

Passiv-Verwaltungsgebäude: Erste Betriebserfahrungen mit dem Wagner-Passiv-Solarhaus

A. Spieler, R. Wagner, K. Schweitzer¹, S. Beisel, K. Tent¹, K. Vajen
 Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Physik
 Renthof 5, 35032 Marburg, Tel. 06421/282-4131 Fax -6535
¹Wagner & Co Solartechnik
 Ringstraße 14, D-35091 Cölbe, Tel. 06421/8007-337 Fax -200
Arbeitsgruppe: 6, Kategorie: Vortrag

Einführung

In Cölbe bei Marburg erstellte die Firma Wagner & Co Solartechnik ein Verwaltungsgebäude im Passivhausstandard, das seit September 1998 in Betrieb ist. Die Wärmedämmmaßnahmen an diesem europaweit ersten Verwaltungsgebäude im Passivhausstandard sollen in Kombination mit der aktiven Lüftung und der hocheffizienten Wärmerückgewinnung (WRG) für den niedrigen Heizenergiebedarf sorgen [ISES99].

Die Lüftungsanlage dient während der Heizperiode zur Erwärmung der insgesamt neun Zonen im Haus, wobei das Prinzip wie folgt ist. Nachdem die Frischluft den Erdreichwärmeübertrager und die WRG passiert hat, gelangt sie in das zentrale Vorheizregister, das aus einem Luft-Wasser-Wärmeübertrager (Nennleistung: 42 kW) besteht. Darüber hinaus verfügt jede der neun Zonen ebenfalls über Luft-Wasser-Wärmeübertrager (Nennleistungen zwischen 2 und 6 kW) zur dezentralen Erwärmung der Zuluft auf maximal 40 °C, vgl. Abbildung 1.

