalt‘. Das letzte mal wurde am Morgen des Vortages geheizt.

Die Lüftung wurde während der ganzen Messzeit auf Stufe 1 (kleinste Stufe) betrieben. Die Zulufttemperatur lag zwischen 13°C und 14°C.

#### *Einstellung des Wärmekomfort-Messgerätes (Fangerkopf)*

Der Komfortanalysator wurde gemäss Tabelle 5 eingestellt.

Einstellgrösse	Wert
Bekleidungsgrad	1.0 clo
Aktivitätsgrad	1.0 met
Dampfdruck	0.9 kPa

#### **Tabelle 5: Einstellung des Wärmekomfort-Messgerätes (Fangerkopf)**

Bei diesen Einstellwerten resultiert eine Komforttemperatur von 24.0°C (Rechenwert, unabhängig von den Messwerten)

#### *Messung 1: Essen, zwischen Tisch und Fenster*

Zeit: 10:00 bis 10:20 Uhr

Höhe über Boden	0.1 m	0.6 m	1.5 m
Raumlufttemperatur	18.9°C	20.0°C	20.6°C
Raumluftgeschwindigkeit	0.07 m/s	0.03 m/s	0.07 m/s
Turbulenzgrad	50%	60%	40%

#### **Tabelle 6: Komfortparameter der Raumluft bei Messung 1**

Oberflächentemperatur Aussenwand Nord	19.9°C
Oberflächentemperatur Fenster (Balkontür)	18.9°C
Strahlungstemperatur gegen Fenster (West)	19.8 – 20.2°C
Strahlungstemperatur gegen Raum (Ost)	20.4 - 20.5°C
Äquivalente Temperatur (Fangerkopf)*	19.5 – 19.7°C

\* entspricht der Raumtemperatur oder empfundenen Temperatur gemäss SIA 180

#### **Tabelle 7: Oberflächentemperaturen und äquivalente Temperatur bei Messung 1**

#### *Messung 2: Essen, zwischen Tisch und Wohnen*

Zeit: 10:30 bis 10:45 Uhr

Höhe über Boden	0.1 m	0.6 m	1.5 m
Raumlufttemperatur	19.6°C	19.9°C	20.6°C
Raumluftgeschwindigkeit	0.03 m/s	0.02 m/s	0.08 m/s
Turbulenzgrad	70%	50%	30%

#### **Tabelle 8: Komfortparameter der Raumluft bei Messung 2**

Oberflächentemperatur Aussenwand Nord	20.5°C
Oberflächentemperatur Fenster (Balkontür)	20.3°C
Strahlungstemperatur gegen Fenster (West)	20.3°C
Strahlungstemperatur gegen Raum (Ost)	20.6°C
Äquivalente Temperatur (Fangerkopf)	19.8 – 19.9°C

#### **Tabelle 9: Oberflächentemperaturen und äquivalente Temperatur bei Messung 2**

### Messung 3: Wohnen

Zeit: 10:50 bis 11:05 Uhr

Höhe über Boden	0.1 m	0.6 m	1.5 m
Raumlufttemperatur	19.2°C	20.1°C	20.6°C
Raumluftgeschwindigkeit	0.03 m/s	0.01 m/s	0.07m/s
Turbulenzgrad	40%	60%	20%

**Tabelle 10: Komfortparameter der Raumluft bei Messung 3**

Oberflächentemperatur Fenster (Nord)	20.0°C
Strahlungstemperatur gegen Westen	20.8 - 20.9°C
Strahlungstemperatur gegen Osten	20.1°C
Äquivalente Temperatur (Fangerkopf)	19.8 – 20.0°C

**Tabelle 11: Oberflächentemperaturen und äquivalente Temperatur bei Messung 3**

#### 5.4.3 Beurteilung des Thermischen Komforts

Die folgende Tabelle zeigt die Minimalanforderungen an den thermischen Komfort, wie er in der SIA 180 für den Winterfall definiert ist. Diese Anforderungen sind den Messwerten gegenübergestellt. Die Messungen wurden bei Aussentemperaturen durchgeführt, die für die Heizsaison im schweizerischen Mittelland typisch sind.

Grösse	Anforderung SIA 180	Messwert
Raumtemperatur oder empfundene Temperatur	19 – 24°C	19.5 – 20.0°C <sup>1)</sup>
Raumluftgeschwindigkeit	0.15 m/s	0.08 m/s
Lufttemperaturdifferenz zwischen 0.1 m und 1.1 m über Boden	3 K	1.7 K*
Asymmetrie der Strahlungstemperatur, bei kalten Wänden	10 K	1 K

1) Die Raumlufttemperatur wird durch die BewohnerInnen beeinflusst (Holzofen)

2) Der Messwert gilt zwischen 0.1 und 1.5 m über Boden

**Tabelle 12: Thermischer Komfort im Vergleich mit SIA 180**

Tabelle 12 zeigt, dass alle Komfortanforderungen erfüllt sind. Der thermische Komfort kann als gut beurteilt werden. Es ist allerdings zu beachten, dass die Messungen nicht bei Extrembedingungen durchgeführt wurden. Im Auslegefall der Heizung ist die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen rund doppelt so gross wie während dieser Messung.

### 5.5 Leckagen im Luftregister des Holzofens

(s. auch Aktennotiz vom 99-12-02 im Anhang 8.3)

Im Oktober 1999 wurde bemerkt, dass das Luftregister des Holzofens undicht ist.

Die äussere Hülle des Luftregister besteht aus Schamottsteinen. Die Schamottsteine weisen Poren auf, durch die Luft aus dem Register in den Raum strömte. Die Leckagemenge lag bei rund 70% (Luftmenge am Eintritt ins Luftregister: 100%).

Durch das Verputzen der Schamottmauer konnte die Leckage im Umluftkreis auf ca. 20% reduziert werden. Die verbleibenden Leckstellen dürften zum Teil im nicht zugänglichen Anschluss des Ofens an die Luftleitungen und in den Luftleitungen selbst liegen.

## 5.6 Betrieb mit und ohne Wärmepumpe

Im März/April 1999 wurde die Anlage während rund je drei Wochen mit und ohne Wärmepumpe betrieben. Weiter war von Anfang Dezember 1999 bis Ende März 2000 die Wärmepumpe praktisch nicht in Betrieb, d. h. in dieser Zeit wurde nur mit dem Holzofen geheizt.

Wie bereits beim thermischen Komfort erwähnt ist, vermag die Wärmepumpe alleine das Gebäude bis zu einer Aussentemperatur von ca. +3°C zu heizen.

Die beiden Betriebsarten sind in der folgenden Tabelle miteinander verglichen. Bei dieser Gegenüberstellung wurden Vergleichsperioden so ausgewählt, dass die mittleren Aussenlufttemperaturen praktisch gleich sind. Die folgende Tabelle zeigt den Vergleich des Endenergieverbrauchs.

