

WOHNBAUFORSCHUNG  
NIEDERÖSTERREICH;  
WOHNBAUFORSCHUNGSERFASSUNG 2006

ERFASSUNGSNUMMER: 822065

SIGNATUR: WBF2006 822065

KATALOG: A, INDEX ST. PÖLTEN

STATUS: 22 2

BESTART: E

LIEFERANT: WOHNBAUFORSCHUNG  
DOKUMENTATION 2006, WBF2006,  
WBFNOE

ERWAR: B

EXEMPLAR: 1

EINDAT: 2006-01-24ej

BDZAHL: 1 Mappe

HAUPTETRAGUNG: ÖKO - Hausevaluierung

TYP: 1

VERFASSEN – VORL: Mag. Hermann J. Jahrman, ECOTECH  
Bauphysik & Energietechnik Software  
GmbH

NEBEN – PERSONEN: DI Johann Spiessberger, DI Sylvia  
Reisinger

NEBEN – SACHTITEL: Langzeitevaluierung von Niedrigenergie-  
und Passivhäusern

ZUSÄTZE: F 2065

VERLAGSORT, BEARBEITERADRESSE: ECOTECH Bauphysik &  
Energietechnik Software GmbH,  
Kapuzinerstraße 84e, 4020 Linz;  
www.ecotech.cc

**VERLAG, HERAUSGEBER:** Eigenverlag

**E-Jahr:** 2006

**UMFANG:** 2 Seiten Abstract + 14 Seiten  
 Zusammenfassung + 189 Seiten  
 Endbericht

**FUSSNOTEN HAUPTGRUPPEN ABGEKÜRZT:** BOGL, TEGL

**SACHGEBIET(E)/ EINTEILUNG**  
**BMWA:** Energie,  
**ARBEITSBEREICH (EINTEILUNG NACH F-971, BMWA):** Baumethoden, Technik, Information und Demonstration

**SW – SACHLICHE (ERGÄNZUNG)** Baubiologie, Erdwärme, Haus, Solarenergie

**PERMUTATIONEN:** S1 / S2

**BEDEUTUNG FÜR NIEDERÖSTERREICH:**  
 Das vorliegende Forschungsprojekt beinhaltet die vergleichende Langzeit-Evaluierung von zwei Einfamilienhäusern in Niedrighausqualität und Passivhausqualität in Niederösterreich zur Darstellung der Effizienz energiesparender Maßnahmen.

**BEDEUTUNG FÜR DEN WOHNBAUSEKTOR:**  
 Zusätzlich zur Langzeit-Evaluierung sollten mustermäßige Betrachtungen zum Einfluss des Benutzerverhaltens sowie die Dokumentation tatsächlich erzielbarer Energieverbrauchswerte im Vergleich zu theoretischen Berechnungen erfolgen. Diese vergleichende Beobachtung soll eine Datengrundlage für eine praxisbezogene Beurteilung der Auswirkung eingesetzter Fördermittel sein.

**Hinweis:** Aufgrund von Messungen bei privaten Gebäuden kann aus Datenschutzgründen nur eine Zusammenfassung (Kurzbericht) des Endberichtes veröffentlicht werden.

# ÖKO - Hausevaluierung

## Langzeitevaluierung von Niedrigenergie- und Passivhäusern

im Auftrag von:

Amt der NÖ Landesregierung, Abt. F2-A, B Wohnbauforschung  
Forschungsprojekt F2-B-F-2065



### ENDBERICHT

Mag. Hermann J. Jahrman  
Dipl.-Ing. Johann Spiessberger  
Dipl.-Ing. Sylvia Reisinger

ECOTECH Bauphysik & Energietechnik Software GmbH  
Kapuzinerstraße 84e, 4020 LINZ  
[www.ecotech.cc](http://www.ecotech.cc)

## Danksagung

Die Durchführung dieses interessanten Forschungsprojektes hat bei vielen Projektpartnern sehr positive Aufnahme gefunden. Wir bedanken uns bei allen Institutionen und Organisationen, Lieferanten und vor allem bei allen Mitarbeitern die zum Gelingen dieses Projektes beigetragen haben. Bei der Technischen Universität Graz, Institut für Hoch- und Industriebau, Institut für Gebäude und Industrie, Institut für Wärmetechnik, bedanken wir uns für die Betreuung von Diplomarbeiten zu Teilgebieten des Projektes. Für finanzielle Unterstützung danken wir der Raiffeisenlandesbank Niederösterreich-Wien. Unser besonderer Dank gilt natürlich unserem Auftraggeber, dem Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Wohnbauforschung, durch den dieses Projekt überhaupt erst möglich wurde.