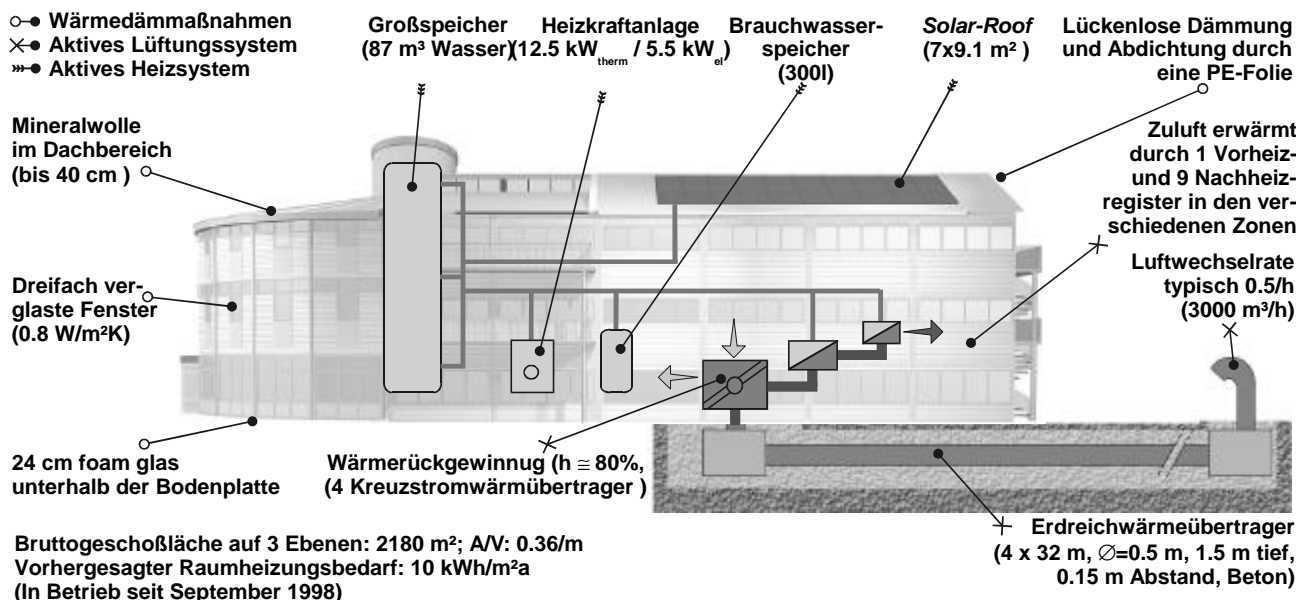


Abb. 1: Skizze des Passivhauses und der wichtigsten wärmetechnischen Komponenten: Gute Wärmedämmung sorgt in Kombination mit einem aktiven Lüftungssystem und einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung für einen niedrigen Heizenergiebedarf.

Zur detaillierten Vermessung des aktiv-solaren Heizsystems, das von einem BHKW gestützt wird, der Solaranlage sowie der Raumtemperaturen sind im Gebäude über 200 Temperaturfühler und etwa 20 Volumenstrommeßgeräte installiert. Darüber hinaus werden Klimadaten erfaßt ebenso wie Stellgrößen (z.B. Ventilstellungen und Pumpensignale) in der Hydraulik. Um Meßgrößen sowohl zur wissenschaftlichen Auswertung als auch zur Regelung innerhalb des Gebäudes heranzuziehen, erfolgt die Sammlung der Meßdaten mittels eines Gebäudeleitsystems (DDC). Einmal in der Minute werden alle Meßgrößen der insgesamt 22 DDC-Module auf einem PC abgespeichert.

Seit Frühjahr 1999 laufen die Messungen an den über 240 Meßstellen weitgehend lückenlos.

Heizungsregelung

Im Haus befinden sich hinsichtlich der Auslegung des Lüftungssystems, das auch zur Luftheizung herangezogen werden kann, neun thermische Zonen, die sich zum Teil stark bezüglich ihres Heizbedarfes unterscheiden, vgl. auch Abbildung 2. Schon bei der Dimensionierung der Luft-Wasser-Wärmeübertrager in den Nachheizregistern wurde versucht, dieser Tatsache Rechnung zu tragen.

