



# Energetische und baubiologische Begleituntersuchung Lehm-Bürogebäude Tattendorf

W. Wagner, D. Jähnig, A. Prein, F. Mauthner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**65/2009**

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: Dipl.-Ing. Michael Paula

Weitere Informationen zu den Berichten aus dieser Reihe unter [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Lehm-Bürogebäude Tattendorf

Ing. Waldemar Wagner  
Dipl.-Ing. Dagmar Jähnig  
Andreas Prein, Bakk. rer. nat.  
Franz Mauthner, B.Sc

AEE - Institut für Nachhaltige Technologien

Gleisdorf, Juli 2008

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

**Auftragnehmer:****AEE – Institut für Nachhaltige Technologien**

A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19

Tel.: 03112 5886 –28

Fax: 03112 5886 –18

E-Mail: [office@ae.at](mailto:office@ae.at)**Kooperationspartner:****Österreichisches Ökologieinstitut**

Seidengasse 13

A – 1170 Wien

Robert Lechner

Tel: ++ 43 / 1 / 523 61 05

Fax: ++ 43 / 1 / 523 58 43

e-mail: [lechner@ecology.at](mailto:lechner@ecology.at)<http://www.ecology.at>**Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik,  
Arbeit und Kultur – IFZ**

Schlögelgasse 2

A – 8010 Graz

Mag. Jürgen Suschek-Berger

Tel: ++ 43 / 316 / 813 909 - 31

e-mail: [suschek@ifz.tu-graz.ac.at](mailto:suschek@ifz.tu-graz.ac.at)<http://www.ifz.tu-graz.ac.at>

## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# INHALT

<b>1</b>	<b>ZIEL DES PROJEKTS .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STANDORTINFORMATIONEN.....</b>	<b>2</b>
2.1	<b>Geographische Daten .....</b>	<b>2</b>
2.2	<b>Klimadaten .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>BESCHREIBUNG DES PROJEKTES UND DES SYSTEMKONZEPTES .....</b>	<b>4</b>
3.1	<b>Gebäudekonzept.....</b>	<b>4</b>
3.1.1	Angabe der Energiebezugsfläche .....	5
3.1.2	Das Lehm- Passivhaus Baumodul System [natur & lehm] .....	6
3.1.3	Beteiligte am Projekt und zeitliche Organisation.....	7
3.2	<b>Das Haustechnikkonzept .....</b>	<b>8</b>
3.2.1	PHPP- Berechnung.....	11
3.3	<b>Das Messtechnikkonzept .....</b>	<b>12</b>
3.3.1	Messdatenerfassung und -verarbeitung .....	15
<b>4</b>	<b>ANALYSE DER MESSDATEN .....</b>	<b>17</b>
4.1	<b>Einleitung .....</b>	<b>17</b>
4.1.1	Konventionen .....	17
4.1.2	Wetterdaten .....	18
4.2	<b>Aufgetretene Probleme .....</b>	<b>18</b>
4.2.1	Heizkreistemperaturen.....	18
4.2.2	Optimierungsvorschlag Heizkreistemperaturen .....	20
4.2.3	Stromverbrauch Brunnenpumpe zur Gebäudekühlung.....	20
4.2.4	Optimierungsvorschlag Brunnenpumpe.....	20
4.3	<b>Detaillergebnisse erstes Betriebsjahr.....</b>	<b>20</b>
4.3.1	Komfortparameter.....	20
4.3.2	Lüftungsanlage .....	25
4.3.3	Energiebilanz.....	27
4.4	<b>Detaillergebnisse Zweites Betriebsjahr .....</b>	<b>33</b>
4.4.1	Komfortparameter.....	33
4.4.2	Lüftungsanlage .....	37
4.4.3	Energiebilanz.....	38
4.5	<b>Zusammenfassung der Messergebnisse und Fazit .....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>SOZIALWISSENSCHAFTLICHE BEGLEITFORSCHUNG – ERHEBUNG DER NUTZERAKZEPTANZ .....</b>	<b>44</b>
5.1	<b>Einleitung .....</b>	<b>44</b>
5.2	<b>Beschreibung des Vorgehens.....</b>	<b>45</b>
5.3	<b>Interviews mit den Angestellten .....</b>	<b>45</b>
5.4	<b>Interview mit dem Bauherrn .....</b>	<b>46</b>
5.5	<b>Resümee aus der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>VERZEICHNISSE UND DOKUMENTATIONEN .....</b>	<b>49</b>
6.1	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>49</b>
6.2	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>49</b>
6.3	<b>Quellenangaben.....</b>	<b>50</b>

---

6.4	<b>Fotodokumentation .....</b>	<b>51</b>
7	<b>ANHANG .....</b>	<b>55</b>
7.1	<b>Kurzdokumentation .....</b>	<b>55</b>
	<b>TQ-Bewertung</b>	



# 1 Ziel des Projekts

Ziel des Projektes ist es, im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ eine energetische und baubiologische Untersuchung und Bewertung von innovativen Gebäuden, unter Berücksichtigung der Benutzerakzeptanz durchzuführen.