Und natürlich danken wir den Bewohner der Forschungshäuser ganz besonders für Ihr Verständnis und Ihre Kooperation bei allen durchgeführten Arbeiten.

In der Folge listen wir die wichtigsten Projektpartner und Unterstützer in unserem Forschungsprojekt und sprechen nochmals unseren Dank aus:

### **Auftraggeber und Finanzierung:**

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Wohnbauforschung

### **Weitere finanzielle Unterstützung:**

Raiffeisenlandesbank Niederösterreich-Wien

**Betreuung von Diplomarbeiten:**

Dipl. Ing. Johann Spiessberger:

*Evaluierung eines Passivhauses in Niederösterreich*, TU Graz 2002,

Betreuung durch:

Mag. Dipl.-Ing. Dr. iur. Dr. techn. Peter Kautsch und

Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Streicher

Dipl. Ing. Sylvia Reisinger:

*Behaglichkeit in Passivhäusern – messtechnische und empirische*

*Analyse*,

TU Graz 2005,

Betreuung durch:

Brian Cody, BSc. CEng. MCIBSE

**Projektpartner:**

AET Alternative Energietechnik, Feldkirchen b. Graz

Atelier für Solararchitektur Jordan, St. Valentin

BTI Bautechnisches Institut Linz, Puchenuau

ECO Energiesysteme, Vorarlberg

Energieinstitut Linz, Linz

Energietechnik Bogner, Steyr

TAS Bauphysik GmbH, Leonding

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG, ABSTRACT, RESUMÉ</b>	<b>7</b>
1.1	VORHABEN UND INHALTE	7
1.2	ZIELSETZUNG	7
1.3	PROJEKTBE SCHREIBUNG	8
1.4	PROJEKTDURCHFÜHRUNG	8
1.5	METHODIK	9
1.6	ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN	10
1.6.1	<i>Energetische Ergebnisse</i>	10
1.6.2	<i>Bautechnische, systemtechnische und bauphysikalische Ergebnisse</i>	11
1.6.3	<i>Effizienz energiesparender Maßnahmen</i>	11
1.6.4	<i>Einfluss des Benutzerverhaltens</i>	13
1.6.5	<i>Erkenntnisse Behaglichkeit</i>	13
1.7	BERECHNUNGS- UND FÖRDERMODELLE	14
1.8	AUSBLICK UND ZUKUNFT DES PROJEKTES	14
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>EVALUIERUNGSKONZEPT</b>	<b>31</b>
3.1	ALLGEMEIN	31
3.2	MESSTECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN	31
3.3	MESSUNG VON KLIMABEDINGUNGEN	32
3.4	MESSUNG DER HAUSTECHNISCHEN ANLAGEN	32
3.5	MESSUNG VON RAUMKLIMADATEN	32
3.6	LUFTDICHTHEIT DER GEBÄUDEHÜLLE	32
3.7	WÄRMEBRÜCKEN	33
3.8	BERECHNUNG DES HEIZWÄRMEBEDARFES	33
<b>4</b>	<b>DIE FORSCHUNGS GEBÄUDE</b>	<b>34</b>
4.1	DAS PASSIVHAUS	34
4.1.1	<i>Standort</i>	39
4.1.2	<i>Bauweise</i>	39
4.1.3	<i>Wärmebrücken</i>	40
4.1.4	<i>Luftdichtheitskonzept</i>	40
4.1.5	<i>Haustechnikanlage</i>	42
4.2	POSITIONEN DER MESSENSOREN IM PASSIVHAUS	44
4.2.1	<i>Klimadaten</i>	44
4.2.2	<i>Raumklimadaten</i>	45
4.2.3	<i>Messpunkte innerhalb der Lüftungsanlage</i>	48
4.2.4		49
4.2.5	<i>Solar Kollektor</i>	50
4.2.6	<i>Niedertemperaturheizung</i>	50
4.2.7	<i>Warmwasserbedarf</i>	51
4.2.8	<i>Elektroheizstab</i>	51
4.2.9	<i>Datenspeicherung und Übermittlung</i>	52
4.3	DAS NIEDRIGENERGIEHAUS	53
4.3.1	<i>Standort</i>	54
4.3.2	<i>Grundriss</i>	54
4.3.3	<i>Bauweise</i>	57
4.3.4	<i>Luftdichtheit</i>	57
4.3.5	<i>Wärmebrücken</i>	57
4.3.6	<i>Haustechnikanlage</i>	58
4.4	POSITIONEN DER MESSENSOREN IM NIEDRIGENERGIEHAUS	58
4.4.1	<i>Raumklima und Außentemperatur</i>	58
4.4.2	<i>Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit</i>	59
4.4.3	<i>Messsensoren in der Haustechnikanlage</i>	59