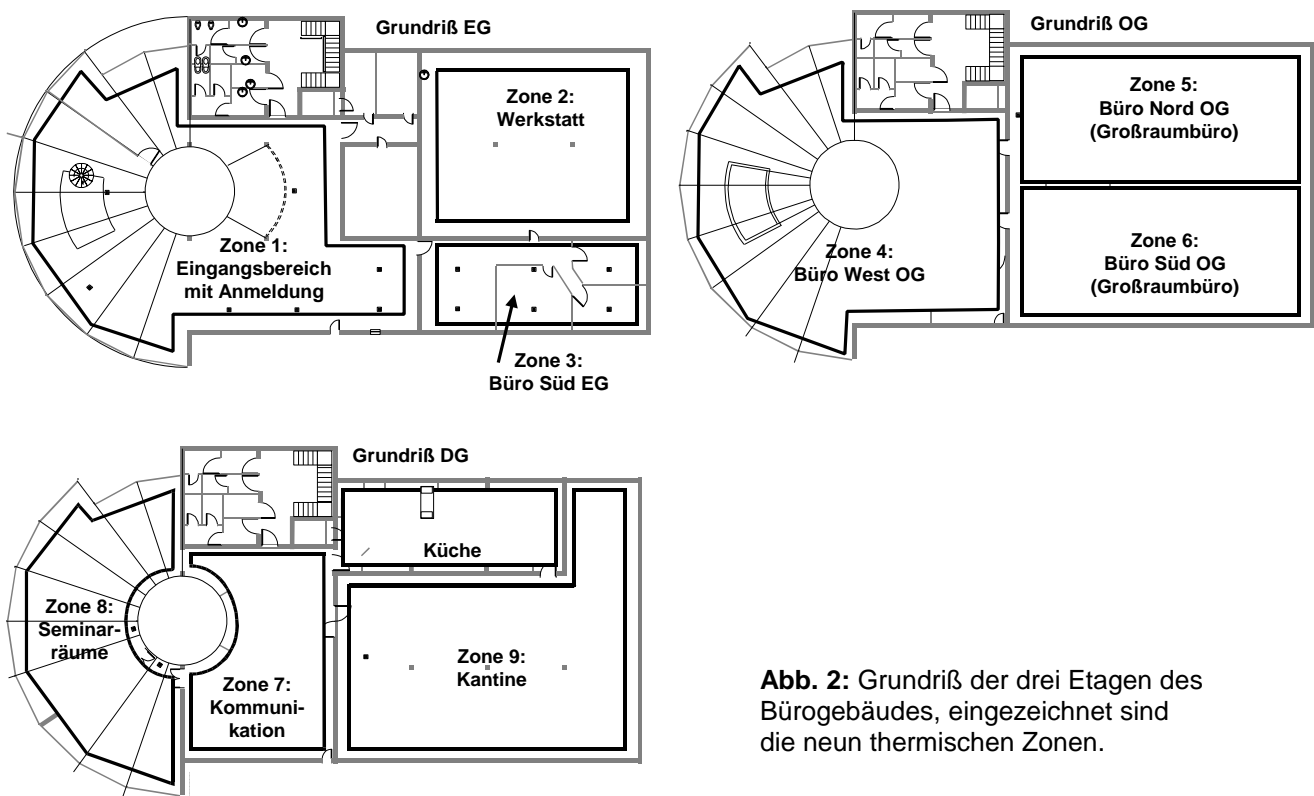


Abb. 2: Grundriß der drei Etagen des Bürogebäudes, eingezeichnet sind die neun thermischen Zonen.

Waren in der Heizperiode 98/99 noch Regelschemata implementiert, die von der DDC-Firma programmiert worden waren und nicht zu akzeptablen Verhältnissen führten, wurden vor Beginn der Heizperiode 1999/2000 in den Nachheizregistern (NHR) und im zentralen Vorheizregister (VHR) nun den Anforderungen der jeweiligen Zone entsprechend unterschiedliche Regelungen implementiert.

Das Gerüst dieser Regelungen läßt sich wie folgt beschreiben, vgl. auch Abbildung 3.

Um den jeweiligen Heizbedarf möglichst effizient zu decken, wird die Zuluft zentral im VHR auf das Minimum der von den neun Zonen jeweils angeforderten Zuluft-Sollwerte erwärmt.

Proportional zur Differenz aus Momentanwert und diesem Minimum definiert sich die Stellung des wasserseitigen Mischers M1, die über das PID-Modul PID1 eingeregelt wird, und damit der Wasservolumenstrom; die erforderliche Wasservorlauftemperatur berechnet sich ebenfalls aus der geforderten Zulufttemperatur. Diese regelt ein zentraler Mischer, wobei auf das Maximum der vom Vor- und den neun Nachheizregistern geforderten Wasservorlauftemperaturen eingeregelt wird.

In den NHR werden im PID Modul PID2 der Raummittelwert der Zone und der Raum-Sollwert miteinander verglichen und resultieren in einem der Differenz proportionalen Zuluft-Sollwert. Dieser Wert wird im PID-Modul PID3 mit der realen Zulufttemperatur verglichen. Proportional zur Abweichung wird der wasserseitige Volumenstrom variiert, während der Luftvolumenstrom konstant bleibt. Die Wasservorlauftemperatur berechnet sich wie schon im VHR direkt aus der geforderten Zulufttemperatur.

