

G. Baumgartner

T. Schiffert

**Projekt Neuhaus –
Ganzhausheizung,
Jahresnutzungsgrad,
Raumklimamessung**



Schriftenreihe des Österreichischen Kachelofenverbandes

Herausgeber und Vertrieb Österreichischer Kachelofenverband

A-1220 WIEN, Dassanowskyweg 8

Redaktion Dipl.-Ing. Dr. Thomas Schiffert

Copyright © 1999, Österreichischer Kachelofenverband

Nachdruck auch auszugsweise nur mit
Genehmigung des Herausgebers. Alle Rechte,
auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ausgabe 2, 2/1999

ISBN 3-901680-10-1

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Motivation.....	5
2 Zielsetzung.....	5
3 Ganzhausheizung mit Wasser als Wärmeträger.....	7
3.1 Projektbeschreibung.....	7
3.1.1 Objektbeschreibung	7
3.1.2 Der Kachelofen mit Wärmeaustauscher	8
3.1.3 Das hydraulische Konzept	9
3.2 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.....	10
3.2.1 Wasserleistung	10
3.2.2 Heizflächen - und Wasserleistungen	12
3.2.3 12 Stunden - und 24 Stundenheizintervall im Vergleich	13
3.2.4 Wassertemperaturen	15
3.3 Auslegungsrichtlinien.....	16
3.3.1 Nennheizleistung.....	16
3.3.2 Wärmetauscherfläche.....	16
4 Nutzungsgrad von Kachelöfen.....	18
4.1 Hintergrund.....	18
4.2 Ziel	18
4.3 Methode.....	19
4.3.1 Indirekter Ansatz	19
4.3.2 Mit Hilfe der Heizlastberechnung.....	19
4.3.3 Kalibrierung mittels definierter elektrischer Leistung	20
4.4 Ausführung	20
4.4.1 Indirekter Ansatz	20
4.4.2 Mit Hilfe der Heizlastberechnung.....	21
4.4.3 Kalibrierung mittels definierter elektrischer Leistung	22

5 Raumklimamessungen	24
5.1 Einleitung	24
5.2 Kachelofenmessungen	24
5.2.1 Die Meßanordnung	24
5.2.2 Durchführung der Messungen	26
5.2.3 Ergebnisse	26
5.3 Heizkörpermessungen	29
5.3.1 Beschreibung der Heizkörper	29
5.3.2 Meßanordnung	29
5.3.3 Durchführung der Messungen	30
5.3.4 Ergebnisse	30
5.4 Vergleich Kachelofen - Konvektionsheizung	33
5.5 Zusammenfassung	37
6 Verzeichnisse	38
6.1 Literatur	38
6.2 Abbildungen	38
6.3 Tabellen	39
6.4 Gleichungen	40
7 Anhang	40

1 Einleitung und Motivation

Die Dissertation Kachelofen 2000 hat anhand der Entwicklung der Wärmeschutzstandards gezeigt, daß wir in naher Zukunft mit Normheizlasten unter 5 kW zu rechnen haben. Dieser aus heutiger Sicht geringe Wärmebedarf deckt sich mit dem typischen Einsatzbereich eines Kachelofens.

In den vergangenen Jahren hat sich der Hafnermeister immer wieder mit Ganzhausheizungen beschäftigt. Luftheizungen, Hypokaustenheizungen, Durchbaukachelöfen und Kachelöfen mit Wasserkesseleinsätzen wurden und werden gebaut. Die Hypokaustenheizung in ihren verschiedenen Ausführungsvarianten verwendet Luft als Wärmeträger. Dies kommt dem Hafner dadurch entgegen, daß er Erfahrung im Warmluftheizungsbau hat.

Kachelofenganzhausheizungen mit Wasser als Wärmeträger wurden in der Vergangenheit meist mit einem Kesseleinbau im Brennraum realisiert. Durch die gestiegenen Anforderungen an die Emissionen von Heizgeräten werden Kesseleinbauten im Brennraum nicht mehr so häufig verwendet.

Die Idee, die guten Emissionswerte und Speichereigenschaften des Kachelofens zu nutzen und ihn mit einer kontinuierlichen Warmwasserabschöpfung auszustatten wurde des öfteren von Hafnermeistern in verschiedener Weise realisiert.

In Neuhaus im Wienerwald wurde ein geeignetes Objekt für eine Pilotanlage gefunden. Eine unbewohnte Wohnung mit einem für einen normalen Kachelofen ungünstigen Grundriß und einer Normheizlast von rund 5kW wurde mit einem nach der Kachelofenberechnung gebauten Speicherblock mit Luftspalt und ummantelnder Heizfläche zusätzlich mit einem Wärmeaustauscher ausgestattet.

2 Zielsetzung

Ziel des Projektes Kachelofen mit Warmwasserabschöpfung ist es, eine Möglichkeit der Ganzhausheizung an einer Pilotanlage zu erproben. Aus den Meßergebnissen sollen Planungsrichtlinien für den Hafnermeister erarbeitet werden. Wenn nötig soll die Grundlage für weiterführende Versuchsreihen geschaffen werden. Zusätzlich werden raumklimatische Parameter aufgenommen und einer herkömmlichen Heizung gegenübergestellt. Weiters soll der Nutzungsgrad der Anlage ermittelt werden.

Die folgenden Tabelle listet Umfang und Art der durchgeführten Meßreihen auf.

Meßreihe	Meßzeit	Meßziel	Bemerkung
1	11.12.97 - 7.1.98	Raumklima-Kachelofen, Energiemessung	
2	12.1.98 - 28.1.98	Raumklima-Kachelofen, Energiemessung	
3	7.2.98 - 18.2.98	Raumklima-Kachelofen, Jahresnutzungsgrad, Energiemessung	
4	19.2.98 - 9.3.98	Raumklima-Kachelofen, Jahresnutzungsgrad, Energiemessung	24 Stundenintervall
5	19.3.98 - 7.4.98	Bestimmung des Wärme- bedarfes, Raumklimamessung- Konvektor	Elektroheizung
6	16.4.98 - 21.4.98	Leistungsmessung	Wärmemengenzähler mit digitalem Leistungsausgang installiert

Tabelle 1: Meßzeitplan

3 Ganzhausheizung mit Wasser als Wärmeträger

3.1 Projektbeschreibung

3.1.1 Objektbeschreibung

Neuhaus im südlichen Wienerwald liegt 420 Meter über dem Meeresspiegel. Die Normaußentemperatur beträgt -16°C . Die Pilotanlage befindet sich in einem zweigeschoßigen Wohnhaus im Erdgeschoß. Die 86m^2 große Wohnung besteht aus einem Wohnraum (WZ) mit integrierter Küche, einem Schlafzimmer (SZ), einem Gästezimmer (GZ), einem Vorraum (VORR.) sowie aus WC und Bad (siehe Abb1).

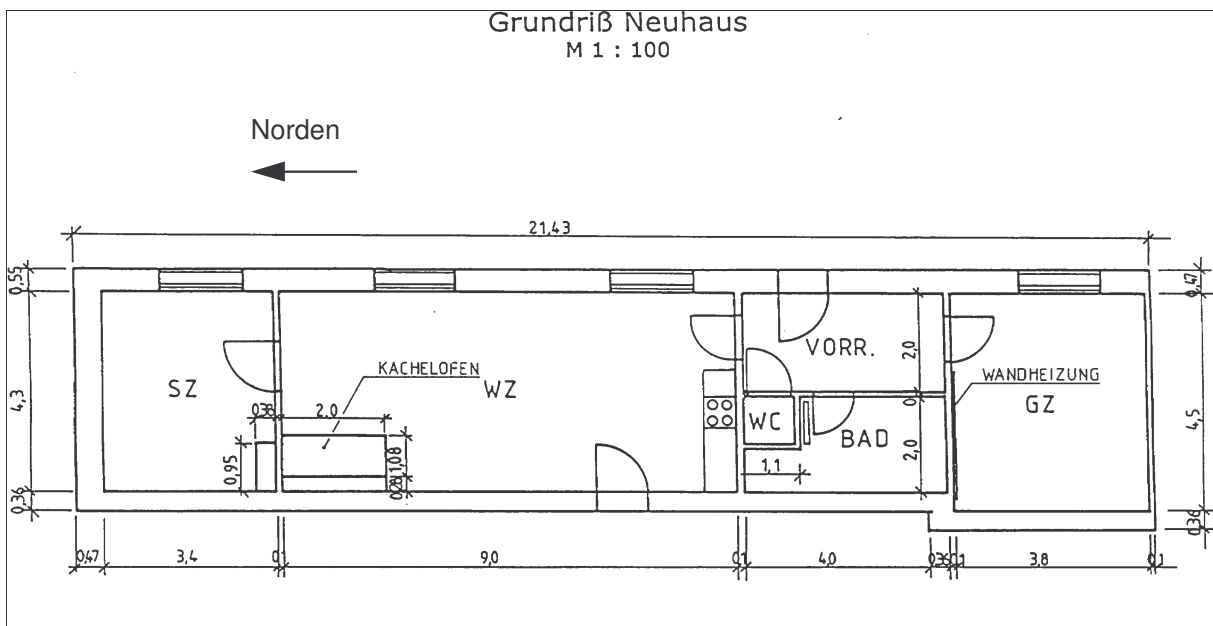


Abbildung 1: Grundriß der Wohnung in Neuhaus

Die Fenster des Gebäudes haben einen k -Wert von $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, die Außenwände k -Werte zwischen $0,27$ und $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, und der erdanliegende Fußboden hat einen k -Wert von $0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Daraus ergibt sich ein Wärmebedarf von 5100 Watt oder $23 \text{ W}/\text{m}^3$. Für die Brauchwasserbereitung gelangt ein 150 Liter Doppelmantelboiler zum Einsatz.

Raum	Raumheizlast in W	% von der Heizlast	Art der Beheizung
Schlafzimmer	1180	23	Kachelofen direkt
Wohnraum	1950	38	Kachelofen direkt
Bad	600	12	Heizkörper und Fußbodenheizung
Vorraum	240	5	über Innenwände und Türen
Gästezimmer	1130	22	Wandheizung

3.1.2 Der Kachelofen mit Wärmeaustauscher

Unter der Annahme eines Dreipersonenhaushaltes mit einem Energiebedarf von 2 kWh pro Person und Tag ergibt sich ein Brauchwasserenergiebedarf von 6 kWh pro Tag. Daraus ergibt sich ein Leistungsbedarf von rechnerisch 250 W und es wurden 300 W angenommen. Abbildung 2 zeigt die Verteilung des Wärmebedarfs.

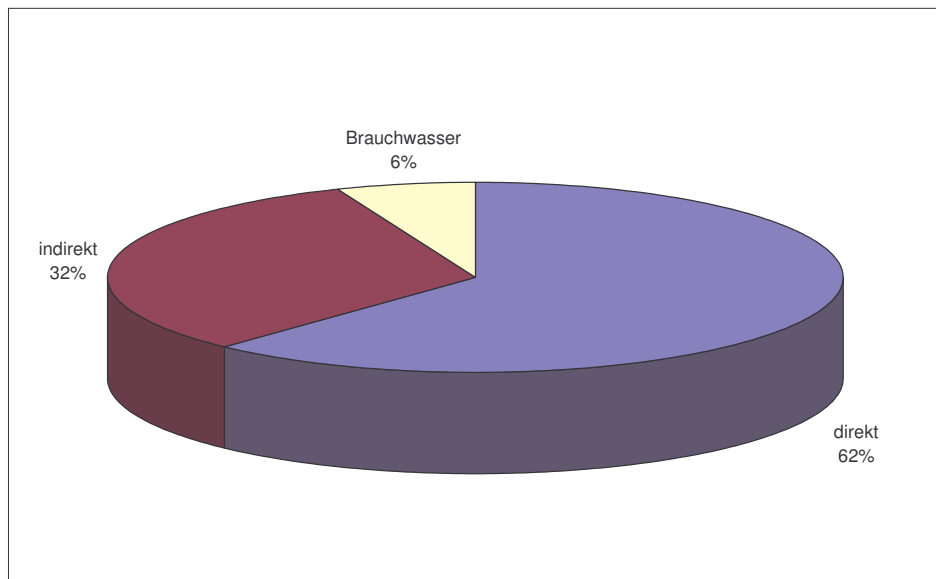


Abbildung 2: Wärmeverteilung

Der Kachelofen ist vom Wohnraum ins Schlafzimmer durchgebaut. Er ist auf eine Leistung von 5400 Watt ausgelegt, und die Nennheizzeit beträgt zwölf Stunden. Durch eine Absperrautomatik wird der für Ganzhausheizungen wichtige Bedienungskomfort gesteigert. Der Brennraum und der Heizzug bilden einen Speicherblock, welcher von einem Luftspalt umhüllt ist. In dem Luftspalt sind entlang der Längswände Solarkollektoren lose eingehängt.