4.4.4	<i>Datenspeicherung und Übermittlung</i> .....	60
<b>5</b>	<b>MESSERGEBNISSE</b> .....	<b>61</b>
5.1	<u>GEMESSENE KLIMADATEN AM STANDORT</u> .....	61
5.2	<u>RAUMKLIMADATEN</u> .....	62
5.2.1	<i>Temperaturverlauf in Wohn- und Schlafzimmer</i> .....	62
5.2.2	<i>Temperaturen an der Wandoberfläche</i> .....	66
5.2.3	<i>Sommerverhalten</i> .....	71
5.2.4	<i>Relative Luftfeuchtigkeit</i> .....	73
5.2.5	<i>CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft</i> .....	79
5.3	<u>KOMPONENTEN DER LÜFTUNGSANLAGE</u> .....	87
5.3.1	<i>Erdreichwärmetauscher</i> .....	87
5.3.2	<i>Gegenstromwärmetauscher</i> .....	90
5.4	<u>ELEKTRISCHE HEIZPATRONE</u> .....	92
5.5	<u>SOLARKOLLEKTOR</u> .....	94
5.6	<u>WARMWASSERVERBRAUCH</u> .....	96
5.7	<u>LUFTDICHTHEITSMESSUNGEN</u> .....	99
5.8	<u>WÄRMEBRÜCKEN</u> .....	103
5.8.1	<i>Passivhaus</i> .....	103
5.8.2	<i>Niedrigenergiehaus</i> .....	106
5.9	<u>TATSÄCHLICHER HEIZWÄRMEBEDARF DER FORSCHUNGSGEBÄUDE</u> .....	108
5.9.1	<i>Passivhaus</i> .....	108
5.9.2	<i>Niedrigenergiehaus</i> .....	111
<b>6</b>	<b>BERECHNUNG DES HEIZWÄRMEBEDARFES</b> .....	<b>112</b>
6.1	<u>VARIATION DES STANDORTES</u> .....	113
6.1.1	<i>Klimadaten aus dem ECOTECH Klimadatenkatalog</i> .....	113
6.1.2	<i>Ergebnisse</i> .....	115
6.2	<u>GEBÄUDEFORM</u> .....	117
6.2.1	<i>Grundriss</i> .....	117
6.2.2	<i>Ergebnisse</i> .....	118
6.3	<u>OPAKE BAUTEILE</u> .....	120
6.3.1	<i>Dämmstoffstärke</i> .....	120
6.3.2	<i>Veränderung der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes</i> .....	122
6.3.3	<i>Bewertung</i> .....	123
6.4	<u>TRANSPARENT BAUTEILE</u> .....	128
6.4.1	<i>Materialänderung am Fensteraufbau</i> .....	128
6.4.2	<i>Ergebnisse</i> .....	129
6.4.3	<i>Änderung der solaren Aufnahmefläche</i> .....	130
6.4.4	<i>Einfluss von Vorhängen</i> .....	131
6.4.5	<i>Bewertung</i> .....	132
6.5	<u>LÜFTUNG</u> .....	136
6.5.1	<i>Einfluss auf die Berechnung</i> .....	136
6.5.2	<i>Bewertung</i> .....	139
6.6	<u>BENUTZERABHÄNGIGE PARAMETER DER BERECHNUNG</u> .....	140
6.6.1	<i>Benutzerprofile</i> .....	141
6.6.2	<i>Bewertung des Nutzerverhaltens in der Berechnung</i> .....	143
6.7	<u>ZUSAMMENFASSUNG DER BERECHNUNGSERGEBNISSE</u> .....	145
<b>7</b>	<b>BEWERTUNG DER FORSCHUNGSGEBÄUDE</b> .....	<b>148</b>
7.1	<u>DAS PASSIVHAUS</u> .....	148
7.1.1	<i>Heizwärmebedarf</i> .....	148
7.1.2	<i>Haushaltsstrombedarf</i> .....	148
7.1.3	<i>Raumklima</i> .....	148
7.1.4	<i>Benutzereinflüsse</i> .....	149
7.2	<u>DAS NIEDRIGENERGIEHAUS</u> .....	150
7.2.1	<i>Heizwärmebedarf</i> .....	150
7.2.2	<i>Raumklima</i> .....	150
<b>8</b>	<b>ERFASSUNG VON NUTZERKOMFORT UND BEHAGLICHKEIT</b> .....	<b>151</b>