Um nun Auswirkungen und auch Variationen der beschriebenen Regelung der NHR zu testen, wurden drei Zonen ausgewählt:

1. Büro Süd im EG: Es handelt sich um eine Bürozone, also mit einer für das Gebäude typischen Nutzung. Da es aber kein Großraumbüro ist, haben die internen Gewinne zwar einen merklichen Einfluß, aber die Zone hat trotzdem während der Winterperiode stets einen Heizbedarf.
2. Eingangsbereich mit Anmeldung im EG: Diese Zone stellt einen Extremfall hinsichtlich des Heizbedarfs dar. Durch die offene Bauweise ist diese flächenmäßig große Zone mit den oberen beiden Etagen verbunden, zudem hat sie durch eine doppelte Schiebetür Außenkontakt. Aufgrund der geringen Belegung und der marginalen internen Gewinne ist der Heizbedarf vergleichsweise sehr hoch.
3. Werkstatt: Neben leichter körperlicher Arbeit gibt es hier auch PC-Arbeitsplätze. Trotz der internen Gewinne verbleibt jedoch ein Heizbedarf.

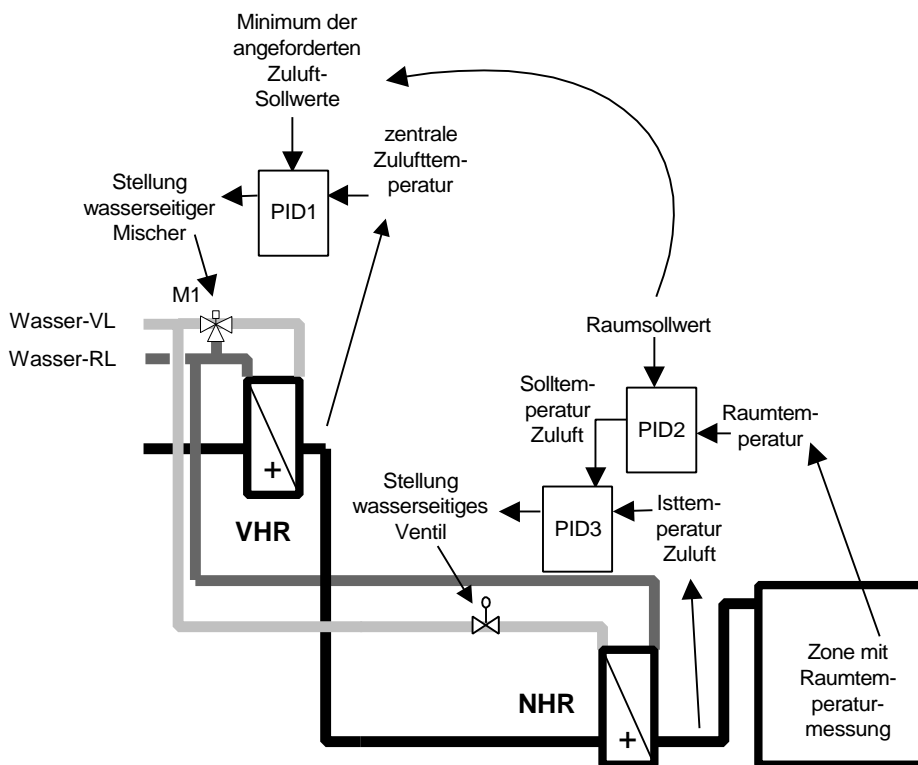


Abb. 3: Im zentralen Vorheizregister wird die Zuluft auf das Minimum der angeforderten Zuluftsollwerte erwärmt, in den Nachheizregistern findet dezentral nach Vergleich des Raumistwerts mit dem Raumsollwert eine Nacherwärmung durch Regulierung des wasserseitigen Ventils statt. Die wasserseitige Vorlauftemperatur berechnet sich aus der geforderten Zulufttemperatur.