Ganzhausheizung mit Wasser als Wärmeträger

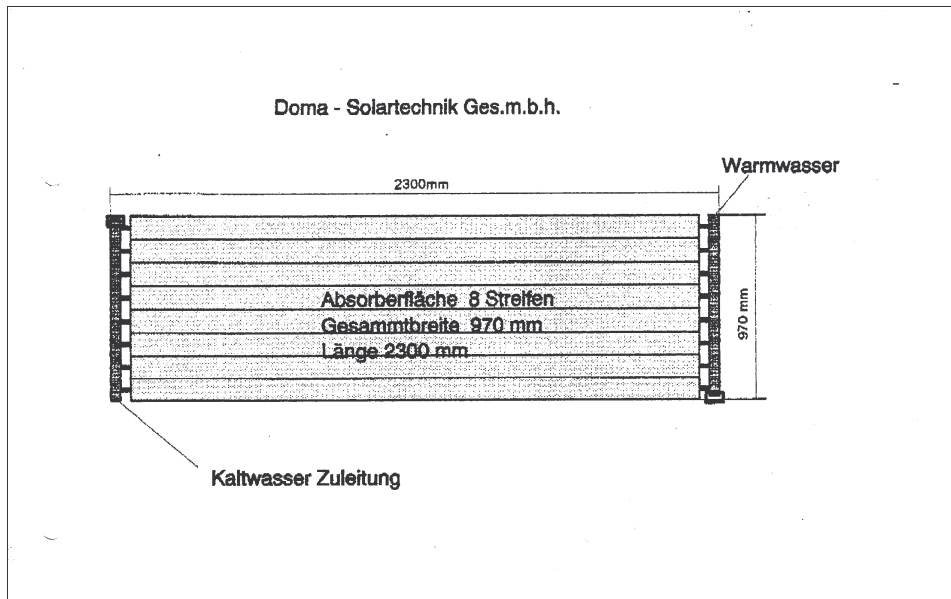


Abbildung 3: Schnitte durch den Solarkollektor

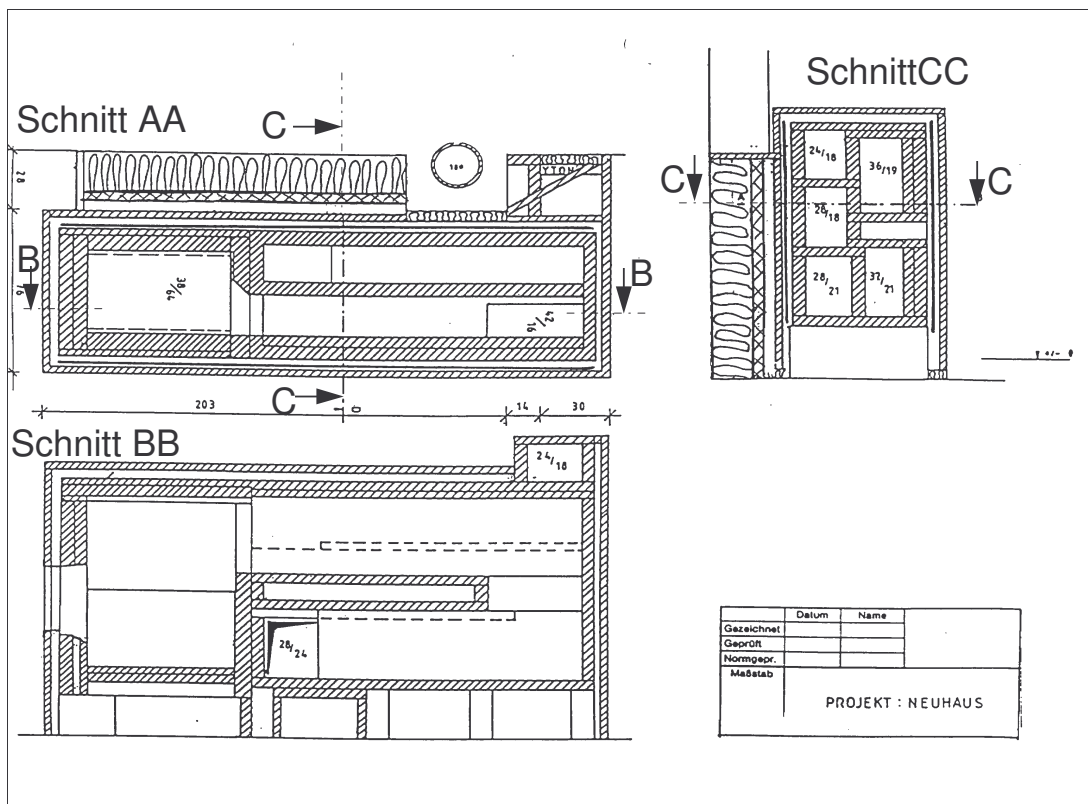


Abbildung 4: Schnitte durch den Kachelofen

3.1.3 Das hydraulisches Konzept

Das Heizungswasser wird mittels einer Pumpe parallel durch die Kollektoren gepumpt. Ein temperaturgeregeltes Dreiwegeventil begrenzt die Temperatur der beiden Heizkreise, Wandheizung und Radiatorheizung mit nachgeschalteter

Fußbodenheizung. Der Boiler ist mit einem thermoelektrischen Ventil in den Heizkreis eingebunden. Dieses Ventil öffnet bei einem Stromausfall und der Boiler fungiert als Sicherheitswärmeaustauscher mit einer thermischen Ablaufsicherung.

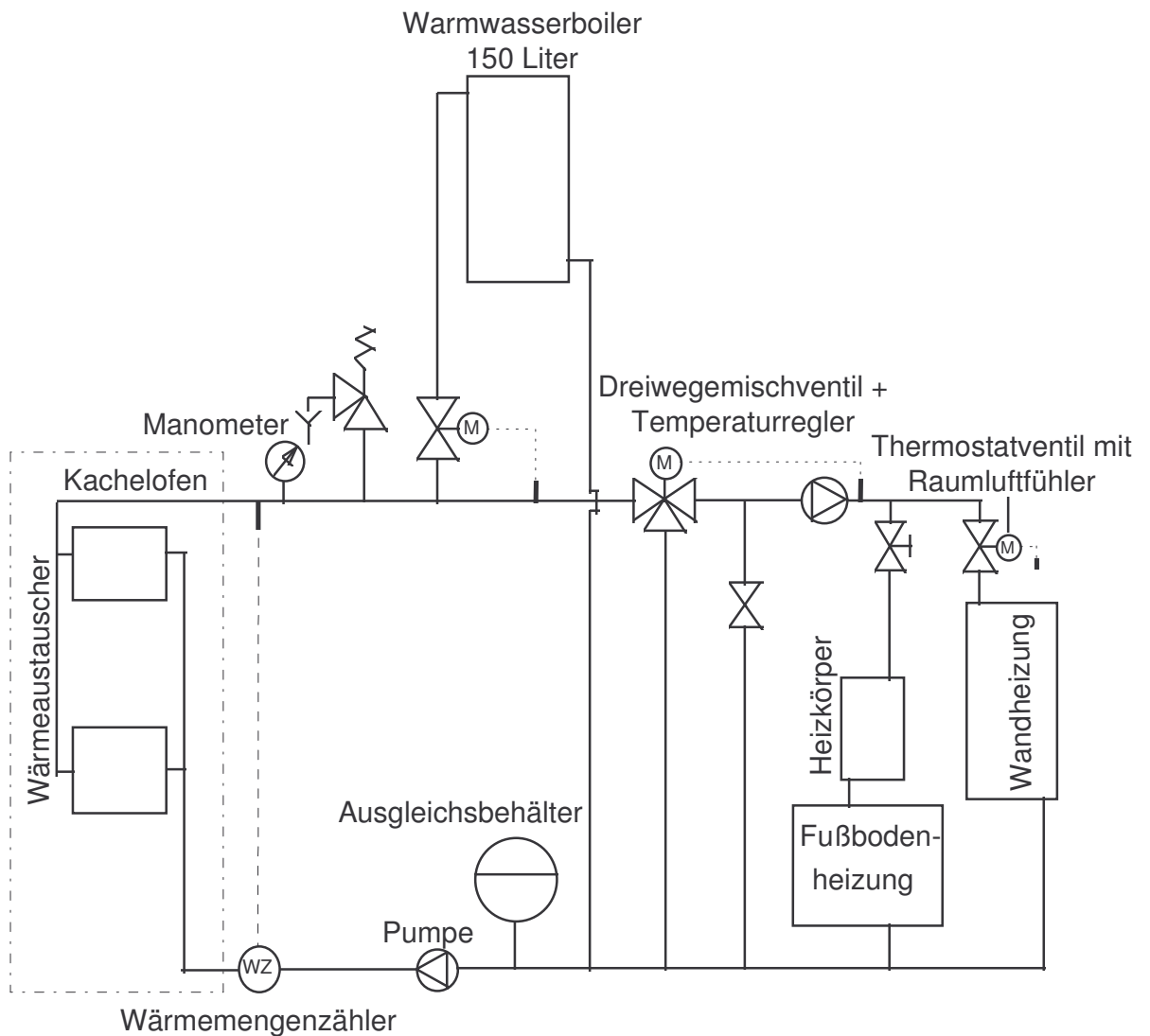


Abbildung 5: hydraulische Schaltung

3.2 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Bei Messungen über längere Zeitperioden wurde, wenn nötig, für die Auswertung ein Zeitabschnitt ausgewählt.

3.2.1 Wasserleistung

Zuerst wird versucht, das Verhältnis Heizleistung des Kachelofens zu wasserseitig abgeführter Leistung zu bestimmen. Um ein Verhältnis in Abhängigkeit von der Holzmenge zu bekommen, werden verschiedene Heizabschnitte mit verschiedenen Brennstoffmengen zur Auswertung herangezogen.

Ganzhausheizung mit Wasser als Wärmeträger

Heizabschnitt	Brennstoffmenge in kg	Betriebszeit in h	Nutzwärmenge ges. in kWh	Wärmenge wasserseitig in kWh	Wasserleistung in %
3.1.98 - 7.1.98	8	108	287	73	25
26.12.97 - 2.1.98	10	168	562	151	27
19.12.97 - 20.12.97	14	36	169	50	30
17.4.98 - 21.4.98	20	96	642	202 ¹⁾	32
11.2.98 - 13.2.98	20	36	241	64	27

¹⁾ Meßserie 6

Tabelle 2: Wasserleistung

Für den Brennstoff Holzbrikks wird ein Heizwert von 5,14 kWh/kg angenommen. Die Tabellenwerte sind mit einem Wirkungsgrad von 78% berechnet.

Im folgenden Diagramm sieht man den zeitlichen Verlauf der wasserseitigen Leistungsabgabe im Vergleich zu typischen Kachelofentemperaturen. Die Messung erfolgte bei annähernd konstanter Belastung über den Brauchwasserboiler.

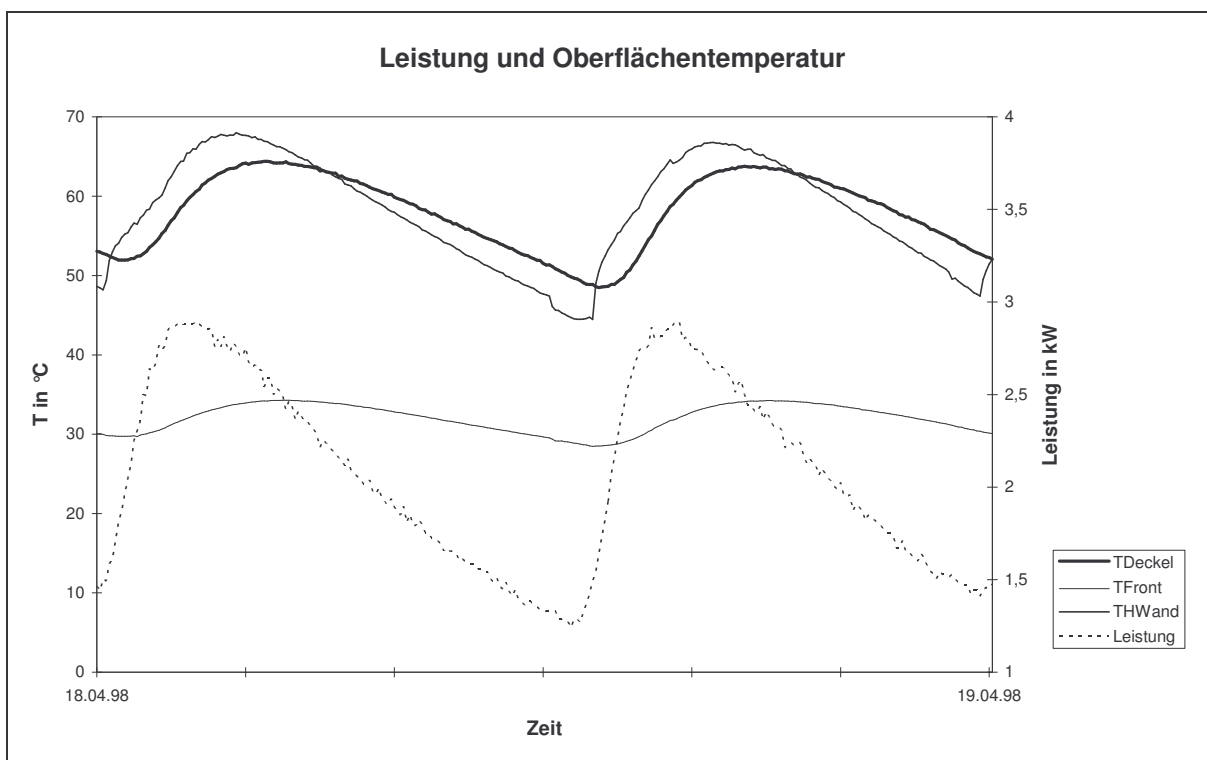


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Oberflächentemperaturen und der wasserseitigen Leistung

3.2.2 Heizflächen - und Wasserleistungen

Der Kachelofen hat eine Oberfläche von rund 10,8 m² und eine Leistung von 5400 Watt. Dies ergibt eine durchschnittliche Oberflächenleistung von 500 W/m².

Als Wärmeaustauscher sind 2 Stück Sonnenkollektoren der Marke Doma mit einer Fläche von jeweils 2,2 m² eingebaut. Um die Flächenleistung der Teilflächen zu ermitteln, werden die Teilflächen in deren Leistungsfähigkeit im Vergleich zueinander nach Erfahrungswerten gewichtet. Dies erlaubt eine gute näherungsweise Bestimmung der Flächenleistung bei den Wärmeaustauschern, wenn keine Wasserleistung abgeführt werden würde. In der folgenden Tabelle ist diese Bewertungsmethode für 20 kg Brennstoff gezeigt.

Teilfläche	Breite in m	Länge in m	Fläche in m ²	Bewertung	Fläche x Bewertung	Leistung Teilfläche in W	Leistung in W/m ²	Wasserleistung in W/m ²	Wasserleistung in %
Boden	0,75	2	1,5	0,5	0,75	523	349		
Decke	0,75	2	1,5	0,8	1,2	837	558		
Rückwand	1,2	2,3	2,76	1	2,76	1926	698	387	55,4
Sichtfläche	1,2	2,3	2,76	1	2,76	1926	698	387	55,4
Frontfläche	0,75	1,2	0,9	1	0,9	628	698		
Ofenfläche Schlafz.	1	1,35	1,35	0,9	1,22	848	628		
Kollektor 1	0,97	2,3	2,23						
Kollektor 2	0,97	2,3	2,23						
gesamt			10,77		9,59	6688			

Tabelle 3: Oberflächenleistungsberechnung

Für die einzelnen Auswertungsbereiche ergibt sich ein prozentuelles Verhältnis zwischen der Leistung einer Kachelofenfläche ohne und mit Wärmeaustauschereinbau. Dies läßt Aussagen über die Effizienz des Wärmeaustausches im Luftspalt zu. In der folgenden Tabelle sind die Rechenergebnisse dargestellt.

Brennstoff in kg-	Meßzeit	Wasserleistung gemessen in W/m ²	Kachelofenwandleistung gerechnet in W/m ²	Wasserleistung in %
8	3.1.98 - 7.1.98	147	278	53
10	26.12.97 - 2.1.98	195	349	56
14	19.12.97 - 20.12.97	302	488	62
20	11.2.98 - 13.2.98	387	698	55
20*)	17.4.98 - 21.4.98	450	698	65

*) Meßserie 6

Tabelle 4: Wärmetausch im Luftspalt

3.2.3 12 Stunden - und 24 Stundenheizintervall im Vergleich

Ziel der Meßreihe ist es, den Temperaturverlauf der Raumluft aufzunehmen. In den beiden folgenden Diagrammen sieht man die Raumlufttemperaturen bei einem 12h- und bei einem 24h- Intervall.