Vergleich der Betriebsarten	Betrieb nur mit Holzofen	Betrieb nur mit Wärmepumpe
Periode	99-03-11 bis 99-03-29	99-04-09 bis 99-04-21
Aussenlufttemperatur	+ 5.9°C	+ 5.8°C
Endenergieverbrauch Heizen/Lüften (mittlere Leistung)		
Elektrische Energie Heizung/Lüftung	0.10 kW	0.57 kW
Holz	0.71 kW	-
Total	0.81 kW	0.57 kW

**Tabelle 13: Vergleich Betrieb mit und ohne Wärmepumpe**

Die Zahlen in Tabelle 13 lassen sich wie folgt interpretieren: Mit rund 1.5 kWh Holz (Endenergie) kann in der untersuchten Anlage 1 kWh Elektrizität substituiert werden. Bei diesem Vergleich ist zu berücksichtigen, dass beim Betrieb mit Holzofen der mechanisch geförderte Aussenluftvolumenstrom im Mittel 28% tiefer war, als beim Betrieb mit der Wärmepumpe alleine (103 m<sup>3</sup>/h gegenüber 143 m<sup>3</sup>/h). Für eine typische Belegung mit 4 Personen wäre auch der tiefere Aussenluftwechsel hygienisch ausreichend. Beim Betrieb mit Wärmepumpe wäre eine Reduktion des mittleren Aussenluftvolumenstrom praktisch nicht möglich, da die Wärmepumpe bei einem tieferen Luftvolumenstrom zu oft vereisen würde (siehe auch Abschnitt Wärmepumpe).

### 5.6.1 Wärmepumpe und Heat-Pipe

Bei Betrieb der Wärmepumpe liegt die Zulufttemperatur nach der Wärmepumpe zwischen 35°C und 45°C. Mit steigender Aussenlufttemperatur steigt die Zulufttemperatur nach der Wärmepumpe an.

Die Fortlufttemperatur liegt zwischen +5°C und +10°C. Mit steigender Aussenlufttemperatur steigt die Fortlufttemperatur nach der Wärmepumpe an.

Die Oberflächentemperatur am Verdampfer lag die meiste Zeit zwischen 0°C und +5°C. Bei Fortlufttemperaturen von unter ca. +6°C sank diese Temperatur zwei- bis dreimal täglich bis auf -2.5°C. Dies ist ein Indikator, dass der Verdampfer vereiste. Aus den Zu- und Fortlufttemperaturen ist ersichtlich, dass die Wärmepumpenleistung während dem Vereisen deutlich abnimmt. Gut erkennbar ist die Leistungseinbusse der Wärmepumpe in der Phase vom 1999-11-25 bis 1999-12-02.

### 5.6.2 Umluft Holzofen

(s. auch Diagramme im Anhang 8.1, 8.2 und 8.4)

Bei der Betriebsart nur mit Holzofen war der Ofen vom 99-03-10 bis 99-03-12 in einigen Fällen warm und die Umluft war nicht in Betrieb. Es ist zu vermuten, dass in diesen Zeiten der Sicherheitsthermostat den Umluftventilator ausgeschaltet hat.

Bei der Betriebsart nur mit Wärmepumpe ist ersichtlich, dass der Temperaturfühler beim Umluftaustritt aus dem Holzofen praktisch die gleichen Temperaturen anzeigt,

wie die Zulufttemperatur nach der Wärmepumpe. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Klappe auf der Austrittsseite aus dem Umluftregister nicht dicht schliesst. Ob diese Leckageluft in die Abluft überströmt oder durch Undichtigkeiten im Umluftkreislauf (ev. Ofenregister) verloren geht, ist offen.

### 5.7 Energiebilanz Heizsaison 1999/2000

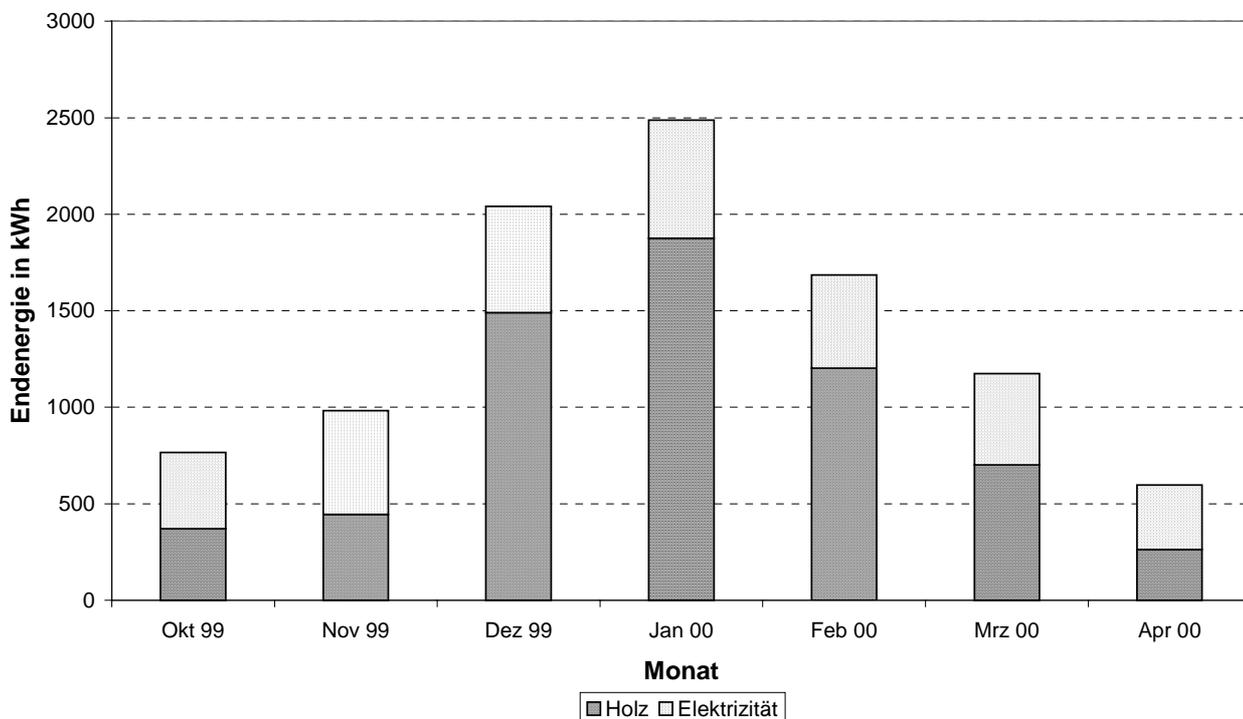
Der Energieverbrauch wurde vom 1999-10-01 bis 2000-04-30 erfasst. Im Mai 2000 wurde nicht mehr geheizt.

Die Mittlere Aussenlufttemperatur lag in dieser Zeit bei 4.6°C. Die mittlere Raumlufttemperatur bei 20.3°C. Da diese Daten praktisch bei den Normwerten liegen, werden die Messwerte ohne Korrekturen eingesetzt.