Da Aspekte wie das Lüftungsverhalten, Raumtemperaturen oder der persönliche Umgang mit internen Lasten bzw. passiven-solaren Energieeinträgen das Gebäudeverhalten bei modernen Niedrigenergiebauweisen beträchtlich beeinflussen, sollen die energierelevanten Detailauswertungen, im Zusammenhang mit den soziologischen Untersuchungen das Benutzerverhalten betreffend, Aussagen über die Alltagstauglichkeit der Gebäude ermöglichen. Die energietechnische Evaluierung beinhaltet die Energiebilanz über das gesamte Gebäude bzw. über die einzelnen Wohneinheiten mit speziellem Fokus auf den Heizenergieverbrauch, den Warmwasserverbrauch, den Stromverbrauch für Haushalt und haustechnische Einrichtungen bzw. die Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte unter Berücksichtigung des tatsächlichen Klimas, welches durch Messung der Außentemperatur bzw. der solaren Einstrahlung festgehalten wird.

Ein weiteres Arbeitspaket soll die ökologische Qualität der Gebäude durch die Materialwahl bzw. Maßnahmen während der Errichtung sowie in der anschließenden Nutzung des Gebäudes beurteilen. Mit Hilfe des TQ-Planungs- und Bewertungstools soll jedes Gebäude einen ökologischen Ausweis bekommen, an Hand dessen die Gebäude miteinander verglichen werden können.

Die drei Themenbereiche werden dem Realisierungsgrad der Gebäude angepasst, beginnend bei der Planung über die Bauphase bis in die ersten zwei Nutzungsjahre.

Neben der Analyse einzelner Gebäude ist der Vergleich mit Gebäuden ähnlicher Bau- bzw. Nutzungsart ein wesentliches Ziel des Projektes.

Letztlich soll diese Evaluierung dazu beitragen, dass die Funktion ökologischer und energiesparender Gebäude auf einer fundierten Basis nachgewiesen wird und damit zu einer raschen und breiten Markteinführung beiträgt.

Zum Vergleich der Gebäude untereinander sowie mit anderen gemessenen Passivhäusern wie z.B. die Gebäude aus dem Projekt Cepheus wird am Ende des Projektes ein separater Berichtsteil erstellt.

## 2 Standortinformationen

### 2.1 Geographische Daten

Das Lehm- Passivhaus Bürogebäude befinden sich in der Gemeinde Tattendorf (Oberwaltersdorferstraße 2c) im Bezirk Baden, Niederösterreich (siehe Abbildung 1).