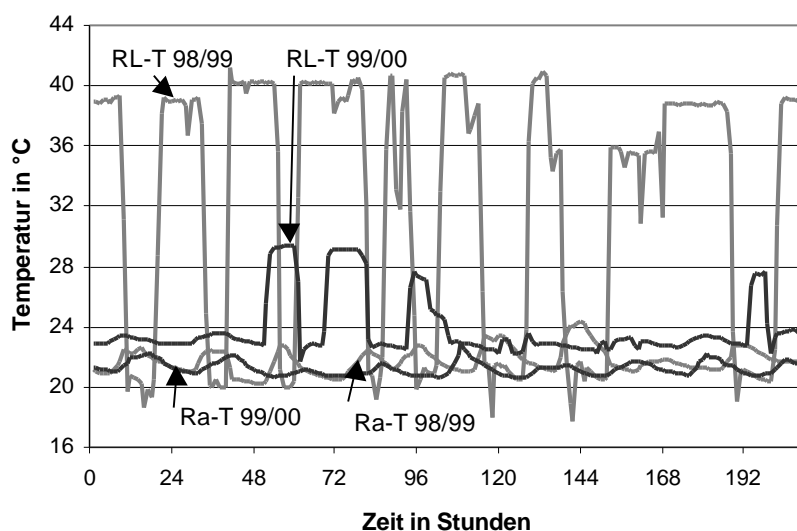
Auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Regelstrategie, die z.B. in der Zone Büro Süd EG implementiert ist, wurde zum Vergleich in der Werkstatt der Betrag der wasserseitigen Vorlauftemperatur an die Außentemperatur gekoppelt, Wasservolumenstrom und Zulufttemperatur werden wie in Büro Süd EG eingeregelt.

Während sich im Betrieb keine Besonderheiten zeigen, können quantitative Aussagen über die Heizlast der Werkstatt im Vergleich zur oben beschriebenen Grundregelstrategie erst nach Ende der Heizperiode getroffen werden.

Vergleicht man für die Zone Büro Süd (EG) den Heizenergiebedarf mit den verfügbaren Meßwerten aus dem letzten Jahr, so hat sich der durchschnittliche Bedarf von ca. 20 kWh auf etwa 11 kWh pro Tag halbiert. Diese drastische Verringerung bei praktisch konstant gebliebener mittlerer Raumtemperatur ist wohl vor allem auf die konsequente Nutzung des Vorheizregisters zur zentralen Vorerwärmung der Zuluft zurückzuführen. Da Vergleichswerte aus dem Vorjahr fehlen, läßt sich diese Aussage nicht quantifizieren. In der Zone Werkstatt zeigt sich ebenfalls eine Verringerung des Heizenergiebedarfs: Obwohl die mittlere Raumtemperatur um fast 2 K auf 21.4 °C stieg (was von den dort Beschäftigten begrüßt wird), sank der mittlere Heizenergiebedarf von 13.3 kWh auf 9.6 kWh am Tag.

Weiterhin ist auffallend, daß während der Heizperiode 1998/99 die luft- und wasserseitigen Temperaturen ebenso wie die Raumtemperatur sehr viel größeren Schwankungen unterworfen und zum Teil auch starke Regelschwingungen zu beobachten waren. Wieder am Beispiel der Zone Büro Süd EG betrachtet, betrug im Winter 98/99 die Standardabweichung der wasserseitigen Rücklauftemperatur 9.7 K, im Winter 99/2000 lag sie nur noch bei 7.5 K, außerdem sank der Mittelwert von 30.3 °C auf 27.7 °C. Bei der Zulufttemperatur sank der Mittelwert von 32.2 °C auf 28.9 °C ab, die Standardabweichung verringerte sich von 12.3 K auf 10.0 K.

Abbildung 4 spiegelt diesen Sachverhalt noch einmal wieder.



RL-T 98/99:
Rücklauftemperatur der
Heizperiode 1998/99,
RL-T 99/00:
Rücklauftemperatur der
Heizperiode 1999/2000;

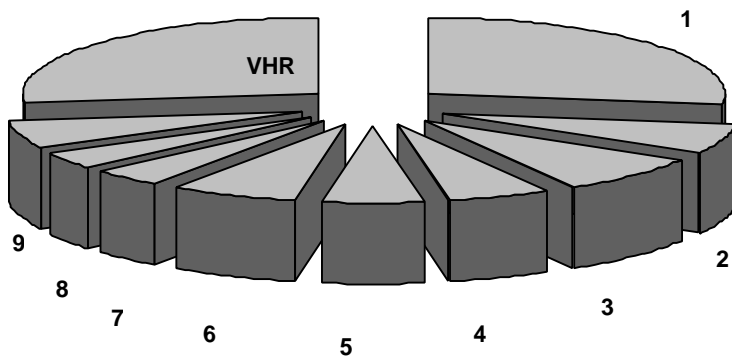
Ra-T 98/99:
Raumtemperatur aus der
Heizperiode 1998/99,
Ra-T 99/00:
Raumtemperatur aus der
Heizperiode 1999/2000.