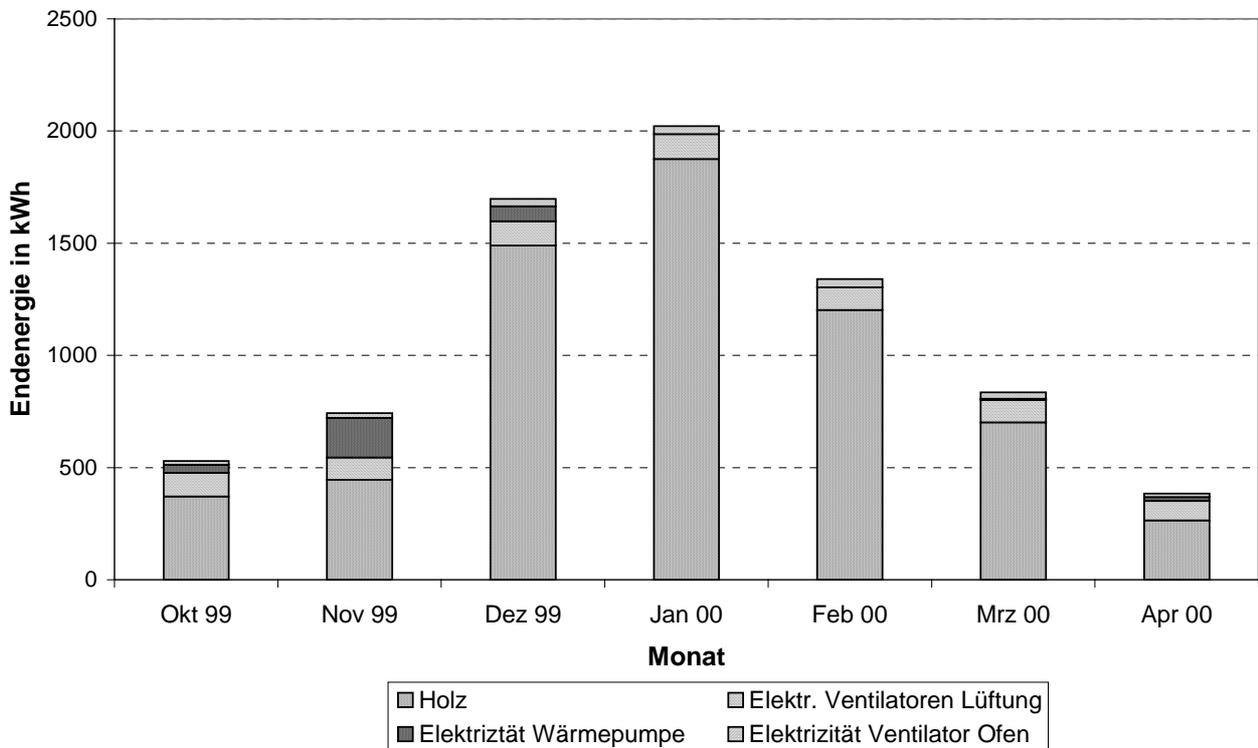
#### 5.7.1 Endenergie

Energieträger	kWh	MJ/m <sup>2</sup> .a
Holz (Hu)	6350	138
Elektrizität		
Lüftung, inkl. Wärmepumpe	1200	26
Haushalt und Warmwasser	2190	47
Elektrizität gesamt	3390	74
Total	10010	218

**Tabelle 14: Endenergieverbrauch**



**Bild 3: Endenergieverbrauch Winter 1999/2000**



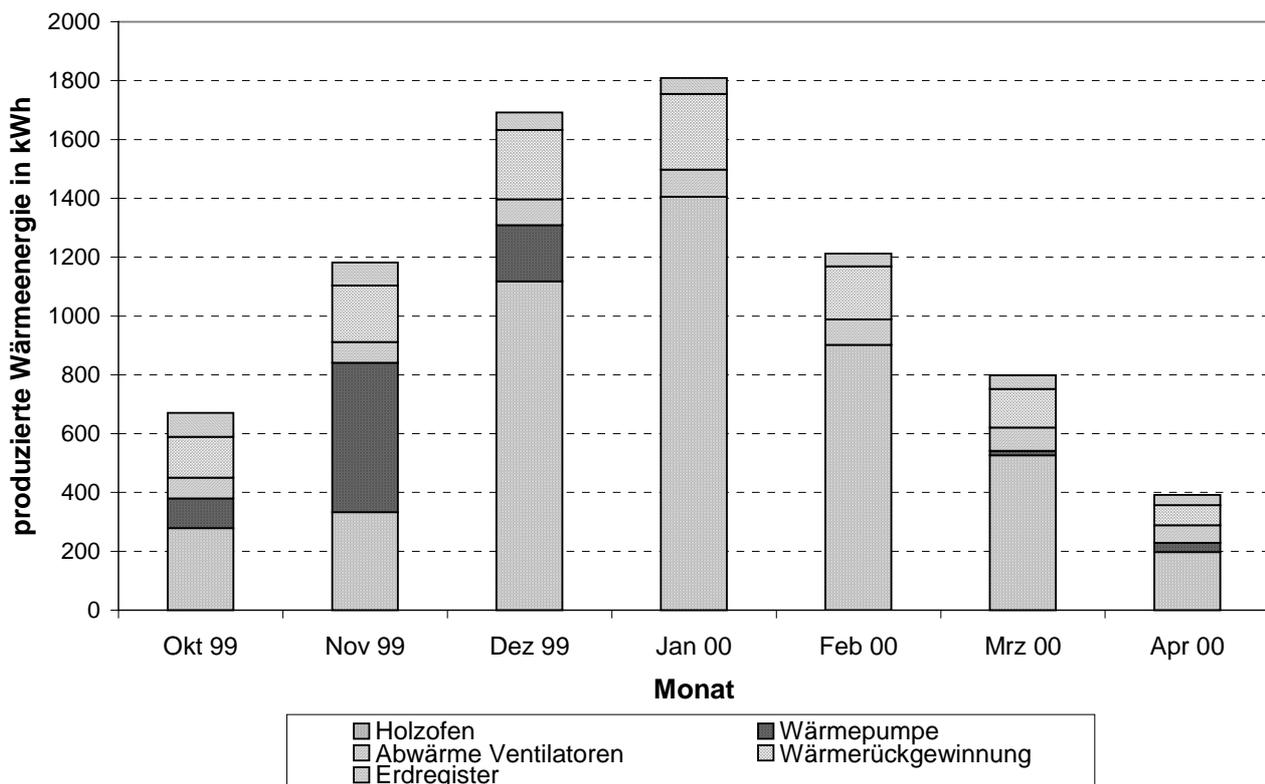
**Bild 4: Endenergieverbrauch Heizung und Lüftung, Winter 1999/2000**

### 5.7.2 Wärmeproduktion Heizen

Der Heizenergiebedarf wurde durch folgende Quellen gedeckt:

Quelle	kWh	MJ/m <sup>2</sup> .a
Holzofen ( $\eta = 0.75$ )	4760	104
Wärmepumpe	850	18
Abwärme Ventilatoren	550	12
Lufterdregister (LER)	400	9
Wärmerückgewinnung (WRG)	1210	26
Total, ohne LER und WRG	6160	134
Total mit LER und WRG	7760	170

**Tabelle 15: Wärmeproduktion Winter 1999/2000**



**Bild 5: Wärmeproduktion Winter 1999/2000**

## 6 Diskussion und Schlussfolgerungen

### 6.1 Vergleich mit Planungswerten

Für die Energiebilanz von Gebäude und Heizung/Lüftungsanlage liegen eine Berechnung nach SIA 380/1 sowie eine Minergie-Nachweis vom Mai 1998 vor.