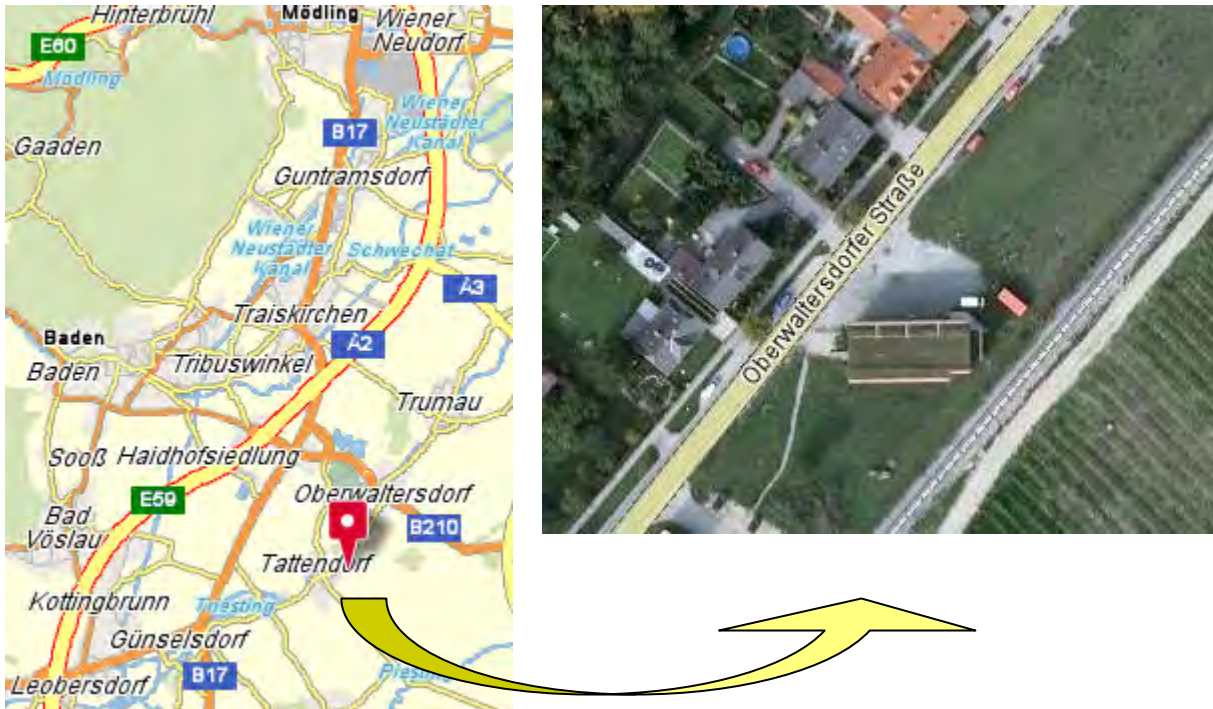


Abbildung 1: Die Lage des Lehm- Passivhauses in der Gemeinde Tattendorf im Bezirk Baden

Politischer Bezirk	Baden, NÖ
Koordinaten Tattendorf	47°57'N, 16°18'O (dezimal: 47.95°N, 16.3°O)
Meereshöhe	227 m ü.A.

Das Gebäude wurde vom österreichischen Forschungsförderungs-Fonds (FFF) als „Haus der Zukunft“ Projekt gefördert und ist zugleich ein offizieller österreichischer Beitrag unter weltweit rd. 30 Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA), Task 28 „Sustainable Buildings“.

### 2.2 Klimadaten

In nachfolgender Tabelle 1 sind die lokalen Klimadaten für den Standort Tattendorf angeführt.

Tabelle 1: Klimadaten Tattendorf [OIB, PEP]

PLZ	Ortsname	Seehöhe	HGT <sub>12/20</sub>	HT <sub>12</sub>	$\theta_e$	$\theta_{ne}$	I <sub>horizontal</sub>
		m	Kd/a	d	°C	°C	kWh/m <sup>2</sup> a
2523	Tattendorf	227	3403	207	3,56	-13	1122,4
Heizgradtage $HGT_{12/20}$ in der Heizperiode Heiztage $HT_{12}$ in der Heizperiode Mittlere Außentemperatur $\theta_e$ in der Heizperiode Norm-Außentemperatur $\theta_{ne}$ Globalstrahlungssumme auf horizontale Fläche $I_{horizontal}$ für Wien nach PEP							

Gemäß Klimadatenkatalog des OIB treten in Tattendorf im Mittel 3403 Heizgradtage auf und die Auslegungstemperatur für die Heizung liegt bei -13°C [OIB, statistische Werte].

Die Globalstrahlungssumme auf die horizontale Fläche beträgt gemäß Standardwetterdatensatz für Wien, der im Rahmen des EU-Projektes „Promotion of European Passive Houses (PEP)“ für die Verwendung im Passivhausprojektierungspaket (PHPP) festgelegt wurde 1122,4 kWh/m<sup>2</sup>a.

Der gemessene Wert für die Globalstrahlungssumme auf die horizontale Fläche beträgt für den Standort Tattendorf (bzw. Böheimkirchen) im Jahr 2007 gesamt 1172,6 kWh/m<sup>2</sup>a. Für das erste vollständige Messjahr 2006 wurden 3667 Heizgradtage ermittelt und für das zweite Messjahr 3505 Heizgradtage [AEE Intec].