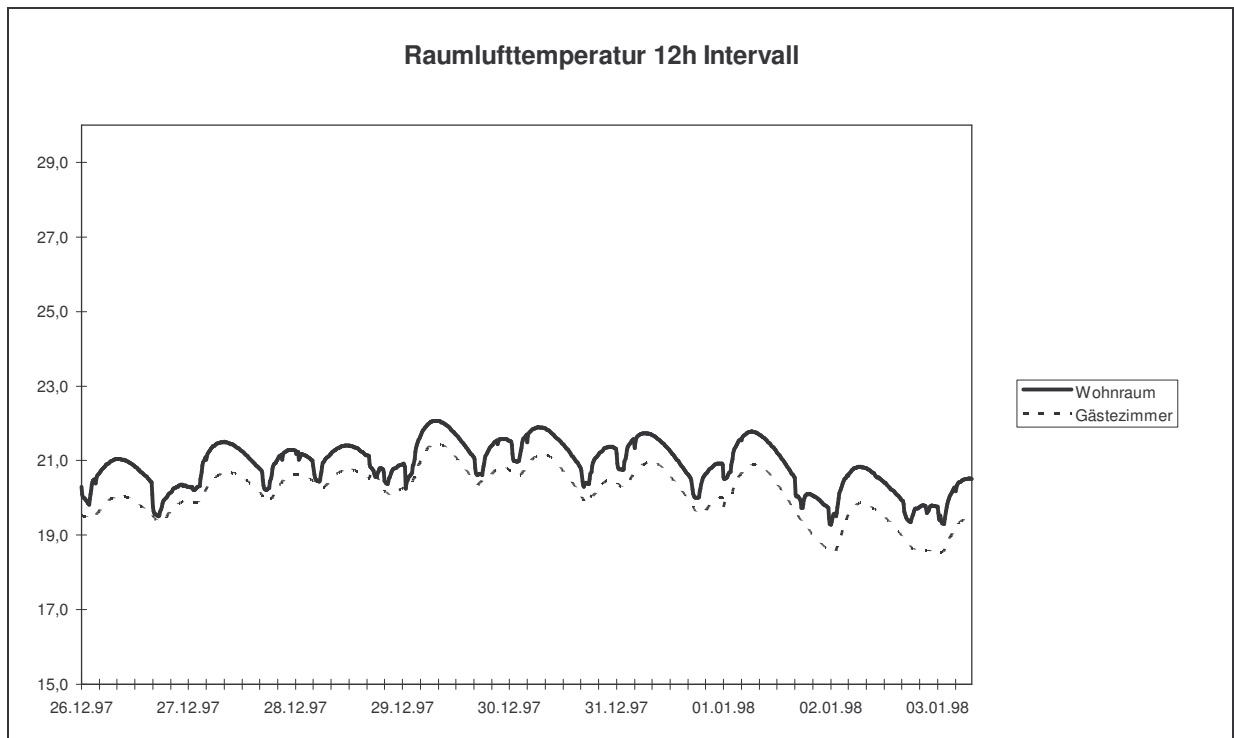


Abbildung 7: Zeitlicher Lufttemperaturverlauf bei 12-Stundenintervall

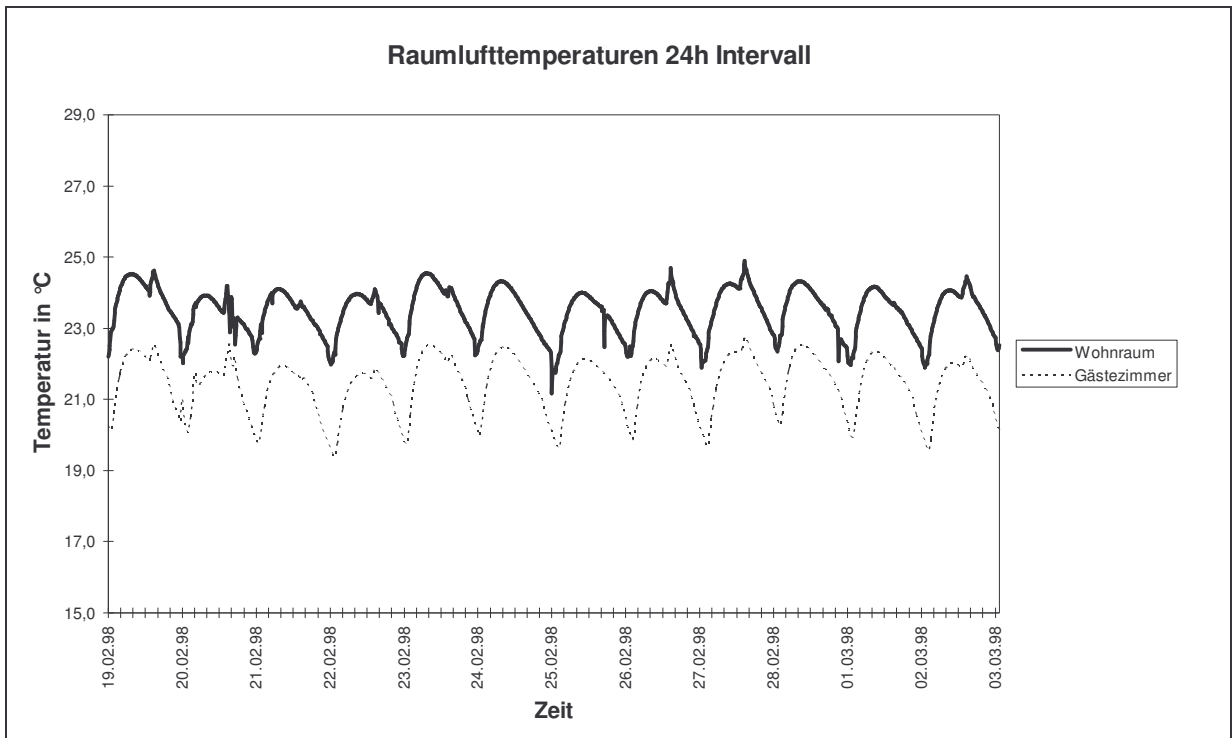


Abbildung 8: Zeitlicher Lufttemperaturverlauf bei 24-Stundenintervall

In der Tabelle ist der Vergleich zwischen 12 Stundenintervall und 24 Stundenintervall dargestellt. Die absolute Höhe der Temperaturen ergibt sich aus den unterschiedlichen Außentemperaturen. Diese ist beim 12 Stundenintervall im Mittel 2,2 °C und beim 24 Stundenintervall 7,6 °C.

	12h Intervall 2x10kg			24h Intervall 1x20kg		
	Wohnrt. in °C	Gästezt. in °C	Differenz Wohnr. zu Gästezt. in K	Wohnrt. in °C	Gästezt. in °C	Differenz Wohnr. zu Gästezt. in K
Mittelw.	20,9	20,1	0,7	23,5	21,4	2,1
Maximw.	22,1	21,5	0,6	24,9	22,7	2,2
Minimw.	19,3	18,5	0,8	21,2	19,4	1,8
Obere Abweich.g	1,2	1,3	0,1	1,4	1,3	0,1
Untere Abweich.g	1,6	1,6	0,0	2,3	2,1	0,3
Differenz Max./Min.	2,8	2,9	0,2	3,7	3,4	0,4

Tabelle 5: Vergleich 12-Stunden- und 24-Stundenintervall

3.2.4 Wassertemperaturen

Für eine Beurteilung des Wärmeaustauschers im Kachelofen sind die Temperaturniveaus der Wassertemperaturen von Bedeutung. Das folgende Diagramm zeigt den Temperaturverlauf und den Leistungsverlauf der Meßserie 6.

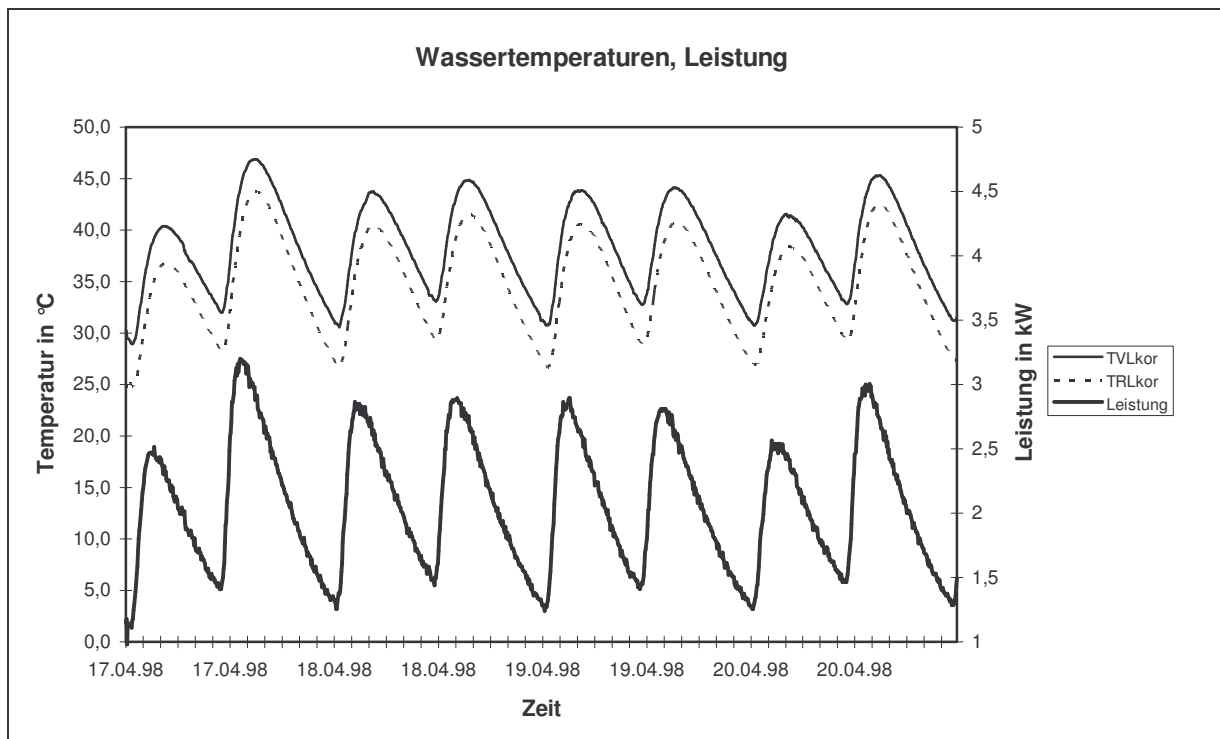


Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf der Wassertemperaturen und der wasserseitigen Leistung

Speziell die Brauchwasserbereitung benötigt höhere Vorlauftemperaturen. In der Tabelle sind die erreichten Wassertemperaturen zusammengestellt.

Brennstoff in kg	Vorlauf-temp. im Mittel in °C	Rücklauf-temp. im Mittel in °C	Temperaturdifferenz in K	maximal erreichte Temperatur in °C	minimal erreichte Temperatur in °C
8	39,3	38,2	1,1	50,7	30,2
10	44,1	42,7	1,3	56,4	31,0
14	54,8	53,2	1,6	71,2	36,9
20	53,5	51,9	1,6 ¹⁾	72,2	39,6
20 ²⁾	38,3	34,8	3,6	46,9	28,9

¹⁾ Da die Vorlauftemperaturmeßstelle während der Messung defekt geworden ist, wird eine Temperaturdifferenz von 1,6 K angenommen.

²⁾ Meßserie 6

Tabelle 6: Vor- und Rücklauftemperaturen

3.3 Auslegungsrichtlinien

Die folgenden Ausführungen müssen mit der Einschränkung betrachtet werden, daß es sich hier um eine Pilotanlage handelt und es keine weiteren dokumentierten Erfahrungen solcher Systeme gibt.

3.3.1 Nennheizleistung

Als erster Planungsschritt wird die Heizlast nach ÖNORM 7500 bestimmt. Für die Brauchwasserbereitung kann man zwischen 80 und 100 Watt pro Person bei einem 12 Stundenintervall einsetzen. Die Summe der gleichzeitig beheizten Räume und der errechneten Brauchwasserleistung ergibt die Nennheizleistung des Kachelofens. Die Summe der wasserbeheizten Räume ergibt die benötigte Wasserleistung.

3.3.2 Wärmetauscherfläche

Der Wärmeaustauscher kann rund 60 % der jeweiligen Oberflächenleistung der Kachelofenteilfläche ins Wasser tauschen.

1. Ermittlung der Heizleistung nach Punkt 4.3.1
2. Grobdimensionierung der Heizflächen mit einer Leistungsannahme von 450 (8h) bis 550 W/m² (16h)
3. Skizzieren des Ofenmantels
4. Ermittlung und Bewertung der Heizflächen mittels Bemessungsblattes und der Tabelle
5. Ermittlung der Heizflächenleistung
6. Bestimmung der Wärmeaustauscherflächen nach praktischen Gesichtspunkten und Ermittlung der Wasserleistung unter Annahme einer 60% Ausbeute
7. wenn nötig Wärmeaustauscherflächen ändern
8. weiter bei Punkt 4

Es werden folgende Heizflächentypen unterschieden. Die Werte gelten nur, wenn um den Speicherblock eine gute Luftzirkulation stattfinden kann.

Heizflächentyp	Bewertung
senkrechte Wände	1,0
Deckflächen	0,8
Boden	0,5

Ganzhausheizung mit Wasser als Wärmeträger

Zu bedenken ist, daß jene Heizflächen hinter denen ein Wärmeaustauscher eingebaut wird nur noch $\frac{1}{3}$ der gewohnten Heizleistung abgeben. Die Differenz von Nennwärmeleistung des Kachelofens und Wasserleistung verbleibt im Aufstellungsraum.

4 Nutzungsgrad von Kachelöfen

4.1 Hintergrund

Um der Energieverschwendung entgegenzuwirken, muß eine möglichst hohe Ausnützung der im Brennstoff Holz vorhandenen Energie oberstes Gebot sein. Dies bedeutet zunächst, daß die Wirkungsgrade der Kachelöfen hoch sein müssen. Daher wird der Mindestwirkungsgrad in verschiedenen Gesetzen bzw. Verordnungen vorgeschrieben, wie zum Beispiel in der Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über die Einsparung von Energie. Der Artikel 6: „Kleinfeuerungen als Raumheizgeräte und Herde“ besagt, daß Raumheizgeräte einen feuerungstechnischen Wirkungsgrad η von zumindest 78% haben müssen.

Der Wirkungsgrad gibt jedoch nur beschränkt Auskunft über die tatsächliche Ausnutzung des Brennstoffes, da in der Praxis neben den, im Wirkungsgrad erfaßten Verlusten, zusätzliche Verluste auftreten. Diese können technischer Art sein (z.B. mangelnde Regelfähigkeit, hohe Nachströmverluste nach dem Absperrern, etc.), sie können aber auch durch die Bedienung des Ofens (z.B. unsachgemäße Bedienung, unzulässiger Brennstoff, etc.) oder individuelle Wohngewohnheiten (z.B. übermäßiges Lüften, Überheizen der Wohnung, etc.) entstehen.

Es gibt für Kachelöfen jedoch keine in der Praxis erhobenen Werte für diese Nutzungsgrade, deshalb gibt es verschiedene Schätzwerte, die zwischen 55 und 75 % liegen, wobei im Zweifelsfall meist die niedrigeren Werte verwendet werden. Im Wettbewerb mit anderen Heizgeräten und für eine überzeugende Argumentation bei Behörden ist es notwendig, in der Praxis erhobene, möglichst realistische Werte für den Nutzungsgrad zur Hand zu haben. Dies würde den Stellenwert des Kachelofens weiter festigen und in der Zukunft sichern.

4.2 Ziel

Anhand von praktischen Beispielen sollen Nutzungsgrade für Kachelöfen erhoben werden. Dabei sollen Beispiele untersucht werden, die ausschließlich oder überwiegend mit Kachelöfen beheizt werden. Die Ergebnisse sollen publiziert und insbesondere den Behörden zur Verfügung gestellt werden.