#### 6.1.1 Lüftungsanlage

Die kontrollierte Wohnungslüftung weist folgende Kennzahlen auf:

	Planung	Messung
mittlerer Aussenluftvolumenstrom	200 m <sup>3</sup> /h	163 m <sup>3</sup> /h
Deckung der Lüftungswärmeverluste durch Wärmerückgewinnung und Lufterdregister	50%	47%
Energieverbrauch der Ventilatoren	0.5 W/(m <sup>3</sup> /h)	0.9 W/(m <sup>3</sup> /h)
Elektrothermischer Verstärkungsfaktor		
Lüftung ohne Wärmepumpe	3.8	2.7
Wärmepumpe	3.3	2.8
Lüftung mit Wärmepumpe	3.4	2.8

**Tabelle 16: Kennzahlen der kontrollierten Lüftung**

#### *Aussenluftvolumenstrom*

Die Lüftung wurde hauptsächlich auf tiefsten Stufe betrieben. Der Aussenluftvolumenstrom dieser Stufe lag ca. 15% unter dem Planungswert. Die Lüftung war in der Heizsaison während 94% der Zeit eingeschaltet.

### *Wärmerückgewinnung und Lüfterdregister*

Die Wärmegewinne von Wärmerückgewinnung plus Erdregister entsprechen den Planungswerten.

Die Aussenluft wird nach der Fassung in einem ca. 3 m langen Rohr durch das Erdreich geführt. Diese Strecke wurde in der Planung nicht als Lüfterdregister ausgewiesen. Gemäss den Temperaturmessungen reicht diese kurze Strecke bereits aus, um knapp 10% der Lüftungswärmeverluste zu decken.

### *Energieverbrauch der Ventilatoren*

Der spezifische Energieverbrauch der Ventilatoren ist hoch. Gute Analgen haben einen spezifischen Verbrauch von 0.3 bis 0.4 W/(m<sup>3</sup>/h).

### *Elektrothermischer Verstärkungsfaktor (ETV)*

Ein Qualitätsmerkmal der kontrollierten Lüftung ist der elektrothermische Verstärkungsfaktor

$$ETV = \frac{\text{eingesparte Wärmeenergie}}{\text{elektrische Energie}}$$

Der erreichte ETV der kontrollierten Lüftung ist tief. Gute Analge mit Wärmerückgewinnung erreichen einen ETV von 7 bis 10. Der ETV der Wärmepumpe liegt im Bereich von Luft/Wasser-Wärmepumpen.

## 6.1.2 Energieverbrauch

Energieträger	Planung	Messung
Holz (Hu)	37 MJ/m <sup>2</sup> .a	138 MJ/m <sup>2</sup> .a
Elektrizität Heizung/Lüftung		
Lüftung, ohne Wärmepumpe	16 MJ/m <sup>2</sup> .a	16 MJ/m <sup>2</sup> .a
Wärmepumpe	34 MJ/m <sup>2</sup> .a	7 MJ/m <sup>2</sup> .a
Elektrizität für Haushalt und Warmwasser (99-10-01 bis 00-10-01)	77 MJ/m <sup>2</sup> .a	65 MJ/m <sup>2</sup> .a

### **Tabelle 16: Endenergieverbrauch**

Die Bewohner hatten die Wärmepumpe bewusst wenig eingeschaltet und mit dem Holzofen geheizt. Die Wärmepumpe hat bei der Messung 15% des Heizenergiebedarfs gedeckt, in der Planung war ein Deckungsgrad von 80% vorgesehen.

### *Gewichteter Energieverbrauch Minergie*

Für den Minergie-Nachweis werden die Energieträger gewichtet. Elektrische Energie wird mit dem Faktor 2 eingesetzt. Holz erhält eine Bonus und darf im Nachweis so eingesetzt werden, wie wenn der Nutzungsgrad bei 125% liegen würde. Im Minergie-Standard sind Angaben in kWh (nicht MJ) üblich.

Gewichtete Energiekennzahl	Planung	Messung
Holz (Hu)	6.1 kWh/m <sup>2</sup> a	23.0 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität Heizung/Lüftung	27.6 kWh/m <sup>2</sup> a	12.2 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität Warmwasser	9.6 kWh/m <sup>2</sup> a	9.6 kWh/m <sup>2</sup> a*
Total Energiekennzahl Wärme	43.3 kWh/m <sup>2</sup> a	44.8 kWh/m <sup>2</sup> a*

### **Tabelle 17: Energiekennzahl Wärme nach Minergie**

\* Wert aus der Berechnung

Der Grenzwert liegt bei 45 kWh/ m<sup>2</sup>a. Das Gebäude erreicht den Minergie-Standard, obwohl die Anlage anders als geplant betrieben wird (mehr Holz, weniger Wärmepumpe).

## 6.2 Erfahrungen und Hinweise für weitere Anlagen

Bei zukünftigen Anlagen mit ähnlichen Konzepten sollten folgende Punkte beachtet werden:

### *Leckagen Lüftung*

Die Luftleitungen sollen eine überdurchschnittliche Dichtheit haben. In der untersuchten Anlage sind gemäss den Luftvolumenstrommessungen Leckagen in der Grössenordnung von 20% vorhanden. Bei einer Wärmeverteilung über die Luft sollten Werte von unter 10% angestrebt werden. Die Dichtheit des Lüftungsgerätes konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden.

### *Wärmeverteilung/Wärmeverluste*

Im untersuchten Haus wurde mit den Zuluftleitungen zu den Zimmern das Bad beheizt. Diese Art von Heizung ist schwer beherrschbar und hat zu Problemen bei der Wärmeverteilung geführt (Bad zu warm, Zimmer zu kühl). Warmluftleitungen sollen auch im beheizten Bereich gut wärmedämmend sein (z.B. 50 mm).

### *Wärmepumpe*

Abluftwärmepumpen erfordern eher grössere Luftvolumenströme als Geräte mit Wärmerückgewinnung (WRG) und lassen sich weniger gut dem Bedarf anpassen. Im untersuchten Haus wäre aufgrund der Belegung ein Aussenluftvolumenstrom von 100 bis 120 m<sup>3</sup>/h angemessen. Das Lüftungsgerät muss wegen der Wärmepumpe mit einem minimalen Volumenstrom von ca. 170 m<sup>3</sup>/h betrieben werden. Ein Gerät mit WRG (ohne zusätzliche Wärmepumpe) könnte besser dem Bedarf angepasst werden können.