8.1	<u>NUTZERBEFRAGUNG</u> .....	151
8.2	<u>BEFRAGUNGSERGEBNISSE</u> .....	152
8.3	<u>ERKENNTNISSE DER NUTZERBEFRAGUNG</u> .....	169
<b><u>ANHANG A: LITERATUR- UND NORMENVERZEICHNIS</u></b> .....		<b>171</b>
	<i>Literaturverzeichnis</i> .....	<i>171</i>
	<i>Verwendete Berechnungsprogramme</i> .....	<i>173</i>
	<i>Normenverzeichnis</i> .....	<i>173</i>
<b><u>ANHANG B: ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS</u></b> .....		<b>174</b>
<b><u>ANHANG C: VERWENDETE MESSGERÄTE</u></b> .....		<b>181</b>
<b><u>ANHANG D: NÖ-BERECHNUNGSMODELL</u></b> .....		<b>186</b>
<b>ANHANG E: BAUTEILE UND BAUKÖRPERBERECHNUNG DER FORSCHUNGSGEBÄUDE</b>		
<b>ANHANG F: FRAGEBOGEN</b>		
<b>ANHANG G: KLIMADATEN UND MONATLICHE ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN</b>		

# 1 Zusammenfassung, Abstract, Resumé

## 1.1 Vorhaben und Inhalte

Im September 2000 wurde die Firma ECOTECH durch das Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wohnungsförderung, mit der Durchführung des Forschungsprojektes „ÖKO - Hausevaluierung“ beauftragt. Dieses Projekt beinhaltet die vergleichende Langzeit-Evaluierung von zwei Einfamilienhäusern in Niederösterreich zur Darstellung der Effizienz energiesparender Maßnahmen. Zudem sollten mustermäßige Betrachtungen zum Einfluss des Benutzerverhaltens sowie die Dokumentation tatsächlich erzielbarer Energieverbrauchswerte im Vergleich zu theoretischen Berechnungen erfolgen. Diese vergleichende Beobachtung soll eine Datengrundlage für eine praxisbezogene Beurteilung der Auswirkung eingesetzter Fördermittel sein.

Es ist klar, dass eine derart limitierte Evaluierung an nur zwei Häusern über einen Zeitraum von vier Jahren nur mustermäßige Ergebnisse liefern und grundsätzliche Richtungen vorgeben kann.

## 1.2 Zielsetzung

Die Zielsetzungen der Studie ergeben sich aus dem erteilten Forschungsauftrag sowie aus der Notwendigkeit, den tatsächlichen Energieverbrauch als Auswirkung der thermischen Gebäudequalität und des tatsächlichen Benutzerverhaltens zu sehen, wobei dieses maßgeblich vom Behaglichkeitsbedürfnis der Bewohner abhängt.

Die Ziele definieren sich daher als...

- Darstellung der Effizienz energiesparender Maßnahmen.
- Betrachtung des Einflusses von Echtzeit-Bedingungen und Benutzerverhalten auf den tatsächlichen Energieverbrauch im Vergleich zu den Ergebnissen der Modellberechnungen.
- Untersuchung zur Benutzer-Akzeptanz zentraler Elemente ökologischer Niedrigstenergiebauweisen (kontrollierte Wohnraumlüftung etc.).
- Erfassung des Nutzerkomforts für Bewohner dieser niedrigstenergetischen Bauweisen.
- Sinnhaftigkeit und Wirksamkeit derzeitiger Berechnungsmodelle und Einsatz von Fördermitteln.