Zur Bestimmung des Nutzungsgrades stehen grundsätzlich folgende Möglichkeiten zur Verfügung, die nachfolgend genauer aufgezeigt werden:

- Indirekter Ansatz
- Mit Hilfe der Heizlastberechnung
- Kalibrierung mittels definierter Leistung

4.3 Methode

4.3.1 Indirekter Ansatz

Beim indirekten Ansatz werden die Verluste zur Berechnung des Jahresnutzungsgrades verwendet.

$$\eta_{RW} = \eta_K \cdot \frac{\left(1 - \frac{q_B}{f_B}\right)}{1 - q_B} \cdot \eta_V \quad (\text{Glg. 1})$$

η_{RW} .. Jahresnutzungsgrad

η_K ... Wirkungsgrad

f_B ... Betriebszeitfaktor
d.h. das Verhältnis von Vollaststunden zu Bereitschaftsstunden.

q_B ... spezifischer Bereitschaftsverlust
wie z.B. innere Auskühlung, erhöhte Abgasverluste durch höheren Luftüberschuß, Überwärmung durch mangelnde Regelbarkeit

η_V ... Verhältnis der dem Wärmeabgabesystem zugeführten, zur vom Wärmeerzeuger abgegebenen jährlichen Wärmemenge

4.3.2 Mit Hilfe der Heizlastberechnung

Über einen bestimmten Zeitraum wird der theoretisch notwendige Energiebedarf zur Beheizung mit Hilfe der Heizlastberechnung ermittelt. Für den gleichen Zeitraum wird die für die Beheizung eingesetzte Energiemenge ermittelt. Dies erfolgt über die Aufzeichnung der eingesetzten Brennstoffmenge.

Der Nutzungsgrad für den betrachteten Zeitraum ergibt sich aus:

$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{\text{theoretisch notwendige Energie}}{\text{eingesetzte Energie}} \quad (\text{Glg. 2})$$

4.3.2.1 Theoretisch notwendige Energie

Die zu jedem Zeitpunkt theoretisch notwendige Energie zur Beheizung wird mit Hilfe der Heizlastberechnung ermittelt. Dazu ist die Kenntnis der Bauweise, die Anordnung der beheizten Räume, die Art und Anordnung der Fenster und Türen, etc. notwendig. Diese Daten ändern sich nicht über den betrachteten Zeitraum. Weiters sind die tatsächlichen Raumtemperaturen und die jeweiligen Außentemperaturen erforderlich. Dies sind variable Größen, d.h. sie ändern sich laufend und müssen daher kontinuierlich aufgezeichnet werden.

Die Auswertung der theoretisch notwendigen Energie erfolgt in definierten Zeitintervallen (z.B. ein Tag).

$$\text{Theoretisch notwendige Energie im Zeitintervall} = \text{mittlere Heizlast} * \text{Zeitintervall} \quad (\text{Glg. 3})$$

Die theoretisch notwendige Energie ergibt sich durch Aufsummierung aller Zeitintervalle des betrachteten Zeitabschnittes.

4.3.2.2 Eingesetzte Energie

Mit Hilfe der Aufzeichnung der im betrachteten Zeitabschnitt benötigten Holzmenge, wie auch durch die Kenntnis des Wassergehalts und der Art des Holzes, wird die eingesetzte Energie berechnet.

$$\text{Eingesetzte Energie} = \frac{\text{Masse des benötigten Holzes im betrachteten Zeitabschnitt} * \text{Heizwert}}{\quad} \quad (\text{Glg. 4})$$

4.3.3 Kalibrierung mittels definierter elektrischer Leistung

Bei dieser Methode werden die Versuchsräume mittels definierter zugeführter Leistung (z. B.: Elektrokonvektoren) kalibriert. Die Leistung der Heizkörper, die zum Halten der Raumtemperatur bei der jeweiligen Außentemperatur benötigt wird, wird gemessen.

4.4 Ausführung

4.4.1 Indirekter Ansatz

Die in der Glg. 1 angeführten Werte, vor allem der spezifische Bereitschaftsverlust, stellen ein Problem bei der Erfassung dar.

Es gibt in der Fachliteratur Werte für f_B , q_B und η_V welche sich zwar auf händisch beschickte Holzöfen beziehen, doch sind dies Einzelöfen ohne Speichermasse. Aufgrund der für den Kachelofen in der Literatur nicht vorhandenen Werte erweist sich diese Methode als nicht zielführend.

4.4.2 Mit Hilfe der Heizlastberechnung

Zur Ermittlung der theoretisch notwendigen Energie wurden folgende Meßstellen herangezogen.

Außenlufttemperatur: $T_{\text{auß}}$

Wohnraum: $T_{L1} - T_{L6}$; Plazierung siehe Abbildungen 12, 13

Schlafraum: TR_2 ;

Gästezimmer: TR_3 ;

Bad: TR_{Bad}

Die Lufttemperatur im Wohnraum wurde aus dem Mittelwert von $T_{L1} - T_{L6}$ ermittelt. Die Meßstellen $TR_2 - TR_3$ und TR_{Bad} wurden in der Mitte des jeweiligen Raumes, in 1,5m Höhe angebracht.

Anhand von diesen Daten wurde die Heizlastberechnung laut ÖNORM M7500, mittels Berechnungsprogramm „Kachel V3.0“ durchgeführt. Um den konstanten Heizwert zu gewährleisten, wurden Holzbrikks verwendet. Die Masse der Nachlegemenge und der Zeitpunkt wurden mitgeschrieben, anschließend wurde mittels Glg. 4 die tatsächlich eingesetzte Energie ermittelt. Aus diesen Daten wurde der Nutzungsgrad laut Glg. 2 ermittelt. Der zeitliche Verlauf des so ermittelten Nutzungsgrades ist aus der folgenden Abbildung ersichtlich.

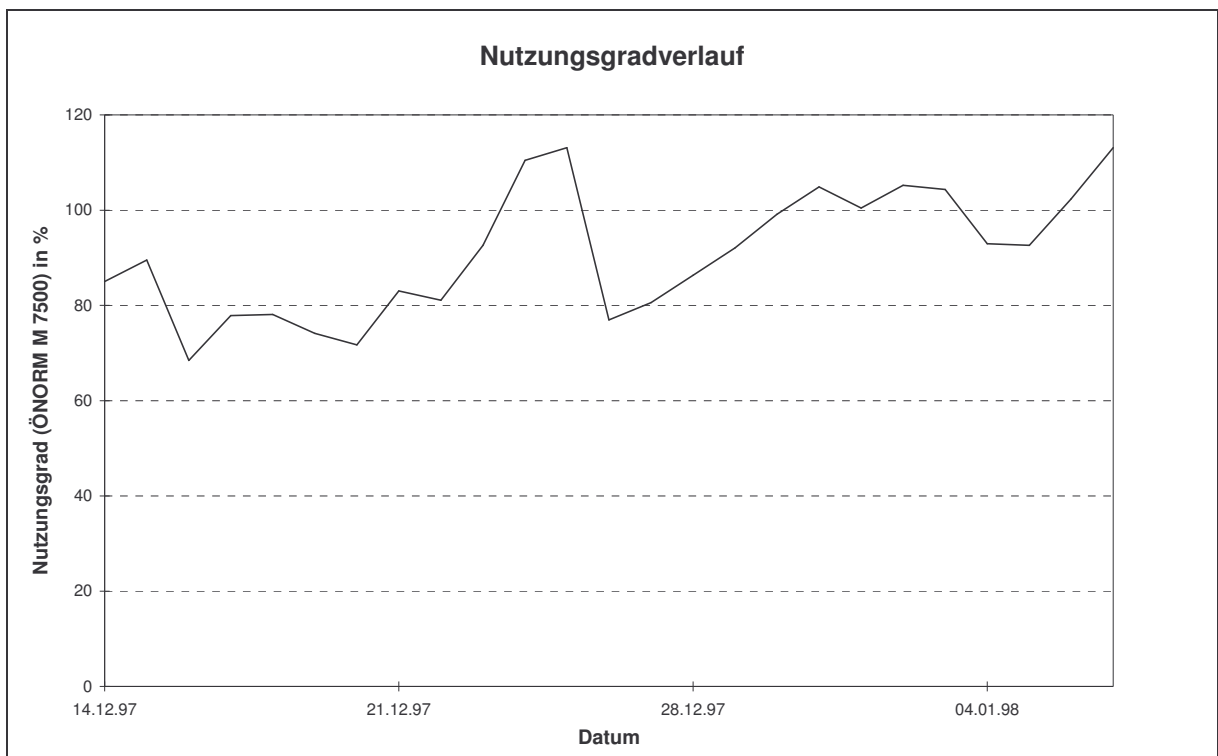


Abbildung 10: Zeitlicher Nutzungsgradverlauf

Die Tatsache, daß der Nutzungsgrad schwankt und kurzfristig auch über 100 % steigen kann, liegt in der Tatsache begründet, daß die Gebäudehülle eine Speicherungsfunktion wahrnimmt. Dadurch kommt es zu einer zeitlichen Verzögerung der Auswirkungen der Außentemperatur. Um diesen Umstand ausgleichen zu können, ist es sinnvoll, einen Mittelwert über einen längeren Zeitraum zu bilden. Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte für den Beobachtungszeitraum vom 14.12.97 bis zum 07.01.98:

Datum	mittlere theoretisch notwendige Leistung (kW) nach ÖNORM M 7500	mittlere zugeführte Leistung (kW)	Nutzungsgrad (%)
14.12.97 - 07.01.98	3,71	4,18	91

Tabelle 7: Nutzungsgrad eines Kachelofens (Heizlast nach ÖNORM M 7500)

Die Messungen mittels der Heizlast nach ÖNORM M 7500 ergaben somit einen sehr hohen Nutzungsgrad für den Kachelofen. Da die mit dem Brennstoff zugeführte Energie sehr genau bestimmt werden konnte, stellt die Heizlast den einzigen Unsicherheitsfaktor bei dieser Art der Bestimmung dar. Um die Richtigkeit der Heizlast nachzuprüfen, wurde anschließend eine Kalibrierung mittels definierter elektrischer Leistung durchgeführt.

4.4.3 Kalibrierung mittels definierter elektrischer Leistung

Um die Räume bezüglich Leistung zu kalibrieren, wurden in der Meßreihe 5 im Wohnraum 2, in den übrigen Räumen je 1 Elektrokonvektor mit 1000 W aufgestellt. In den „Nebenräumen“ wie Bad, Schlafzimmer und Gästezimmer wurden keine Messungen durchgeführt, hier wurden die Konvektoren zum Halten der Temperatur verwendet. Ausschließlich die Konvektoren im Wohnraum wurden zur Kalibrierung herangezogen. Die vom Heizkörper erbrachte Leistung wurde durch eine Messung des Stromflusses ermittelt. Dazu wurde eine Strommeßzange verwendet, deren Daten kontinuierlich alle 15 Sekunden aufgezeichnet wurden. Außerdem wurden die Raumlufttemperatur und die Außenlufttemperatur aufgezeichnet, um einen Vergleich mit der Heizlast nach ÖNORM M 7500 zu ermöglichen.

Der Raum wurde eine Woche lang mit den Konvektoren beheizt, um einen für eine Konvektionsheizung typischen Zustand des Hauses zu erreichen. Anschließend wurden die Messungen 5 Tage lang durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß die mit dieser Methode ermittelte Heizlast des Wohnraumes um rund 6% unter der Heizlast nach ÖNORM M 7500 liegt (Abb. 11).

Nutzungsgrad von Kachelöfen

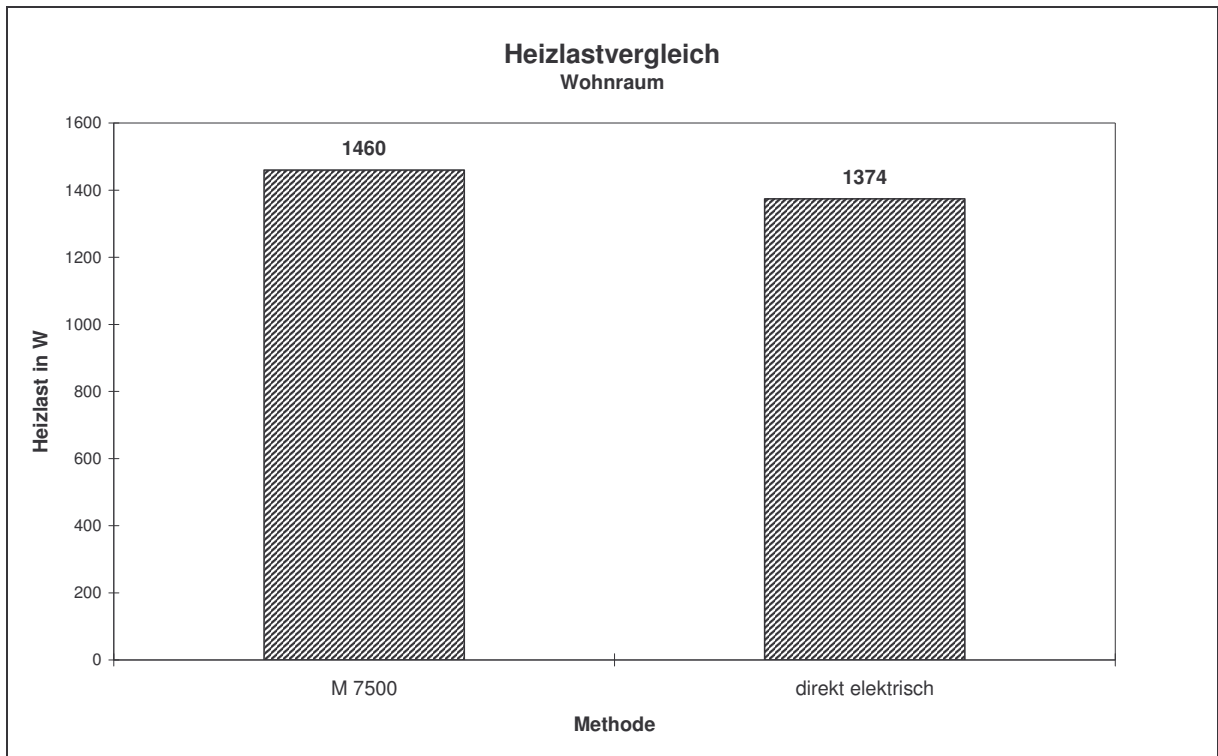


Abbildung 11: Heizlastvergleich M 7500 - direkt elektrisch

Korrigiert man nun den Wert für die Heizlast bei der Berechnung des Nutzungsgrades, so erhält man folgendes Ergebnis:

Datum	mittlere theoretisch notwendige Leistung (kW) bei definierter elektrischer Heizung	mittlere zugeführte Leistung (kW)	Nutzungsgrad (%)
14.12.97 - 07.01.98	3,49	4,18	84

Tabelle 8: Nutzungsgrad eines Kachelofens (Heizlast direkt elektrisch)

Der Wert von 84% ist immer noch sehr hoch. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß bei der Kalibrierung nie die Sonne schien. Im Fall der Messungen mit dem Kachelofen schien jedoch teilweise die Sonne. Da der Einfluß der Sonneneinstrahlung bei der Heizlastberechnung nicht berücksichtigt wird, ist ein Einfluß der durch die Sonne zugeführten Energie von etwa 5% wahrscheinlich. Damit würde der Nutzungsgrad des Kachelofens bei rund 80% liegen, was ein durchaus realistischer Wert ist.

Die Methode definierter elektrischer Leistung ist anhand der erzielten Ergebnisse vielversprechend und wird künftig bei weiteren Untersuchungen zum Thema Nutzungsgrad eingesetzt werden.