Die Arbeitszahl der Abluft-Wärmepumpe ist mit einem Wert von knapp 3 akzeptabel, sie ist vergleichbar mit der Arbeitszahl von Aussenluft-Wärmepumpen. Der Nutzen der Wärmepumpe wird aber durch Leckagen und Verteilverluste geschmälert. Zudem wurde wegen der Wärmepumpe ein höherer Aussenluftvolumenstrom eingestellt, als wenn ein Gerät mit Wärmerückgewinnung eingesetzt worden wäre (= grösserer Lüftungswärmeverlust). Wenn diese Effekte berücksichtigt werden, wird mit einer Einheit (z.B. 1 kWh) elektrischer Energie 1.5 bis 2 Einheiten Holz substituiert. Aus energetischen Überlegungen ist es bei der untersuchten Anlage sinnvoller mit Holz zu heizen als mit der Abluftwärmepumpe. Die Wärmepumpe kann dann akzeptiert werden, wenn nicht mit Holz geheizt werden kann (Ferien, Krankheit, ...).

Bei sinkenden Aussentemperaturen sinkt die Verdampfungstemperatur der Wärmepumpe. Die Folge davon ist eine zunehmende Vereisung des Verdampfers und ein Absinken der Wärmeleistung (siehe 1999-11-25 bis 1999-12-15). Um dies möglichst weitgehend zu vermeiden, sollten Geräte mit Abluft/Zuluft-Wärmepumpen nur zusammen mit einem grosszügig dimensionierten Lüfterregister eingesetzt werden.

### *Holzofen*

Ein Luftregister in einem Holzofen muss luftdicht sein. Der Ofen soll die Wärme an die Lüftung möglichst gleichmässig abgeben. Beim untersuchten Ofen sank die an die Lüftung abgegebene Leistung nach 12 Stunden auf rund einen Drittel des maximalen Wertes. Aus Sicht der Luftheizung wäre eine bessere Glättung der Leistung wünschenswert. Das heisst, dass der Ofen eine grössere Speichermasse haben sollte.

Der Holzofen sollte möglichst viel Wärmeenergie an die Lüftung und möglichst wenig an den Raum abgeben. Bei einer zu grossen Energieabgabe an den Aufstellungsraum, wird dieser Raum überheizt und die übrigen Räume, die über die Lüftung beheizt werden, sind eher zu kühl (vergleiche Dezember 1999 und Januar 2000).

## **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 drei Jahren gespeichert. Der Bericht und die zugehörigen Dokumente werden bei uns an der Prüfstelle während zehn Jahren archiviert.

Der Auftraggeber kann während dieser Zeit die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.

Horw, 2000-12-15

Heinrich Huber

Andreas Odermatt

## **8 Anhang**

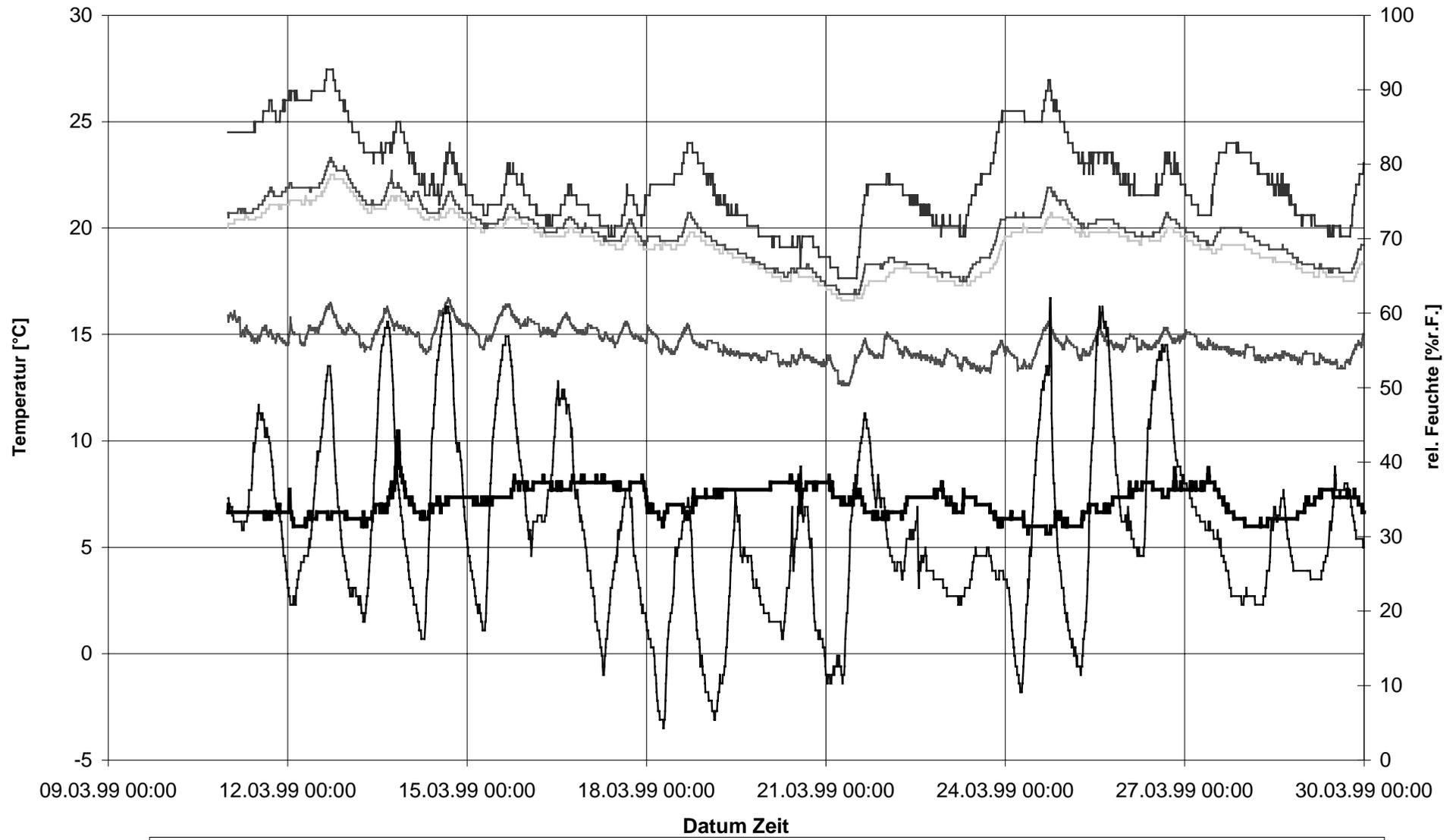
### **8.1 Betriebsart nur mit Holzofen (99-03-09 bis 99-30-31)**