### **1.3 Projektbeschreibung**

Mit den bewilligten Fördermitteln konnte in diesem Forschungsprojekt die Evaluierung von zwei Einfamilienhäusern in Niedrig- bzw. Passivhausqualität durchgeführt werden.

Ausgewählt wurde einerseits ein als Passivhaus konzipiertes, mit größtmöglicher Sorgfalt und Fachwissen hergestelltes, dem Stand der Technik entsprechendes Gebäude in Holzbauweise.

Das zweite Gebäude wurde in Massivbauweise als Niedrigenergiestandard ausgeführt und entspricht einer „Standardbauweise“ am Land in Niederösterreich.

In Ergänzung zu den Arbeiten an den beiden Häusern des Forschungsprojektes wurde eine Befragung zur Untersuchung der empfundenen Benutzerbehaglichkeit und der Akzeptanz bestimmter technischer Einrichtungen in 29 Passivhäusern und in 2 Niedrigenergiehäusern durchgeführt.

### **1.4 Projektdurchführung**

Die Durchführung des Forschungsprojektes erfolgte durch Mitarbeiter der Firma ECOTECH Bauphysik und Energietechnik Software GmbH sowie durch Diplomanden der Technischen Universität Graz in den Fachrichtungen Bauingenieurwesen und Architektur.

## 1.5 Methodik

Die einzelnen Einfamilienhäuser wurden einer detaillierten energietechnischen Berechnung mit der ECOTECH Software entsprechend den Richtlinien zur Erstellung des Energieausweises für Niederösterreich unterzogen. Diese Berechnungen dokumentieren ausführlich den technischen Aufbau und die Ausstattung der Gebäude. In diesen Berechnungen wurden eine Reihe unterschiedlicher Ausführungsvarianten auf die energietechnischen Auswirkungen verschiedener Dämmstärken, Fensterflächenanteile, Verschattungen, klimatischer Bedingungen unterschiedlicher Standorte, Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung etc. analysiert.

Im praktischen Teil wurde in den Forschungsgebäuden jeweils umfangreiche Messtechnik zur Ermittlung von Raum-, bzw. Außenklima sowie Kennwerte der haustechnischen Einrichtungen installiert und mit einer Datenspeicheranlage versehen. Die Messungen wurden im Passivhaus im Winter 2001/2002 und im Niedrigenergiehaus im Frühling 2003 gestartet und bis 2005 laufend abgefragt.

An den Gebäuden wurden thermografische Untersuchungen sowie ein Blower Door Test zur Prüfung der Winddichtigkeit durchgeführt.

Parallel zu den Messungen wurde ein Fragebogen zur Behaglichkeit in Niedrigstenergiebauweisen entwickelt und an 132 Besitzer von niedrigstenergetischen Einfamilienhäusern verschickt. 32 Fragebogen wurden ausgefüllt retourniert und ausgewertet. Die für die Behaglichkeit relevanten Ergebnisse werden in dieser Arbeit ausgewertet und dargestellt.

## 1.6 Ergebnisse und Folgerungen

### 1.6.1 Energietechnische Ergebnisse

Energietechnische Berechnungen dokumentieren für das Passivhaus eine Energiekennzahl von 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) und für das Niedrigenergiehaus 46 kWh/(m<sup>2</sup>a). Praktische Evaluierungen zeigen letztendlich einen Heizwärmebedarf von 17 – 24 kWh/(m<sup>2</sup>a) für das Passivhaus und von 38 - 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) für das Niedrigenergiehaus.

Bemerkenswert ist, dass im Passivhaus das grundsätzliche Konzept des Verzichtes auf ein konventionelles Heizungssystem nicht eingehalten wurde. So gibt es in diesem Haus ein Niedertemperatur-Heizsystem in Form einer Fußbodenheizung sowie eine elektrische Nachheizung mit Heizpatrone (direkt im Pufferspeicher eingebaut). Durch die Fußbodenheizung wurden im Vierjahresmittel 2600 kWh/Jahr an Heizwärme ins Gebäude eingebracht.