5 Raumklimamessungen

5.1 Einleitung

In der Heizsaison 1997/98 wurden im vorher beschriebenen Einfamilienhaus in Neuhaus im Wienerwaldgebiet Raumklimamessungen vorgenommen. Diese Messungen sollen dazu verwendet werden, den Kenntnisstand in bezug auf raumklimatische Parameter auf eine breitere Basis zu bringen. Grundlage für die Versuche waren die Ergebnisse der Messungen, die in der Heizsaison 95/96 in einem Einfamilienhaus in Brunn/Geb. durchgeführt worden waren. Die Erkenntnisse wurden im Rahmen der Schriftenreihe als Nr. 7 „Der Einfluß des Kachelofens auf raumklimatische Parameter und Gesundheit“ (Schiffert, Hofbauer, 1997) veröffentlicht. Es wurden bei den jetzigen Messungen wie damals auch Lufttemperaturen, Wandtemperaturen, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeiten über einen langen Zeitraum gemessen.

5.2 Kachelofenmessungen

5.2.1 Die Meßanordnung

Es wurden für die raumklimatischen Untersuchungen insgesamt folgende 20 Sensoren verwendet, die bereits bei den früheren Messungen angeschafft wurden:

Komponente	Anzahl der Sensoren	interne Bezeichnung
Lufttemperatur (TL)	9	TL ₁ - TL ₆ , TR ₂ - TR ₃ , T _{auß}
Wandtemperatur (TW) Oberflächentemperatur Kachelofen (THF)	8	TW ₁ - TW ₆ (TW ₅ = Decke, TW ₆ = Fußboden), THF ₁ - THF ₂
Luftgeschwindigkeit	1	Geschw.
Luftfeuchte (rel. F)	2	rel. F in, rel. F au

Tabelle 9: Verwendete Sensoren

Nachfolgend sind der Grund- und Aufriß des Hauptmeßraumes (Wohnzimmer) mit der Positionierung der Sensoren dargestellt.

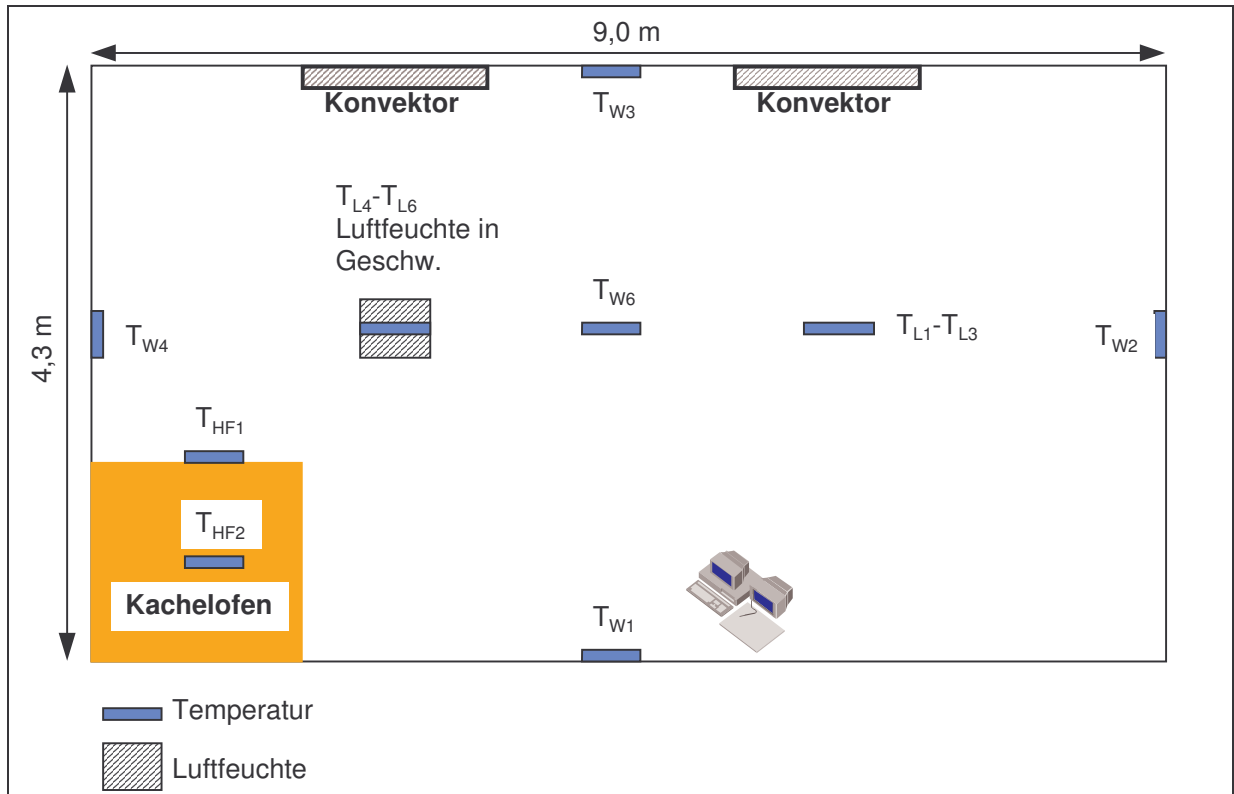


Abbildung 12: Grundriß des Wohnzimmers incl. Anbringung der Sensoren

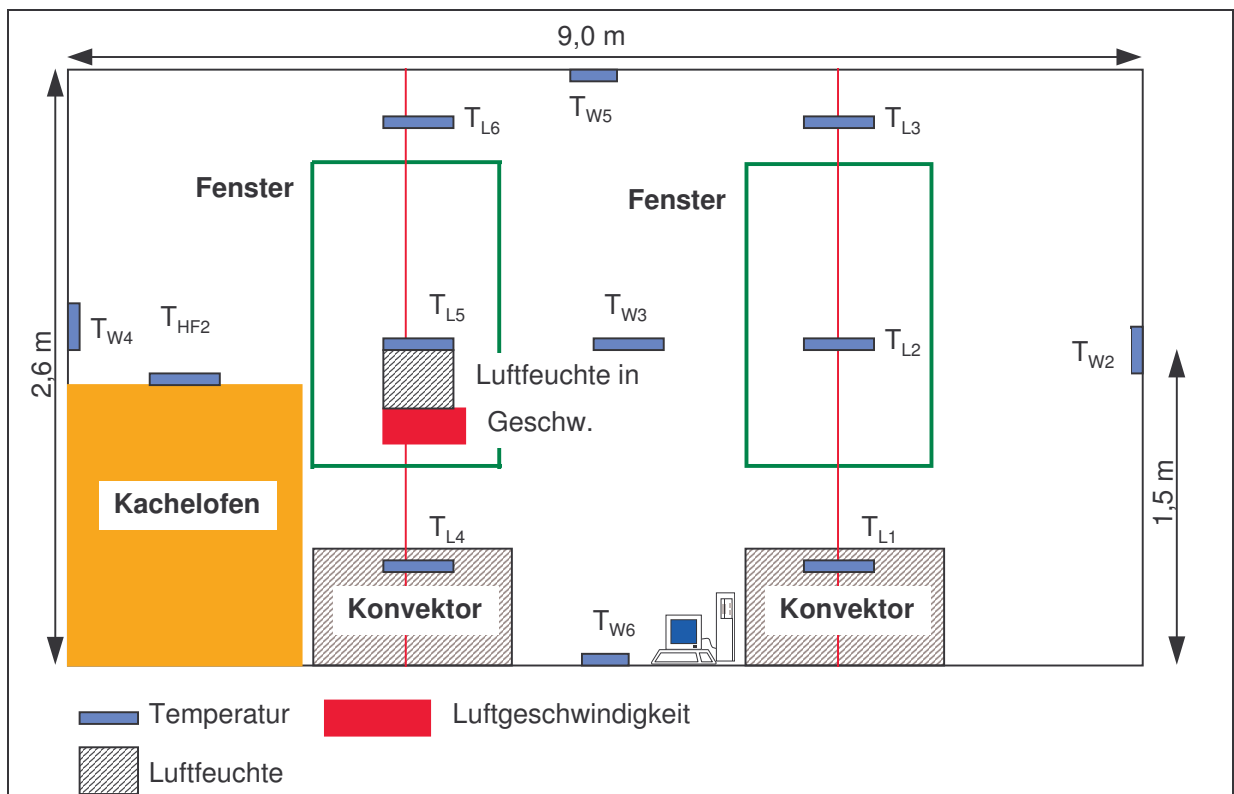


Abbildung 13: Aufriß des Wohnzimmers incl. der Anordnung der Sensoren

5.2.2 Durchführung der Messungen

Die einzelnen Meßserien wurden über einen längeren Zeitraum (jeweils mind. 14 Tage) durchgeführt, da sich bei den vorangegangenen Messungen herausgestellt hat, daß die annähernde Erreichung eines Beharrungszustandes zumindest mehrere Tage beträgt.

Die Meßdaten wurden alle 10 Minuten mit Hilfe einer mobilen Meßdatenerfassungsanlage abgespeichert und anschließend in einer Tabellenkalkulation ausgewertet. Dabei werden einerseits Mittelwerte, Maximal- und Minimalwerte gebildet, andererseits auch grafische Darstellungen des zeitlichen Verlaufes vorgenommen.

5.2.3 Ergebnisse

Bei den Messungen wurden verschiedene Zustände eingestellt, wobei jeweils darauf Wert gelegt wurde, daß die Periode lange genug war, um die Einstellung eines Beharrungszustandes zu ermöglichen. Die Tabelle 10 enthält die Mittelwerte der wesentlichsten Daten der durchgeführten Messungen.

Meßreihe ^{*)}	TL ₁ [°C]	TL ₂ [°C]	TL ₃ [°C]	TL ₄ [°C]	TL ₅ [°C]	TL ₆ [°C]	TL _{auß} [°C]
1	19,28	20,87	21,70	20,14	21,13	22,27	2,21
2	19,65	21,51	22,17	20,54	21,75	23,01	-0,19
4	22,06	23,84	24,05	23,02	24,13	25,31	7,54
Meßreihe ^{*)}	TW ₁ [°C]	TW ₂ [°C]	TW ₃ [°C]	TW ₄ [°C]	TW ₅ [°C]	TW ₆ [°C]	rel.F _{in} [%]
1	20,23	20,53	20,16	21,44	20,31	19,29	37,13
2	20,68	20,79	20,55	22,03	20,69	19,80	33,62
4	23,10	23,37	23,06	22,95	23,24	22,13	33,92

^{*)} siehe Tabelle 1: „Meßzeitplan“

Tabelle 10: Mittelwerte der wesentlichen Meßergebnisse beim Kachelofen

Nachfolgend sind beispielhaft die zeitlichen Verläufe der Luft- und Wandtemperaturen sowie der Außenluft und der Luftfeuchtigkeit für den Fall der Beheizung mit dem Kachelofen dargestellt.

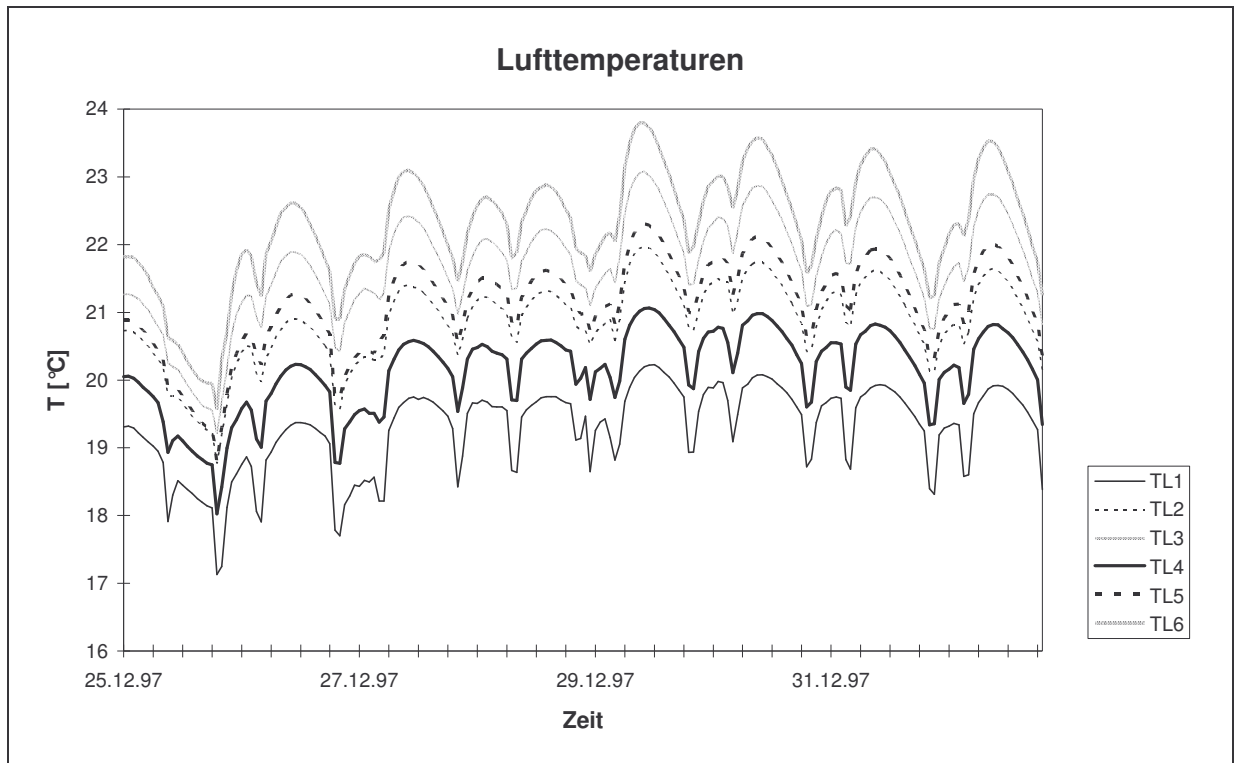


Abbildung 14: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Lufttemperaturen

Aus der Abbildung der Lufttemperaturen ist wie erwartet zu ersehen, daß die Lufttemperaturen einen ähnlichen Verlauf haben wie die Oberflächentemperatur des Kachelofens. Dabei ist jeweils die Lufttemperatur in Deckennähe am höchsten, jene in mittlerer Raumhöhe am zweithöchsten und die Temperatur in der Nähe des Fußbodens am geringsten ($TL_3 > TL_2 > TL_1$; $TL_6 > TL_5 > TL_4$). Die Lufttemperaturen in der Nähe des Kachelofens (TL_4 bis TL_6) sind höher als die jeweils vergleichbaren Temperaturen mit größerer Entfernung zum Kachelofen (TL_1 bis TL_3).