Diagramm Thermischer Komfort

Diagramm Temperaturen Lüftung

Diagramm Temperaturen Holzofen und Betrieb der Lüftung

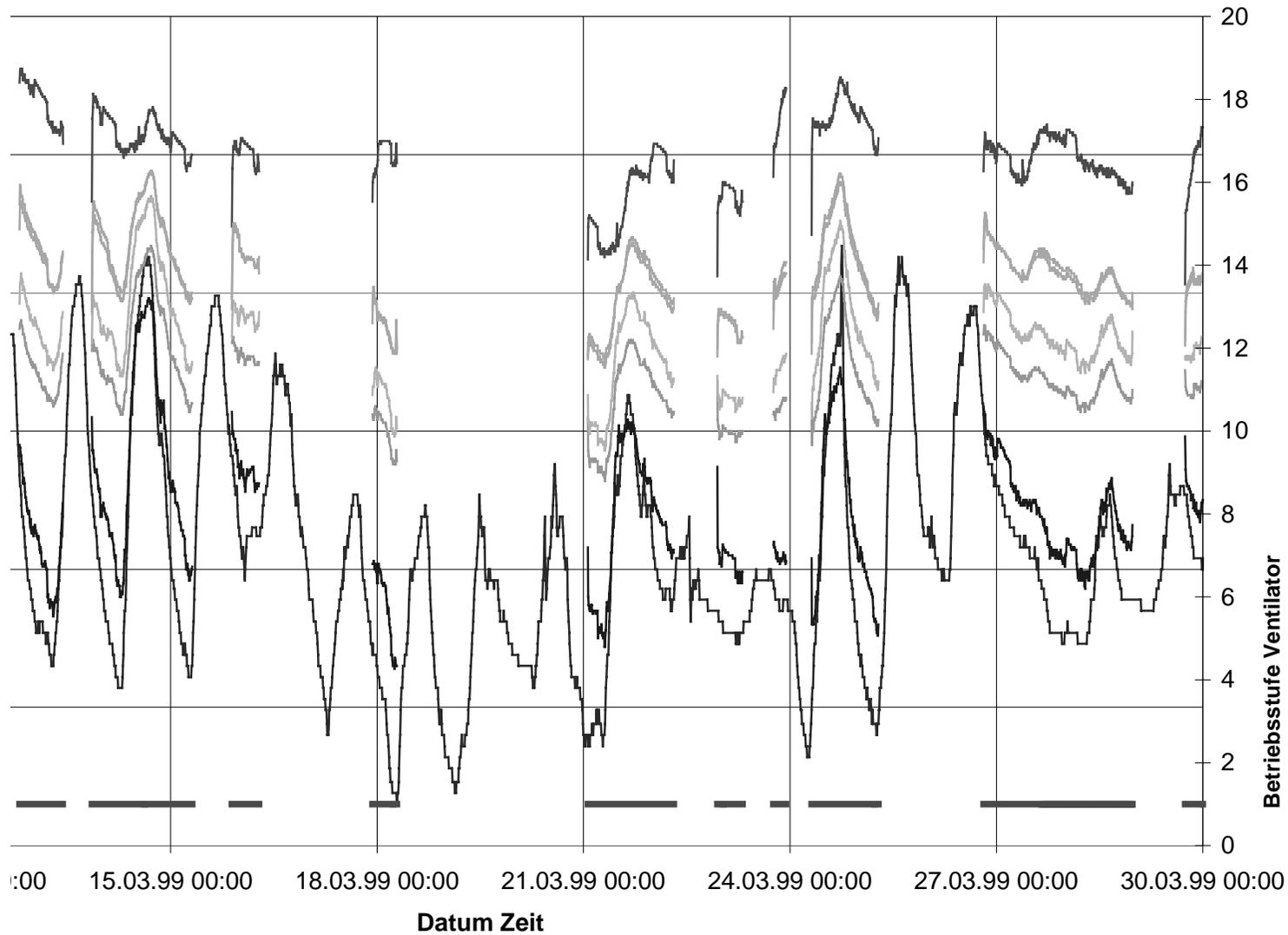
# DEFH am Birkenweg 8, Hochdorf Raumtemperatur und Feuchte



— Raumlufthumiditat Bad OG TR205      — Raumlufthumiditat Zimmer OG TR204      — Raumlufthumiditat Wohnen EG TR203  
— Raumlufthumiditat UG TR202      — Aussenlufttemperatur TR201      — Raumlufthumiditat Wohnen EG MR503

# DEFH am Birkenweg 8, Hochdorf

## Temperaturen Lüftung



201  
 tritt der Heat-Pipe TR222  
 tritt ins Lüftungsggerät TR211  
 austritt aus dem Lüftungsggerät, nach der WP TR213

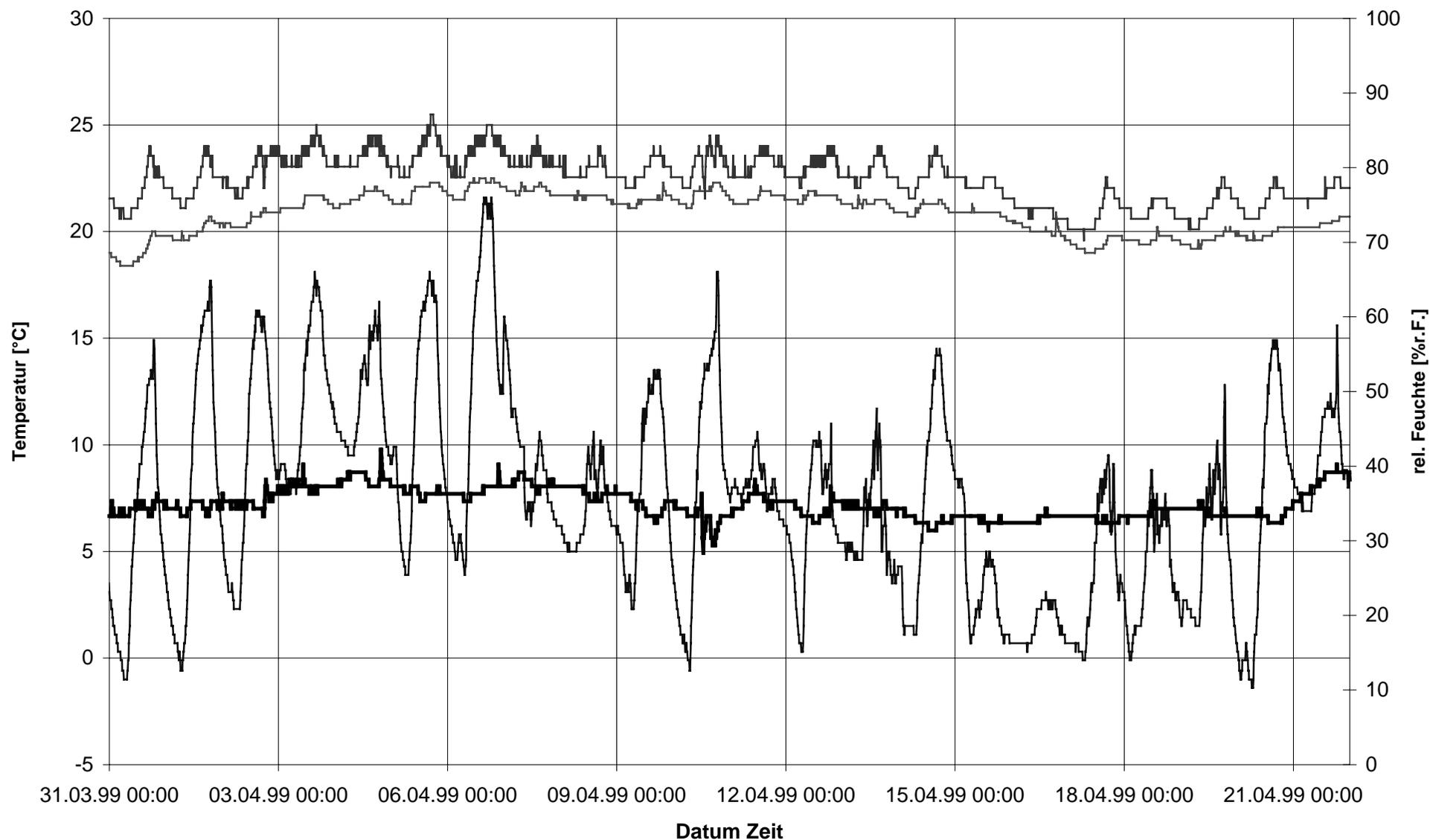
- Aussenlufttemperatur vor dem Eintritt in die Heat-Pipe TR221
- Zulufttemperatur nach Lüftungsggerät TR223
- Ablufttemperatur am Austritt der Heat-Pipe TR212
- Ventilator Stufe 2 KR712