Abb. 4: Vergleich von Stundenmittelwerten der Rücklauftemperatur und der Raumtemperatur der Zone Büro Süd (EG) aus der Heizperiode 1998/99 und 1999/2000.

Gebäudeheizlast

In der Heizperiode 1999/2000 betrug die mittlere Heizlast etwa 7 kW und die maximale rund 20 kW, was einem spezifischen Wert von etwa 10 W/m² entspricht. Wie in Abbildung 5 dargestellt ist der zonale Anteil daran sehr unterschiedlich: Während der Anteil der Bürozonen aufgrund der internen Gewinne gering ist - insbesondere gilt das für die Großraumbüros Büro Süd und Büro Nord im OG -, beträgt der Anteil der Zone Eingangsbereich mit Anmeldung fast 30 %. Der geringe Anteil der Zonen Kommunikation und Seminarräume ist im wesentlichen auf ihre temporäre Nutzung zurückzuführen.

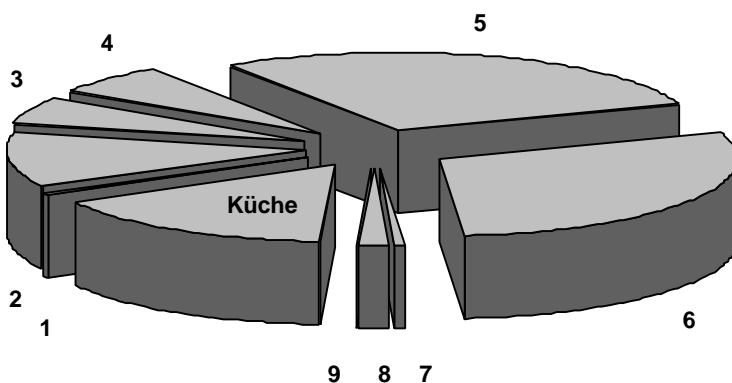
Die Bedeutung der internen Gewinne wird deutlich, wenn man die zonalen Anteile an der Gesamtstromlast in Abbildung 6 betrachtet. Erwartungsgemäß dominieren hier die genannten Großraumbüros mit jeweils fast 30%, während die Zone Eingangsbereich mit Anmeldung einen verschwindend geringen Anteil von knapp einem Prozent hat.



Anteile der Zonen an der Heizlast:

VHR:	26.7 %
Zone 1 (Eingangsbereich):	27.1 %
Zone 2 (Werkstatt):	6.2 %
Zone 3 (Büro Süd EG):	8.5 %
Zone 4 (Büro West OG):	5.4 %
Zone 5 (Büro Nord OG)	5.7 %
Zone 6 (Büro Süd OG):	6.9 %
Zone 7 (Kommunikation):	3.9 %
Zone 8 (Seminarräume):	3.7 %
Zone 9 (Kantine):	6.0 %

Abb. 5: Anteile der neun Zonen des Hauses an der Gesamtheizlast ohne Einbeziehung des jeweiligen Stromverbrauchs.



Anteile der Zonen an der Gesamtstromlast:

Küche:	15.7 %
Zone 1 (Eingangsbereich):	0.6 %
Zone 2 (Werkstatt):	11.5 %
Zone 3 (Büro Süd EG):	5.5 %
Zone 4 (Büro West OG):	6.2 %
Zone 5 (Büro Nord OG):	29.0 %
Zone 6 (Büro Süd OG):	29.0 %
Zone 7 (Kommunikation):	0.8 %
Zone 8 (Seminarräume):	1.6 %
Zone 9 (Kantine):	0.1 %

Abb. 6: Anteile der neun Zonen an der Gesamtstromlast.