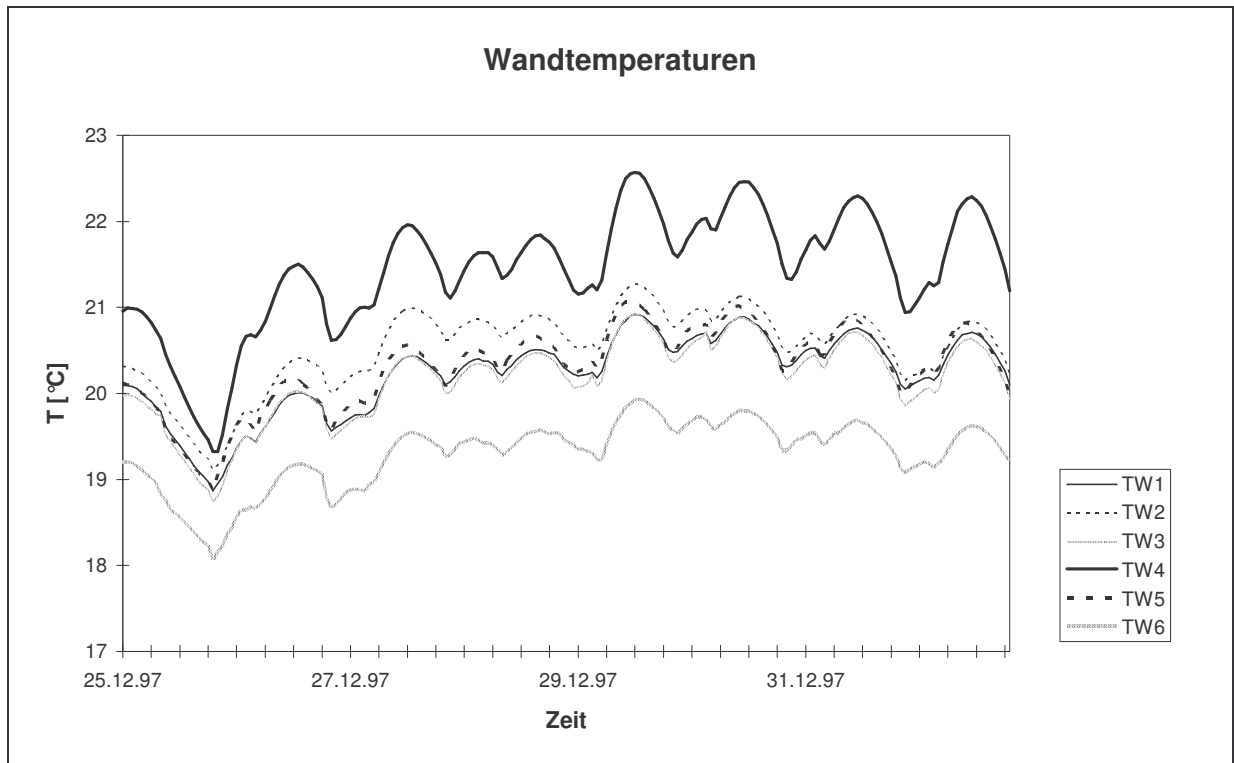


Abbildung 15: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Wandtemperaturen

Die Wandtemperaturen zeigen ebenso wie die Lufttemperaturen einen der Oberflächentemperatur des Kachelofens ähnlichen Verlauf. Dabei ist die Wandtemperatur 4 (TW_4) die eindeutig höchste und die Fußbodentemperatur (TW_6) die deutlich niedrigste Temperatur. Die Temperaturen der anderen Wände liegen dazwischen und unterscheiden sich nicht sehr stark (TW_1 bis TW_3 , TW_5). Der Grund für den hohen Wert der Wandtemperatur 4 liegt darin, daß es sich beim Versuchsofen um einen Durchbauofen handelt und diese Wand die beiden beheizten Räume trennt.

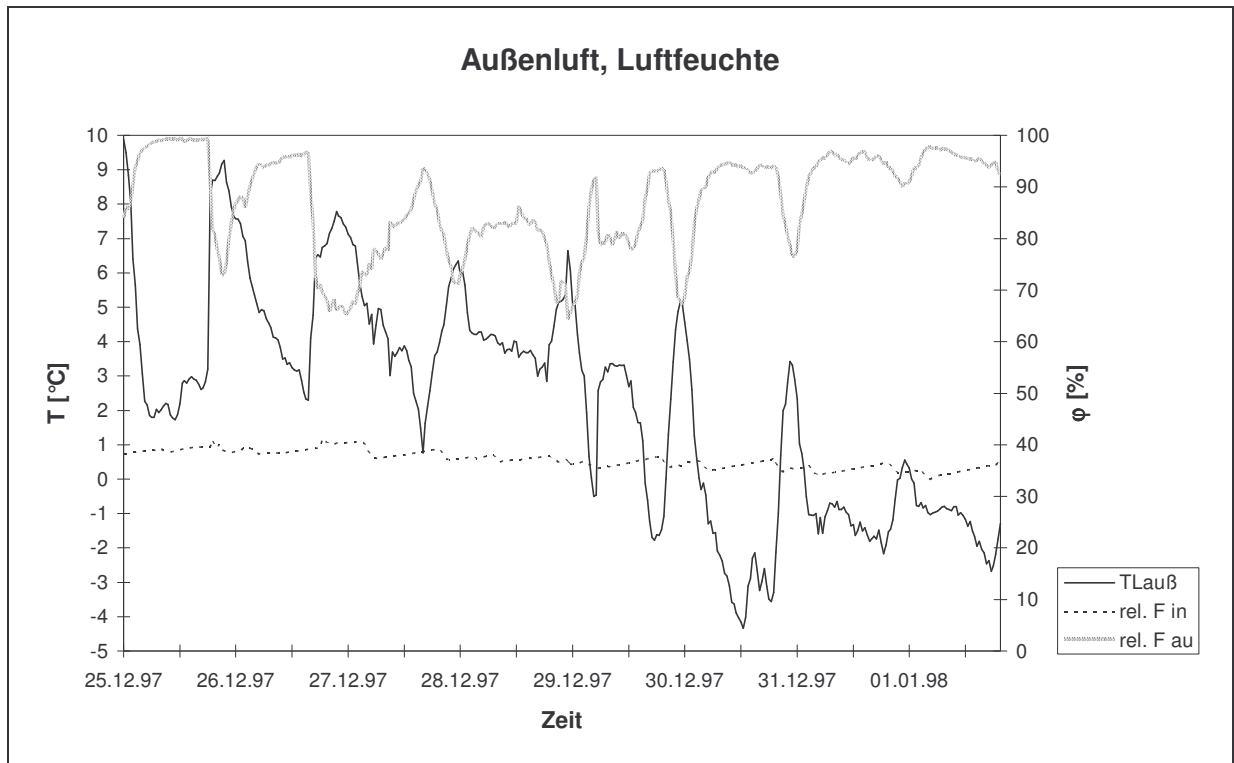


Abbildung 16: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Außentemperatur

Abbildung 16 zeigt die Verläufe der Außenlufttemperatur und der Luftfeuchtigkeiten innen und außen. Man kann aus dieser Abbildung ersehen, daß die Außentemperatur und die Luftfeuchtigkeit außen relativ stark schwankten, während die Luftfeuchtigkeit innen nur geringe Änderungen aufwies. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß kein regelmäßiges Lüften erfolgte.

5.3 Heizkörpermessungen

5.3.1 Beschreibung der Heizkörper

Für die Messungen des Raumklimas bei der Verwendung von Konvektionsheizkörpern wurden Elektrokonvektoren NOBÖ Type GEZ 10 407 der Firma Austria Email AG mit einer Anschlußleistung von 1000 W verwendet, die über einen Thermostat geregelt werden können. Zwei Konvektoren dieser Type wurden unterhalb der beiden Fenster (Abbildung 12 u. 13) positioniert. Drei weitere gleichartige Heizkörper wurden in anderen Räumen angebracht, um auch dort das gewünschte Temperaturniveau zu erreichen.

5.3.2 Meßanordnung

Bis auf die Temperatursensoren zur Bestimmung der Oberflächentemperaturen des Kachelofens gelangte die selbe Anordnung wie beim Kachelofen zur Anwendung (siehe 5.2.1).

5.3.3 Durchführung der Messungen

Die Konvektionsheizkörper wurden auf eine bestimmte Temperatur eingestellt. Anschließend wurden die Meßdaten jede Minute (wegen den gleichzeitig stattfindenden Nutzungsgradmessungen) über einen Zeitraum von mehreren Tagen aufgezeichnet, um einen annähernden Beharrungszustand zu erzielen.

5.3.4 Ergebnisse

Bei den Messungen wurden wiederum verschiedene Temperaturzustände eingestellt. Die Mittelwerte der wesentlichsten Parameter sind der Tabelle 11 zu entnehmen.

Meßreihe ^{*)}	TL ₁ [°C]	TL ₂ [°C]	TL ₃ [°C]	TL ₄ [°C]	TL ₅ [°C]	TL ₆ [°C]	TL _{auß} [°C]
5	18,18	20,18	20,42	18,48	20,24	21,67	1,34
5	22,26	24,77	25,13	22,65	24,86	26,50	9,51
Meßreihe ^{*)}	TW ₁ [°C]	TW ₂ [°C]	TW ₃ [°C]	TW ₄ [°C]	TW ₅ [°C]	TW ₆ [°C]	rel.F _{in} [%]
5	18,82	19,30	19,03	19,60	18,95	17,92	33,52
5	22,98	23,61	23,39	24,08	23,14	21,70	30,18

Tabelle 11: Mittelwerte der wesentlichen Meßergebnisse bei der Konvektionsheizung

Die nachfolgenden Abbildungen stellen beispielhaft den Verlauf der Luft-, Wandtemperaturen sowie der Außenlufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit dar.

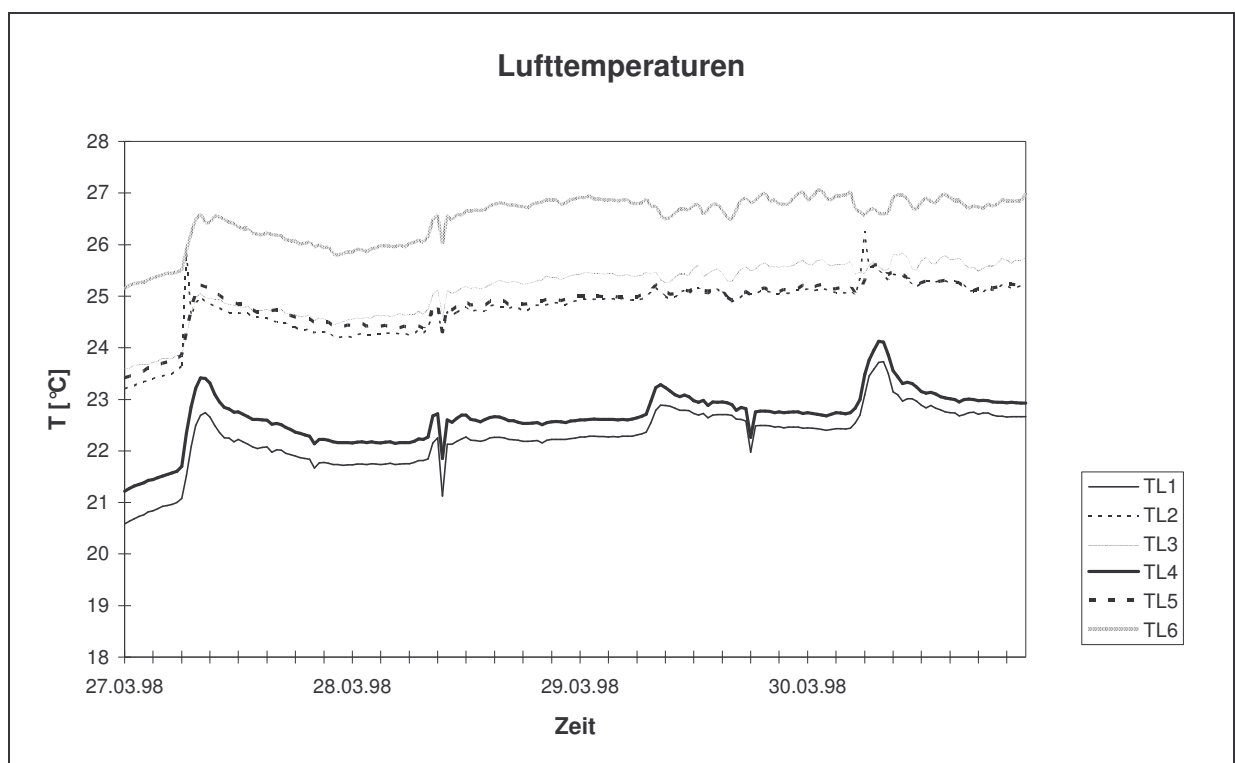


Abbildung 17: Verlauf der Lufttemperaturen bei der Konvektionsheizung

Die Lufttemperaturen zeigen den für Konvektionsheizungen erwarteten Verlauf, der nur geringfügigen Schwankungen unterworfen ist. Die Temperaturspitzen nach unten sind auf die Lüftung des Raumes zurückzuführen. Die Temperaturspitzen nach oben werden durch kurzzeitig auftretende Sonneneinstrahlung erwirkt.

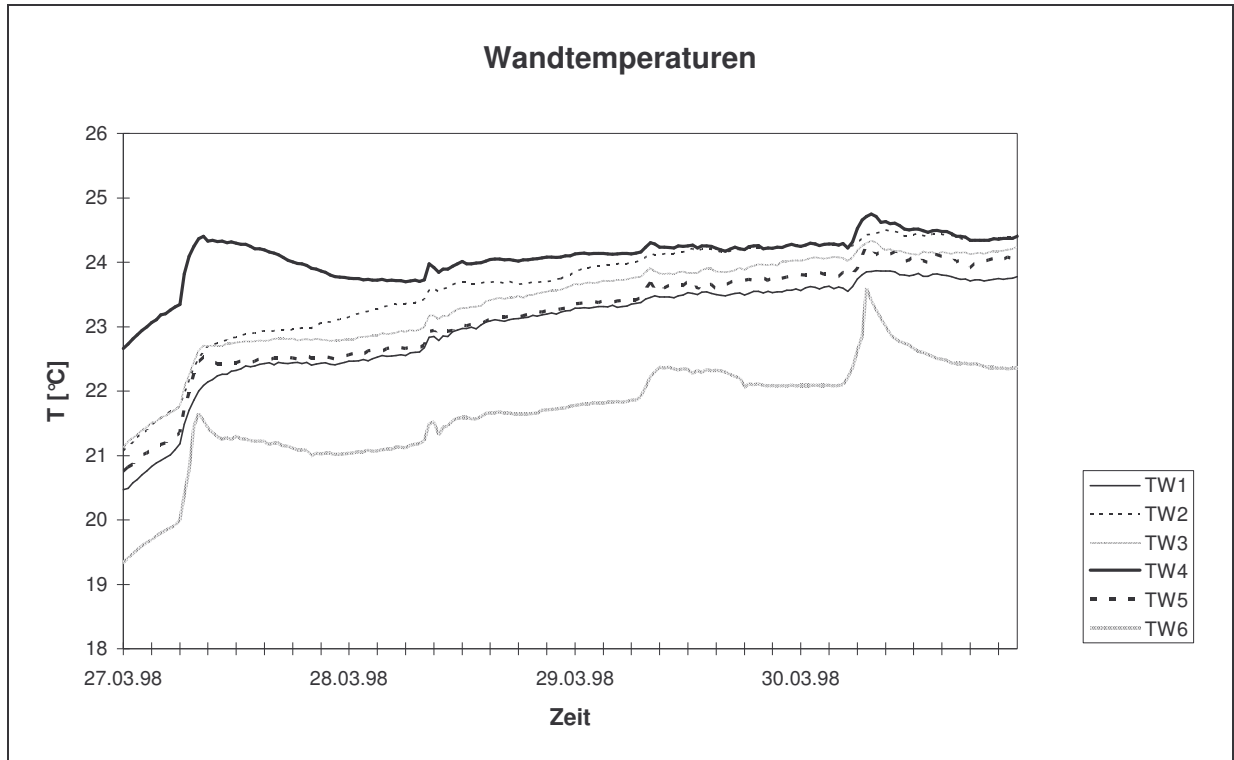


Abbildung 18: Verlauf der Wandtemperaturen bei der Konvektionsheizung

Die Wandtemperaturen zeigen ebenfalls einen Verlauf, der nur geringe Schwankungen aufweist. Die deutlich niedrigste Temperatur wurde am Fußboden (TW₆) gemessen. Die anderen Wandtemperaturen unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Die Temperaturspitzen nach oben sind wie bei den Lufttemperaturen auf die Wirkung der Sonneneinstrahlung zurückzuführen. In besonderem Maße trifft dies auf die Temperatur TW₆ (Fußboden) zu.