## **8.2 Betriebsart nur mit Wärmepumpe (99-03-31 bis 99-04-21)**

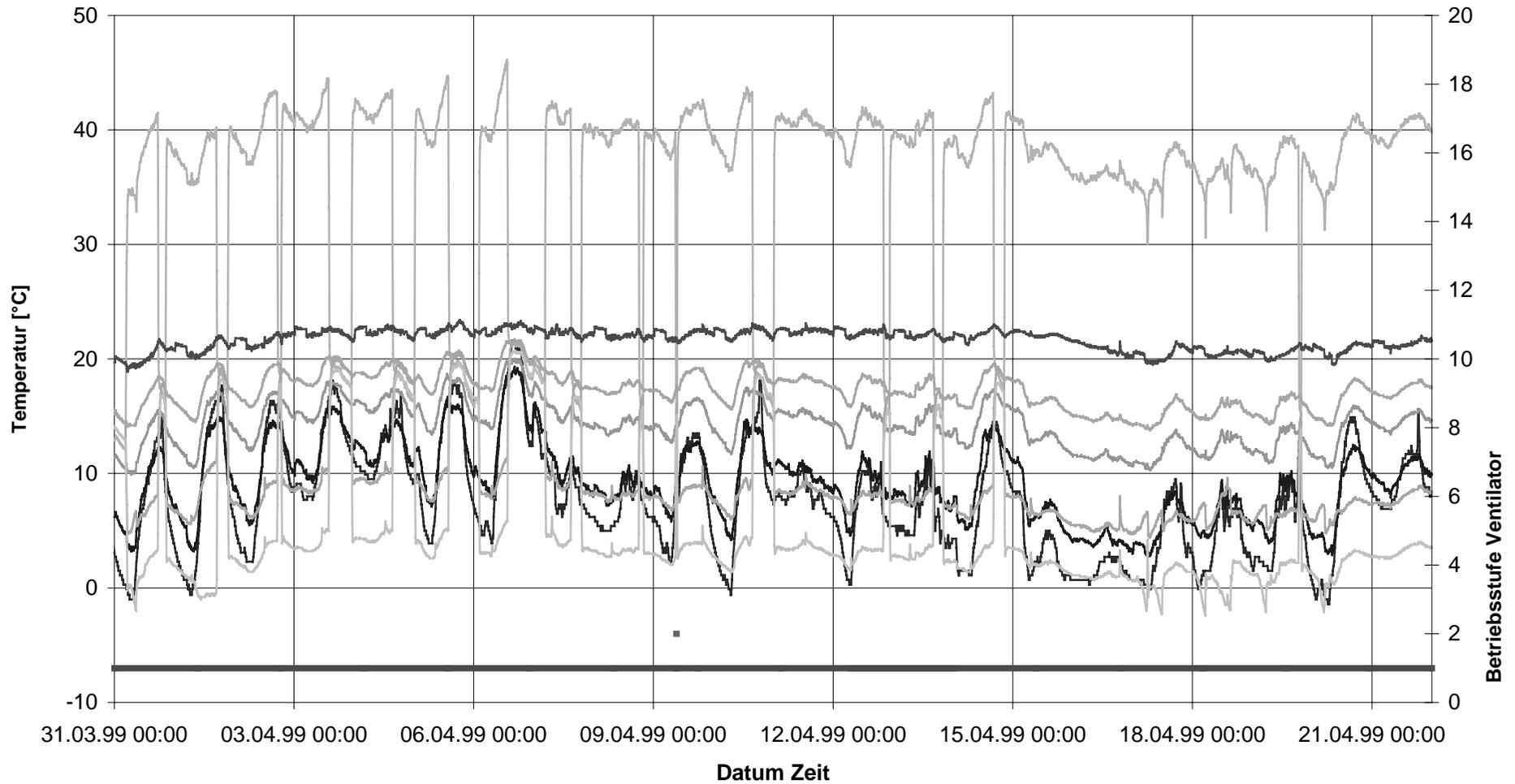
Diagramm Thermischer Komfort

Diagramm Temperaturen Lüftung

# DEFH am Birkenweg 8, Hochdorf Raumtemperatur und Feuchte



## DEFH am Birkenweg 8, Hochdorf Temperaturen Lüftung



- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— Aussenlufttemperatur TR201</li> <li>— Zulufttemperatur am Austritt der Heat-Pipe TR222</li> <li>— Temperatur Abluft vor Eintritt ins Lüftungsgerät TR211</li> <li>— Fortlufttemperatur beim Austritt aus dem Lüftungsgerät, nach der WP TR213</li> <li>— Ventilator Stufe 2 KR712</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Aussenlufttemperatur vor dem Eintritt in die Heat-Pipe TR221</li> <li>— Zulufttemperatur nach Lüftungsgerät TR223</li> <li>— Ablufttemperatur am Austritt der Heat-Pipe TR212</li> <li>— Oberflächentemperatur Verdampfer TVerdampfer</li> <li>— Ventilator Stufe 1 KR711</li> </ul> |
|---|---|



### **8.3 Aktennotiz vom 99-12-02: Leckage Holzofen**



#### **8.4 Aktennotiz vom 99-12-02: Leckagen Holzofen**

**Aktennotiz:**

**2. Leckageuntersuchungen in den Luftleitungen und am Holzofen**

Am 30. November 99 wurden die Luftleitungen (Ofeneintritt und -austritt) und der Holzofen mit Hilfe von Tracergas SF<sub>6</sub> auf Leckage untersucht.