Grundsätzlich kann aus den Beobachtungen an beiden Häusern festgestellt werden, dass die eingesetzten, durch die Niederösterreichische Wohnbauförderung unterstützten bau- und energietechnischen Maßnahmen, zu einem Energieverbrauch führen der sich beim Niedrigenergiehaus im Rahmen der berechneten und erwarteten Werte bewegt, beim Passivhaus allerdings über den berechneten Werten liegt.

Ebenso zeigt sich ein Einfluß des Nutzerverhaltens (z.B. durch Verwendung von Vorhängen) im Passivhaus wo es dadurch zu einer Erhöhung der tatsächlichen Verbrauchswerte im Vergleich zu den theoretischen Berechnungen kommt.

In Hinblick auf die in der Wohnbauförderung verwendeten Rechenroutinen ergibt sich der Hinweis, dass die derzeitigen Methoden für niedrigenergetische Gebäude wohl ausreichende Deckung mit beobachteten Werten zeigen, im Passivhausbereich aber eine Anpassung der Rechenmodelle notwendig erscheint.

### 1.6.2 Bautechnische, systemtechnische und bauphysikalische Ergebnisse

Für beide Häuser bestätigt sich die anhaltende Qualität der verwendeten Baukomponenten sowie die bestehende Funktionalität der technischen Systeme.

Raumlufttemperatur und Bauteil-Oberflächentemperatur liegen bei beiden Bauwerken im guten Behaglichkeitsbereich. Die relative Luftfeuchtigkeit liegt beim Passivhaus auch im Winter bei ca. 30%. Im Niedrigenergiehaus liegt die relative Luftfeuchtigkeit im Winter bei 30-35%.

Die CO<sub>2</sub> Konzentration im Passivhaus bewegt sich zu allen Zeiten in einem wünschenswerten Niveau während im Niedrigenergiehaus (ohne Lüftungsanlage) vor allem in den frühen Morgenstunden bedenklich hohe Kohlendioxid-konzentrationen beobachtet werden.

### 1.6.3 Effizienz energiesparender Maßnahmen

#### Solarkollektor

Die Effizienz des Solarkollektors zeigt nur einen relativ geringen Beitrag zur Deckung des Heizenergiebedarfes im Zeitraum der Heizperiode. Es wird ein Defizit im Bereich der Größe des Pufferspeichers (800 l) vermutet. Es ist zu überlegen, ob eine Förderung für Solaranlagen an eine Mindestauslegungs-größe der Einzelkomponenten (in diesem Fall der Pufferspeicher) zu binden ist.

Die Warmwassererwärmung in Übergangs- und Sommerzeit erfolgt erwartungsgemäß problemlos.

#### Erdreichwärmetauscher

Messungen zeigen, dass der Erdreichwärmetauscher auch bei niedrigen Außentemperaturen geeignet ist, die Luft auf 4-8°C vorzuwärmen. Die Frostfreiheit ist damit gewährleistet. Die Luftvorwärmung entspricht einem aus der Messung berechneten Energieeintrag von ~620 kWh in der ersten Winterphase (November – Februar).

#### Gegenstromwärmetauscher

Auch die Effizienz des Gegenstromwärmetauschers bestätigt sich in den Messungen mit 550 kWh Energierückgewinnung in der ersten Messperiode.

#### Wärmepumpe:

Die gemessene Arbeitszahl zeigt, dass die angegebenen Werte auch in der Realität erreicht werden.

#### Zusatzheizung im Passivhaus

Der Restheizwärmebedarf ( $17 - 24 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) des Passivhauses wird überwiegend durch eine in den Pufferspeicher eingebaute E-Heizpatrone gedeckt.

Primärenergetisch erscheint diese Tatsache bedenklich. Im Sinne ökologischer Bewertungen energiesparender Bau- und Betriebsweisen erscheint daher die Verwendung umweltbewusster Energieträger für die Deckung des Restheizwärmebedarfes empfehlenswert. Dahingehend sollte eine ökologische Förderung ausgerichtet sein.