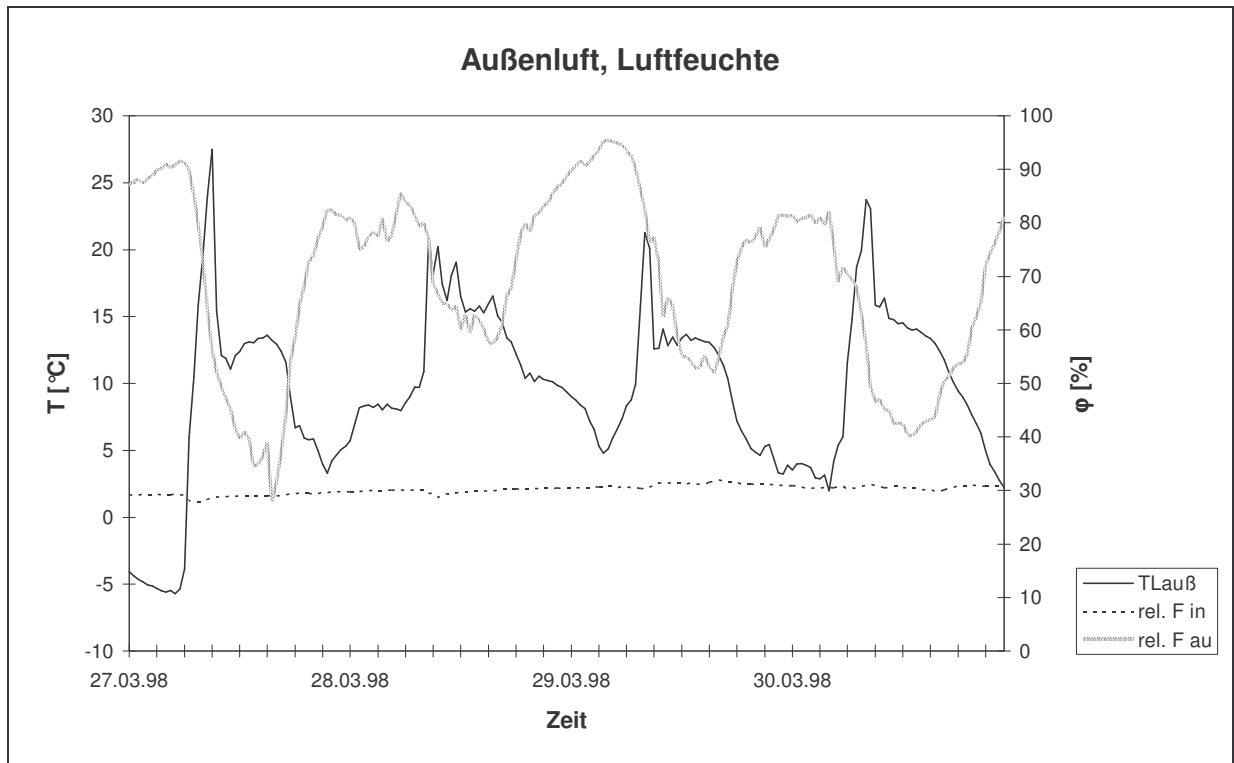


Abbildung 19: Verlauf der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeit (innen, außen)

Aus dieser Abbildung kann man wie auch aus der vergleichbaren beim Kachelofen erkennen, daß die Außentemperatur und die Luftfeuchtigkeit außen stark schwankten, während die Luftfeuchtigkeit innen annähernd konstant blieb. Auch in diesem Fall dürfte dieser Umstand auf den Verzicht einer regelmäßigen Lüftung zurückzuführen sein.

5.4 Vergleich Kachelofen - Konvektionsheizung

Wenn man die raumklimatischen Parameter in bezug auf die Heizsysteme Kachelofen und Konvektionsheizung bewerten will, so sind in erster Linie die auftretenden Temperaturen von Interesse. Eine sehr aufschlußreiche Darstellung zeigt die Abbildung 20. Die mittlere Außentemperatur betrug beim Kachelofen $3,2^{\circ}\text{C}$ und beim Konvektor $1,5^{\circ}\text{C}$.

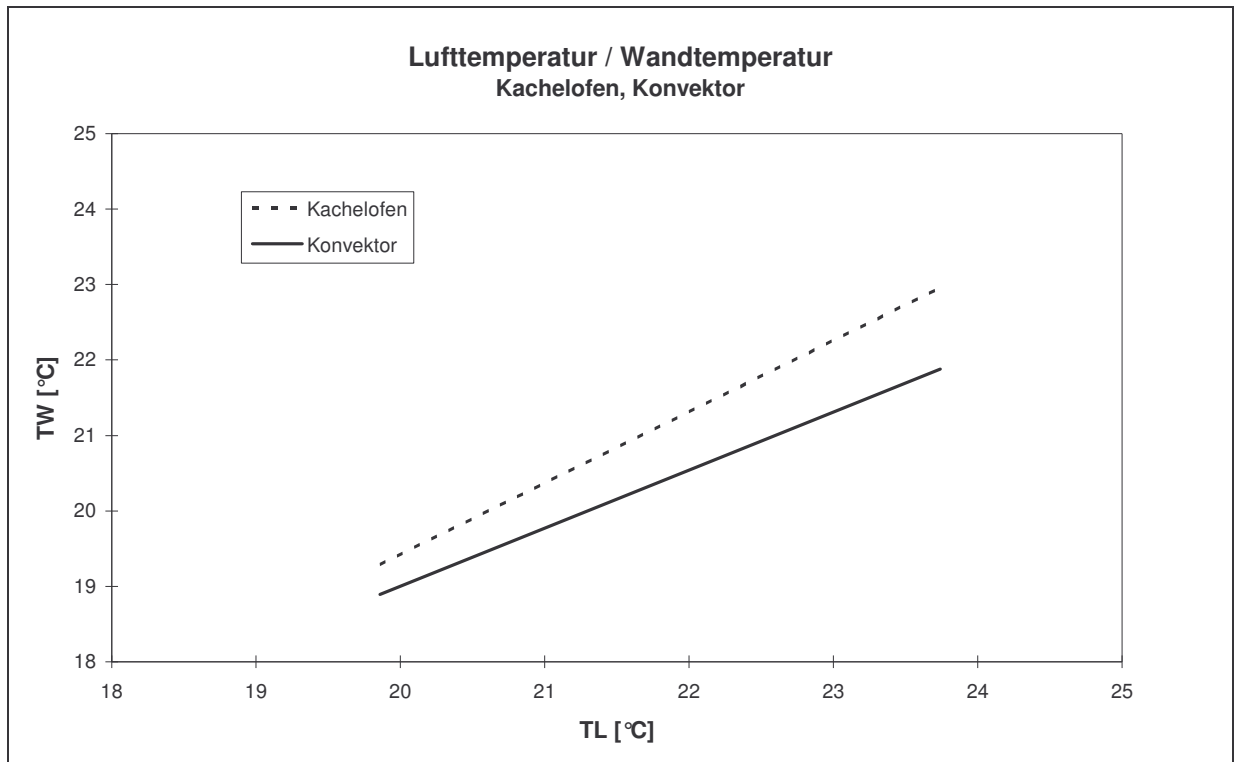


Abbildung 20: Abhängigkeit der Luft- und Wandtemperatur bei Kachelofen und Konvektionsheizung

Man kann anhand dieser Abbildung sehen, daß bei gleicher Lufttemperatur die Wandtemperatur im Fall des Kachelofens höher ist. Das ist gleichbedeutend mit einer geringeren Temperaturdifferenz zwischen Luft und Wand im Fall des Kachelofens. Der Effekt liegt im hohen Strahlungsanteil des Kachelofens, der die Wände direkt erwärmt, begründet.

Die so erhaltenen Temperaturlinien kann man nun in das zutreffende Behaglichkeitsfeld eintragen (Abbildung 21).

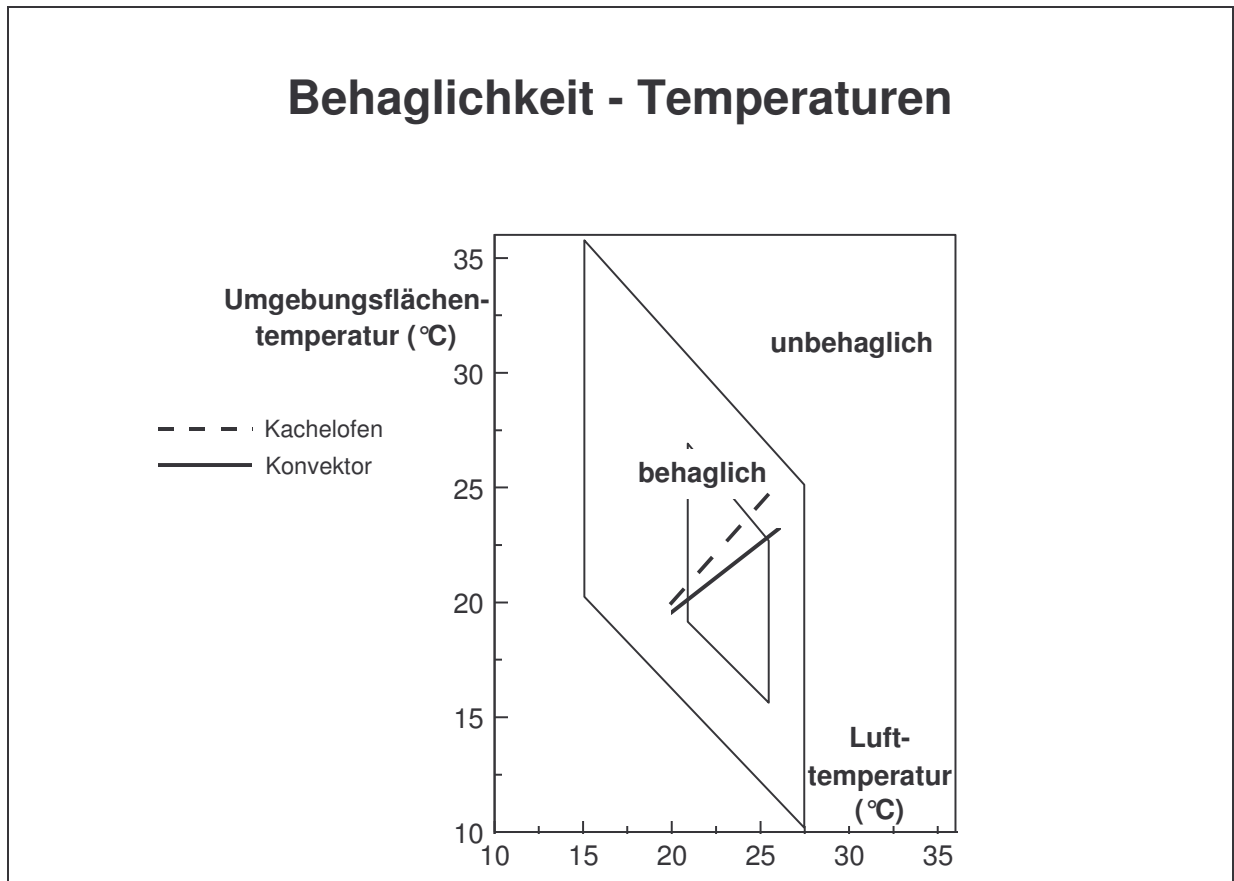


Abbildung 21: Behaglichkeitsfeld Luft-/Wandtemperatur

Die Abbildung 21 zeigt, daß es sowohl für den Kachelofen als auch für den Konvektionsheizkörper möglich ist, klassische Temperatur-Behaglichkeitszustände zu erreichen. Die moderne Literatur (Mayer, 1986, Wyon, 1993) gibt jedoch zu bedenken, daß das Behaglichkeitsfeld zu groß ist. Eine Verkleinerung würde wahrscheinlich zu einer anderen Interpretation führen.

Abbildung 22 zeigt den Temperaturunterschied zwischen der Lufttemperatur in der Nähe der Decke (TL_6) und der Lufttemperatur in der Nähe des Fußbodens (TL_4) für den Fall der Beheizung mit dem Kachelofen und mit der Konvektionsheizung. Das Ergebnis zeigt, daß diese Temperaturdifferenz bei der Konvektionsheizung erheblich größer ist als beim Kachelofen. Das ist insbesondere von großer Wichtigkeit, da eine zu große Temperaturdifferenz zwischen Kopf und Füßen als unbehaglich empfunden wird. Außerdem beurteilen in diesem Fall auch weniger Menschen die Luft als „frisch“ (Olesen, 1979).

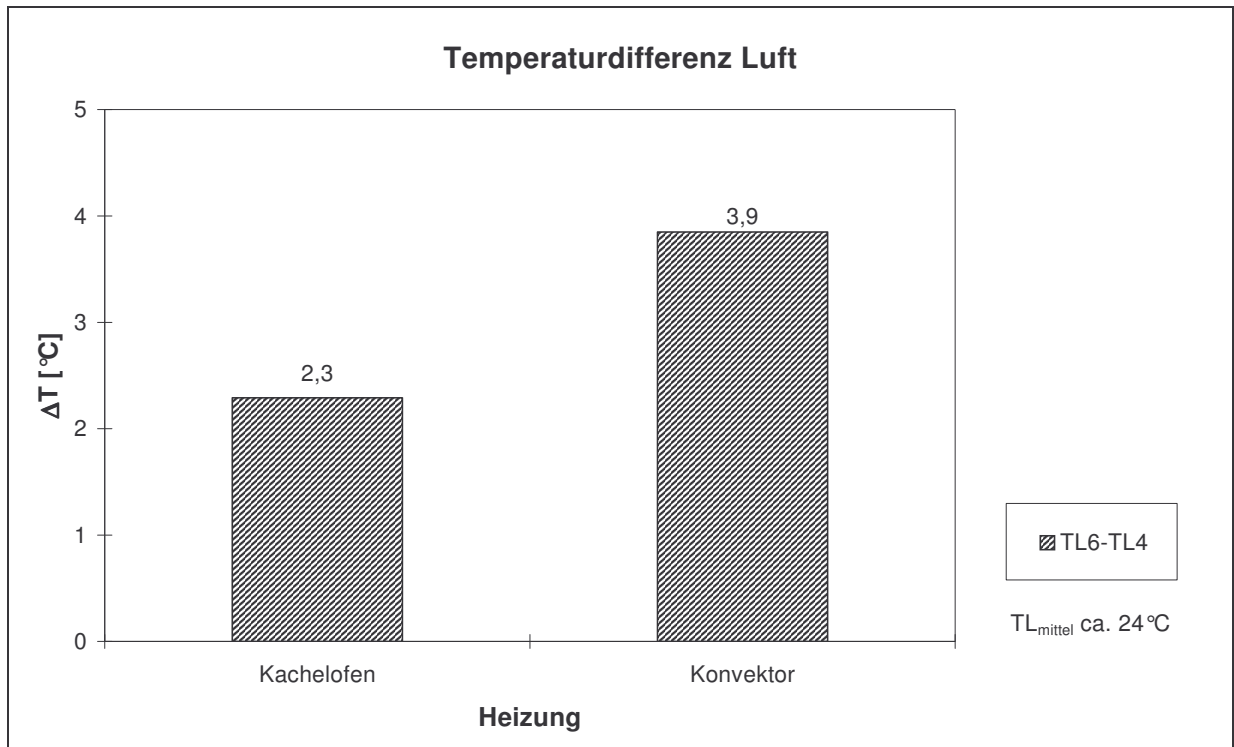


Abbildung 22: Temperaturdifferenz zwischen der Lufttemperatur in der Nähe der Decke und des Fußbodens bei Kachelofen und Konvektionsheizung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die mittlere Luftfeuchtigkeit im Raum für das jeweilige Heizsystem. Um die Werte gut miteinander vergleichen zu können, wurde die annähernd gleiche Temperatur der umschließenden Flächen angenommen (ca. 23°C), da der Mensch sein Behaglichkeitsempfinden primär nach diesem Parameter richtet.