Am 02. Dezember 99 wurden nach den Verbesserungsmassnahmen die Volumenströme (Ofeneintritt und -austritt) nochmals gemessen.

**Messmittel:**

**Hitzdrahtanemometer** (Log.-Nr. 1.08 HP 108)

Das Messgerät ist nicht kalibriert. Die Messwerte sind deshalb als qualitative Ergebnisse zu werten.

**Flügelrad-Anemometer** (Log.-Nr. 1.08 HP 105)

Das Messgerät wird für die Volumenstrommessung in den Rohren eingesetzt.

**Präzisions Feindruck-Manometer** (Log.-Nr. 1.07 HP 004)

Das Messgerät wird für die Volumenstrommessung mit den V-Controls eingesetzt.

**Multigasmonitor** (Log.-Nr. 1.11 HP 020) **und Dosier** (Log.-Nr. 1.08 HP 021)

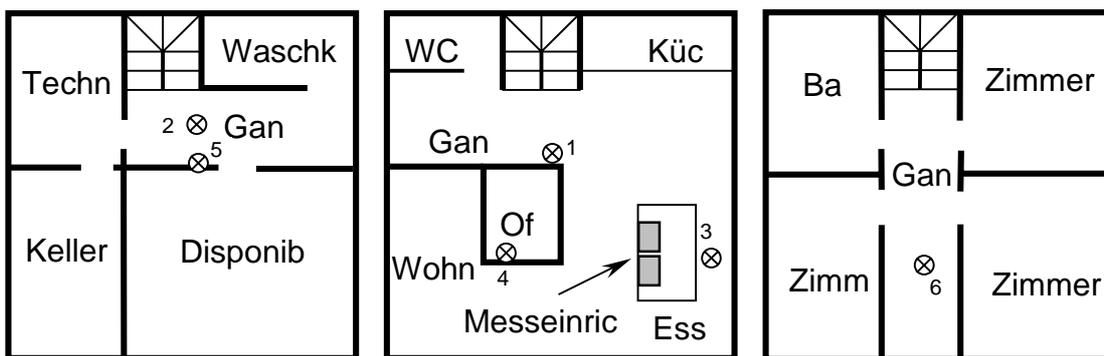
Mit diesen Messgeräten wird die Tracergas-Konzentrationen gemessen.

**Rauchgasgenerator** (Log.-Nr. 2.11 HP 001)

Der Rauchgasgenerator wird zur Visualisierung der Leckagen eingesetzt.

***Tracergas-Messung***

**Messeinrichtung:**



Untergeschoss

Ergeschoss

Obergeschoss

⊗ Messpunkt Tracergas

### Messpunkte / Kanalbelegung:

- Kanal 1: Wohnen Boden bei Ofen
- Kanal 2: Im Untergeschoss
- Kanal 3: Wohnen bei Fenster West (ca. 1.5 m von Fenster)
- Kanal 4: Rauchgas im Ofen
- Kanal 5: Konzentration in der Zuluft
- Kanal 6: Korridor im Obergeschoss



Bild 1: Messeinrichtung im Erdgeschoss



Bild 2: Messpunkt 1, Wohnen Boden bei Ofen



Bild 3: Messpunkt 2 und 5



Bild 4: Messpunkt 4, Rauchgas im Ofen



Bild 5: Messpunkt 6, Korridor im Obergeschoss



Bild 6: Ansaug und Ausblas der Luft im Untergeschoss



Bild 7: Anschluss der Prüfeinrichtung an das bestehende Kanalnetz

### **Messung:**

Die Lüftungsanlage wurde während der Messung abgehängt. Die Zuluft wurde direkt von aussen angesaugt und mit dem Tracergas SF<sub>6</sub> geimpft. Die Abluft wurde anschliessend ins Freie geführt (siehe Bild 6 und 7).

Für eine genauere Volumenstrommessung wurden in den Rohren Ofeneintritt und -austritt je einen V-Control eingebaut.

### **Resultat:**

Aufgrund der Tracergas-Messung beträgt die Leckage vom Mantel in den Feuerraum ca. 5-10%. Diese Leckage ist relativ klein und erfordert keine Abdichtungsmassnahme.

### ***Leckage-Dedektion mit Hitzdraht-Anemometer***

#### **Messung:**

Mit dem Hitzdraht-Anemometer wurde die Oberfläche des Ofens nach Leckagen abgesucht.



Bild 8: Leckage am  
porösem Stein

Geschwindigkeit: ca. 1.2 m/s

#### **Resultat:**

Die Leckage-Dedektion hat gezeigt, dass durch den porösen Stein die Hauptleckagen entstehen müssen. An einigen Stellen wurden Geschwindigkeiten im Bereich von 0.5 bis 1.5 m/s gemessen.

## Rauchversuche

### Durchführung:

Um die Leckagen zu visualisieren, wurde der Zuluft Rauch zugeführt.



Bild 9: Leckage am Rohrbogen Ofeneintritt

### Resultat:

Aufgrund der Rauchversuchen wurden die undichten Stellen am Rohrbogen Ofeneintritt festgestellt.

### ***Volumenstrommessung mit V-Control vor dem Anbringen der Mörtelschicht (30.11.1999)***

Lüftung Umluft	Aus Stufe 7	Stufe 1 Stufe 7	Stufe 2 Stufe 7
	V [m <sup>3</sup> /h]	V [m <sup>3</sup> /h]	V [m <sup>3</sup> /h]
Ofen eintritt	<b>239</b>	<b>201</b>	<b>154</b>
Ofen austritt	<b>118</b>	<b>57</b>	<b>0</b>
Leckage	<b>121</b>	<b>144</b>	<b>154</b>

### **Verbesserungsmassnahmen:**

- Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Leckagen hauptsächlich durch den porösen Stein entstehen. Um die Leckagen zu verkleinern wurde eine zusätzliche Mörtelschicht am Ofen angebracht.
- Der Rohrbogen wurde ausgebaut und abgedichtet.



Bild 10: Mörtelschicht an Ofen vorne



Bild 11: Mörtelschicht an Ofen hinten

**Volumenstrommessung mit V-Control nach dem Anbringen der Mörtelschicht  
(02.12.1999)**

Lüftung	Stufe 1	Stufe 2
Umluft	Stufe 7	Stufe 7
	V [m3/h]	V [m3/h]
Ofen eintritt	<b>165</b>	<b>106</b>
Ofen austritt	<b>126</b>	<b>61</b>
Leckage	<b>39</b>	<b>45</b>

Für die Aktennotiz  
Horw, 26.01.2000  
Dominique Helfenfinger