#### Luftdichtheit in den Gebäuden

Im Passivhaus bestätigt sich eine funktionierende Luftdichtheit auch über einen Zeitraum von vier Jahren. Die Blower-Door-Messung zeigte nach Fertigstellung des Gebäudes als auch nach vier Jahren eine Luftwechselzahl  $n_{50} < 0,6$ . Damit wird der für die Förderung relevante Grenzwert auch nach diesen vier Jahren bestätigt. Der zusätzliche Aufwand zur Errichtung einer luftdichten Ebene scheint daher auch aus praktischer Sicht gerechtfertigt. Längerfristige Untersuchungen sind hier aber sicherlich angebracht.

Beim Niedrigenergiehaus wurde nach vier Jahren trotz hohem Ausführungsstandard (jedoch keine besonderen Maßnahmen in Bezug auf die Luftdichtheit) eine Luftwechselzahl von  $n_{50} = 2,2$  erreicht.

#### 1.6.4 Einfluss des Benutzerverhaltens

Aussagen über den Einfluss des Benutzerverhaltens auf den tatsächlichen Energieverbrauch sind aufgrund der geringen Anzahl von gleichartigen Forschungsgebäuden nur schwer möglich. Daher wurden rechnungstechnische Benutzerprofile entwickelt und ausgewertet. Diese Benutzerprofile stellen Variationen der tatsächlich bestimmten Parameter im Forschungshaus dar. Die Berechnungen zeigen, dass schon aufgrund geringer Abweichungen der Randbedingungen (Lüftungsverhalten, Raumlufthtemperatur, Innere Wärmequellen) beträchtliche Auswirkungen auf den Energieverbrauch zu erwarten sind.

#### Benutzerakzeptanz der kontrollierten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Passivhaus

In dem untersuchten Passivhaus besteht eine hohe Akzeptanz der Bewohner gegenüber der zentralen mechanischen Lüftungsanlage.

#### 1.6.5 Erkenntnisse Behaglichkeit

Grundsätzlich bestätigen die Bewohner der untersuchten Häuser eine gute Behaglichkeit und angenehmen Wohnkomfort in beiden Häusern. Diese Aussagen werden großteils durch technische Messungen bestätigt, so zeigen Lufttemperatur, Wandoberflächentemperatur und relative Luftfeuchte, Werte, die sich in physikalischen und biologisch definierten Behaglichkeitszonen bewegen.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumlufth zeigt im Passivhaus in der Nacht Werte bis maximal 0,15 Vol.% (Lüftungsanlage eingeschaltet), bei ausgeschalteter Lüftungsanlage können sich kurzfristig höhere Werte ergeben. Im Niedrigenergiehaus wurden in der Nacht Werte bis zu 0,43 Vol.% gemessen. Es ergibt sich somit der Schluss der besseren hygienischen Raumlufthqualität vor allem in den kritischen Nachtstunden im Passivhaus.

Nutzerbefragungen bestätigen auch, wie sehr die angenehm warmen Wandoberflächentemperaturen wahrgenommen werden. Ebenso wird festgestellt, dass die verwendeten Lüftungsanlagen auch in Hinblick auf störende Geräusche zu keiner Beeinträchtigung des Nutzerkomforts führen.

### **1.7 Berechnungs- und Fördermodelle**

Die derzeitigen Berechnungs- und Fördermodelle bilden niedrigenergetische Bauweisen relativ gut ab, im Passivhausbereich treffen diese Rechenroutinen allerdings nicht in allen Aspekten zu. So zeigen die tatsächlichen Messergebnisse des Passivhauses einen Heizwärmebedarf von 17 - 24 kWh/m<sup>2</sup>a, während das berechnete Ergebnis bei 12 kWh/m<sup>2</sup>a liegt.

Überlegenswert ist daher, für ein Passivhaus die Rechenroutinen nach dem Modell des Passivhausinstitutes Darmstadt, Professor Feist, in die Förderrichtlinien aufzunehmen.

### **1.8 Ausblick und Zukunft des Projektes**

Die ursprüngliche Konzeption einer Langzeitevaluierung wird aufgrund der bereits eingebauten Messtechnik und hohen Kooperationsbereitschaft der Hausbewohner beibehalten. Es besteht die Möglichkeit, diese Gebäude über einen langen Zeitraum zu beobachten und weitere Analysen durchzuführen.

Viele der ebenfalls in diesem Forschungsprojekt angerissenen Fragestellungen bedürfen weiterer vertiefender Studien und könnten so fundierte Entscheidungshilfen für den Einsatz haustechnischer Systeme und Bauweisen liefern.