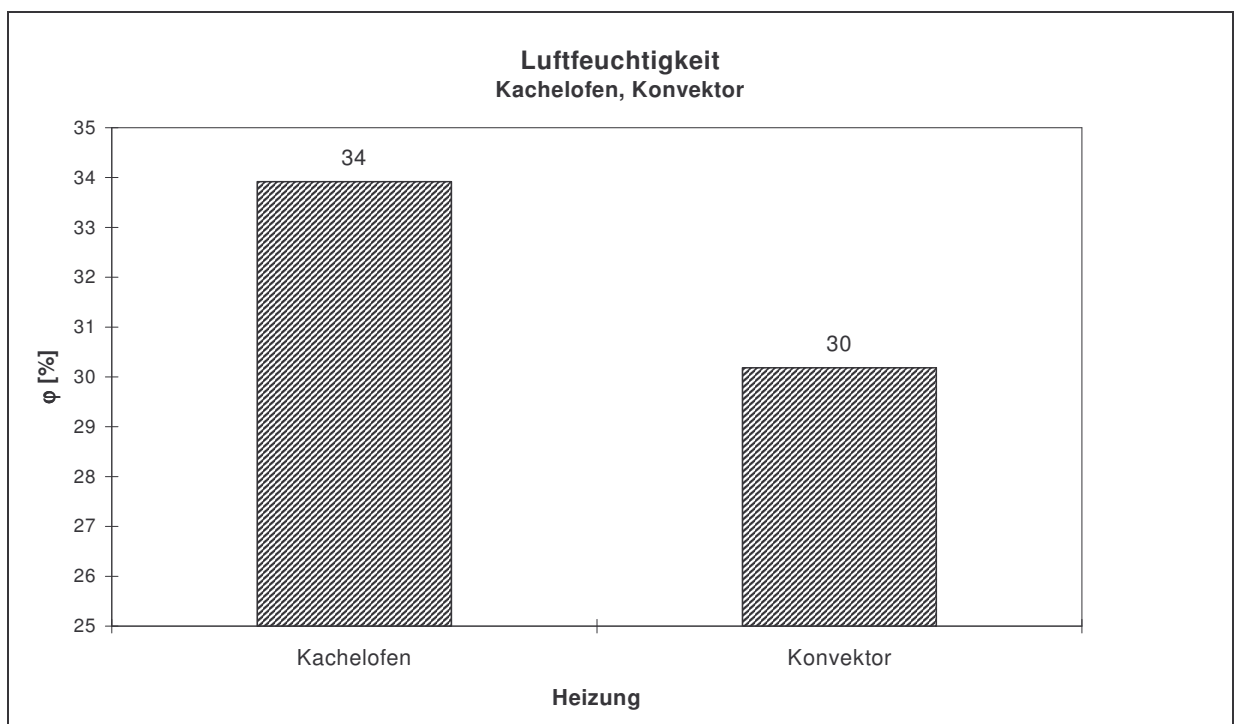


Abbildung 23: Luftfeuchtigkeit bei Kachelofen und Konvektionsheizung

Die Abbildung 23 zeigt einen nennenswerten Unterschied zwischen dem Kachelofen und der Konvektionsheizung. Die Bedeutung dieser Differenz in der Luftfeuchtigkeit wird noch klarer, wenn man die Werte mit dem zutreffenden Behaglichkeitsdiagramm verbindet (Abb. 24).

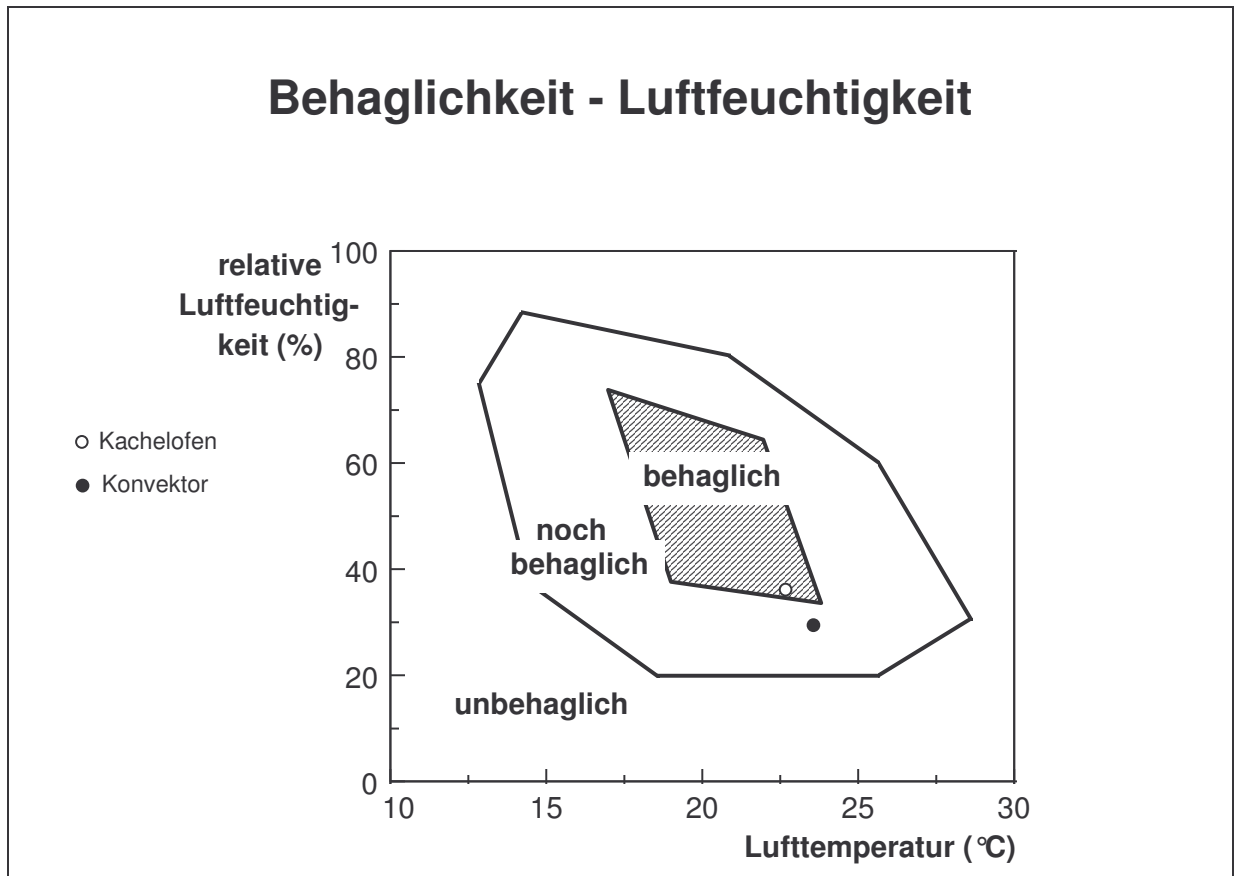


Abbildung 24: Behaglichkeitsdiagramm Luftfeuchtigkeit

Aus dieser Darstellung kann man deutlich erkennen, daß sich die Luftfeuchtigkeiten in der Nähe der unteren Behaglichkeitsgrenze befinden. Die beim Kachelofen gemessene Luftfeuchtigkeit befindet sich noch innerhalb des als behaglich empfundenen Bereiches, während die Luftfeuchtigkeit beim Konvektor bereits außerhalb dieses Bereiches liegt.

5.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Raumklimamessungen in Neuhaus in der Saison 1997/98 bestätigen im wesentlichen die Ergebnisse der Messungen in Brunn/Gebirge, die in der Heizsaison 1995/96 durchgeführt und in der Schriftenreihe Nr. 7 des Österreichischen Kachelofenverbandes „Der Einfluß des Kachelofens auf raumklimatische Parameter und Gesundheit - Projektbericht“ veröffentlicht wurden. Insbesondere konnte durch die Messungen bestätigt werden, daß die Lufttemperaturen bei gleicher Wandtemperatur im Fall des Kachelofens deutlich geringer sind als bei der Konvektionsheizung.

Die neuen Meßergebnisse zeigen aber auch, daß der vertikale Temperaturgradient (nähe Decke - nahe Fußboden) bei einer Beheizung mit einem Kachelofen wesentlich niedriger ist als bei einer Beheizung mit einer Konvektionsheizung, was aus Behaglichkeitsgründen zu begrüßen ist. Die Tatsache, daß bei gleicher Wandtemperatur die Lufttemperatur beim Kachelofen geringer ist, führt auch zu einer geringfügig höheren Luftfeuchtigkeit beim Kachelofen. Das ist vor allem auch deshalb von Bedeutung, weil die Meßergebnisse für die Luftfeuchtigkeit an der unteren Grenze der Behaglichkeit sind.

6 Verzeichnisse

6.1 Literatur

SCHIFFERT T., HOFBAUER H.,
Der Einfluß des Kachelofens auf raumklimatische Parameter und Gesundheit,
Österreichischer Kachelofenverband, Wien, AT, 1997. ISBN.: 3-901680-06-3

MAYER E., Tagesgang für thermisches Behaglichkeitsempfinden,
Gesundheitsingenieur 107, 1986.

OLESEN B. W., SCHOELER M., FANGER P. O., Discomfort caused by vertical air
temperature differences, In: Fanger et. al. (Hg.): Indoor climate, Danish building
Research Institute, Copenhagen, 1979, DK.

WYON D.P., SANDBERG M., Vertical temperature gradients, mean room
temperatures and their effects on thermal discomfort. Research Report TN:35,
Swedish Institute for Building Research, Gävle, 1993, S. ISBN 91-7111-066-6, ISSN
0284-6713

6.2 Abbildungen

Abbildung 1: Grundriß der Wohnung in Neuhaus	7
Abbildung 2: Wärmeverteilung	8
Abbildung 3: Schnitte durch den Solarkollektor	9
Abbildung 4: Schnitte durch den Kachelofen.....	9
Abbildung 5: hydraulische Schaltung	10
Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Oberflächentemperaturen und der wasserseitigen Leistung.....	11
Abbildung 7: Zeitlicher Lufttemperaturverlauf bei 12-Stundenintervall	13
Abbildung 8: Zeitlicher Lufttemperaturverlauf bei 24-Stundenintervall	14
Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf der Wassertemperaturen und der wasserseitigen Leistung.....	15
Abbildung 10: Zeitlicher Nutzungsgradverlauf	21
Abbildung 11: Heizlastvergleich M 7500 - direkt elektrisch.....	23
Abbildung 12: Grundriß des Wohnzimmers incl. Anbringung der Sensoren.....	25
Abbildung 13: Aufriß des Wohnzimmers incl. der Anordnung der Sensoren	25
Abbildung 14: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Lufttemperaturen	27

Abbildung 15: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Wandtemperaturen.....	28
Abbildung 16: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Außentemperatur	29
Abbildung 17: Verlauf der Lufttemperaturen bei der Konvektionsheizung	31
Abbildung 18: Verlauf der Wandtemperaturen bei der Konvektionsheizung.....	31
Abbildung 19: Verlauf der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeit (innen, außen)	32
Abbildung 20: Abhängigkeit der Luft- und Wandtemperatur bei Kachelofen und Konvektionsheizung	33
Abbildung 21: Behaglichkeitsfeld Luft-/Wandtemperatur	34
Abbildung 22: Temperaturdifferenz zwischen der Lufttemperatur in der Nähe der Decke und des Fußbodens bei Kachelofen und Konvektionsheizung	35
Abbildung 23: Luftfeuchtigkeit bei Kachelofen und Konvektionsheizung	35
Abbildung 24: Behaglichkeitsdiagramm Luftfeuchtigkeit.....	36

6.3 Tabellen

Tabelle 1: Meßzeitplan	6
Tabelle 2: Wasserleistung	11
Tabelle 3: Oberflächenleistungsberechnung	12
Tabelle 4: Wärmetausch im Luftspalt	13
Tabelle 5: Vergleich 12-Stunden- und 24-Stundenintervall	14
Tabelle 6: Vor- und Rücklauftemperaturen.....	15
Tabelle 7: Nutzungsgrad eines Kachelofens (Heizlast nach ÖNORM M 7500).....	22
Tabelle 8: Nutzungsgrad eines Kachelofens (Heizlast direkt elektrisch)	23
Tabelle 9: Verwendete Sensoren	24
Tabelle 10: Mittelwerte der wesentlichen Meßergebnisse beim Kachelofen	26
Tabelle 11: Mittelwerte der wesentlichen Meßergebnisse bei der Konvektionsheizung	30

6.4 Gleichungen

$$\eta_{RW} = \eta_K \cdot \frac{\left(1 - \frac{q_B}{f_B}\right)}{1 - q_B} \cdot \eta_V \quad (\text{Glg. 1}) \dots\dots\dots 19$$

$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{\text{theoretisch notwendige Energie}}{\text{eingesetzte Energie}} \quad (\text{Glg. 2}) \dots\dots\dots 19$$

$$\text{Theoretisch notwendige Energie im Zeitintervall} = \text{mittlere Heizlast} * \text{Zeitintervall} \quad (\text{Glg. 3}) \dots\dots\dots 20$$

$$\text{Eingesetzte Energie} = \text{Masse des benötigten Holzes im betrachteten Zeitabschnitt} * \text{Heizwert} \quad (\text{Glg. 4}) \dots\dots\dots 20$$

7 Anhang

Bisher sind im Rahmen der Schriftenreihe des Österreichischen Kachelofenverbandes folgende Werke erschienen:

- Nr. 1 Bemessung von Kachelöfen
- Nr. 2 Ökologischer Vergleich der Brennstoffe Erdgas, Erdöl und Holz
- Nr. 3 KACHELOFEN 2000 - Raumklima und Gesundheit
- Nr. 4 KACHELOFEN 2000 - Die Zukunft des Kachelofens
- Nr. 5 KACHELOFEN 2000 - Technische Entwicklungen der Holzverbrennung im Kachelofen
- Nr. 6 Typenprüfung Kachelofen
- Nr. 7 Der Einfluß des Kachelofens auf raumklimatische Parameter und Gesundheit - Projektbericht
- Nr. 8 Auslegung keramischer Speicher
- Nr. 9 Kachelherdentwicklung - Projektbericht
- Nr. 10 Geschichte des Österreichischen Kachelofenverbandes
- Nr. 11 Projekt Neuhaus - Ganzhausheizung, Jahresnutzungsgrad, Raumklimamessungen
- Nr. 12 Ganzhausheizung aus Hafnerhand - Grundlagen
- Nr. 13 Der Kachelofen in der Praxis – Vorortmessungen bei Kachelöfen