Zur detaillierteren Beurteilung des Heizbedarfes – insbesondere im Vergleich zum letzten Jahr – sollen als Klimadaten die Umgebungstemperatur und die Globalstrahlung herangezogen werden. Als Grundlage für alle weiteren Betrachtungen wurden beide Größen in den jeweiligen Heizperioden einem Verteilungstest unterzogen (mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests unter [SPSS]). Es ergaben sich jeweils Normalverteilungen. Weiterhin wurde für die jeweilige Heizperiode die Korrelation der Heizlast zur Umgebungstemperatur sowie zur Globalstrahlung überprüft (mittels des Pearson-Koeffizienten).

Es ergaben sich dabei jeweils unterschiedliche Ergebnisse. So ist die Last in der Heizperiode 1998/99 an Werktagen wie auch an Wochenenden mit der Umgebungstemperatur sehr signifikant korreliert, an Werktagen existiert zudem eine sehr signifikante Korrelation zwischen der Globalstrahlung und der Last.

Bei der Auswertung der entsprechenden Daten der Heizperiode 1999/2000 ergibt sich ein anderes Bild. Es ergibt sich eine Korrelation zwischen Globalstrahlung und Heizlast, allerdings nur signifikant. Keine Korrelation besteht in diesem Zeitraum zwischen der Heizlast und der Umgebungstemperatur.

Um diese Aussagen miteinander vergleichen zu können, muß man jedoch berücksichtigen, daß in der Heizperiode 1999/2000 bis zum Zeitpunkt der Auswertung überwiegend milde Temperaturen mit geringer Einstrahlung vorherrschten, während in der Heizperiode 1998/1999 auch deutliche niedrigere Umgebungstemperaturen herrschten.

Zum Vergleich der mittleren Heizlast wurde daher vergleichbare Intervalle der Klimadaten betrachtet. Zugrundegelegt wurde dafür das Intervall plus minus eine halbe Standardabweichung um den Mittelwert der Normalverteilung der Umgebungstemperatur aus der Heizperiode 1998/99. In diesem Intervall lagen 40 % der Werte der genannten Heizperiode und 60 % der Werte der Heizperiode 1999/2000. Bei den zugehörigen Lastwerten ergibt sich eine sehr signifikante Korrelation zur Umgebungstemperatur für beide Heizperioden. Ein Vergleich der Mittelwerte und Varianzen (Durchführung des t-Tests) liefert sowohl für diese speziell ausgewählten Lastwerte als auch für die Gesamtwerte keinen signifikanten Unterschied.

Dies verdeutlicht offenbar die „Gutmütigkeit“ des Gebäudes, was das thermische Verhalten angeht: Selbst die zum Teil sehr mangelhaften Regelstrategien der letzten Heizperiode hatten für die Raumheizung hinsichtlich der Gesamtlast keinen nennenswerten Einfluß.

Die vorgestellten Meßergebnisse bestätigen somit die Richtigkeit des Hauskonzeptes: Die maximale Heizlast in der Heizperiode 1999/2000 liegt bislang bei 10 W/m², hochgerechnet würde dies einen Jahresheizbedarf in der Größenordnung von etwa 11 kWh/(m²a) bedeuten.

Danksagung

Wolfgang Feist und Jürgen Schnieders vom Passivhaus Institut Darmstadt sei für die gute Zusammenarbeit gedankt.

Die Forschungsarbeiten werden unterstützt vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie (Förderkennzeichen 0335006L).

Literatur

[ISES99] Wagner, R.; Spieler, A.; Vajen, K.; Beisel, S.: Passive Solar Office Building: Results of the First Heating Period. ISES Solar World Congress, Jerusalem (Israel), 1999.

[SPSS] SPSS Version 8.0, SPSS GmbH Software, München 1998.