### 3 Beschreibung des Projektes und des Systemkonzeptes

#### 3.1 Gebäudekonzept

Das Bürogebäude der Firma natur & lehm in Tattendorf in Niederösterreich verfügt außer Büroräumen auch über Seminarräume, Lagerräume und ein Labor. Das Gebäude dient gleichzeitig als Prototyp für eine zukünftige industrielle Fertigung von Lehm-Passivhaus-Baumodulen (siehe auch Kapitel 3.1.2) und als Schau- und Demonstrationsobjekt der Firma und ihrer Produkte (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Visualisierung Lehm-Bürogebäude Tattendorf [AEE Intec]

Grundelemente dieser Fertigteile sind ein doppeltes (auf Streifenfundamenten thermisch getrenntes) Holzständerwerk, das kostengünstige Dämmmaterial Stroh, eine neue Lehm-Vliestechnik als Ersatz für übliche Dampfbremsen, sowie neu entwickelte Biofaser - Lehmputze, die auch im Außenbereich einsetzbar sind.

Für dieses Gebäude wurde ein eigenes, neues Bausystem aus Fertigelementen entwickelt (vgl. auch Abbildung 3).

### 3.1.1 Angabe der Energiebezugsfläche

Das Gebäude hat eine beheizte Fläche von 263 m<sup>2</sup>, zusätzlich befinden sich noch das Lager (39 m<sup>2</sup>) und der Technikraum (13 m<sup>2</sup>) innerhalb der thermischen Hülle, werden aber nicht beheizt.

Für die Auswertungen je Quadratmeter werden das Lager und der Technikraum bzw. das Archiv zu 60% in die Gebäudenutzfläche aufgenommen.

Damit ergibt sich eine **Energiebezugsfläche von 291 m<sup>2</sup>**. Diese Fläche stellt die Berechnungsbasis für die im Kapitel 4, Analyse der Messdaten, dargestellten flächenspezifischen Energiekennwerte dar.

Die Berechnung der TFA (treated floor area) erfolgt nach Vorgaben des Passivhaus Instituts in Darmstadt und wird nachfolgend näher erläutert.

#### **Berechnung der TFA (treated floor area)**

[© Passivhaus Institut]

- Zur Berechnung der TFA ist zunächst die thermische Hülle festzulegen. Sie wird durch die Außenoberflächen der wärmegeprägten Außenbauteile gebildet. Die thermische Hülle enthält alle beheizten Räume. Sie bildet zugleich die Bilanzgrenze für die Energiebilanz. In die TFA gehen nur Flächen innerhalb der thermischen Hülle ein.
- Die TFA einer Wohnung oder eines Hauses ist die Summe der TFAs der zur Wohnung gehörenden Wohnräume. Als Wohnraum gelten alle Räume innerhalb einer Wohneinheit, die entweder oberirdisch gelegen sind oder deren Fensterfläche mindestens 10 % der Grundfläche ausmacht. Treppen mit mehr als 3 Stufen, Treppenabsätze und Aufzüge zählen nicht zum Wohnraum.
- Keller, Technikräume u.ä. innerhalb der thermischen Hülle, die keine Wohnräume sind, werden zur 60% angerechnet.
- Berechnung der Grundfläche:
  - Die Grundfläche eines Raumes wird aus den Rohbaumaßen ermittelt. Ein Abzug für Putz usw. ist nicht vorzunehmen.
  - Als Rohbaumaße sind die lichten Maße zwischen den Wänden anzusetzen ohne Berücksichtigung von Wandgliederungen, Wandbekleidungen, Fuß- und Scheuerleisten, Öfen, Heizkörpern usw.
- Schornsteine, Pfeiler, Säulen usw. mit weniger als 0,1 m<sup>2</sup> Grundfläche werden nicht von der EBF abgezogen.
- Tür- und Fensternischen werden nicht berücksichtigt
- Schrägen:
  - Raumteile mit einer lichten Höhe von mindestens 2 Metern werden voll angerechnet.
  - Raumteile mit einer lichten Höhe von mindestens 1 und weniger als 2 Metern werden zur Hälfte angerechnet.

Die einheitliche Bestimmung dieser Bezugsfläche sollte besonders gründlich und einheitlich erfolgen, da eine falsche Angabe dieses Wertes sich natürlich sehr stark auf die spezifische Energiekennzahl auswirkt.

### 3.1.2 Das Lehm- Passivhaus Baumodul System [natur & lehm]

Das System besteht grundsätzlich aus einer vollständigen Passivhaus-Außenhülle aus Doppelriegel – Holzrahmen Baumodulen, einer massiven Holzzwischendecke und einer tragenden Mittelwand. Alle Zwischenwände können beliebig angeordnet, sowie auch in Eigenleistung eingebaut werden.

Das Bausystem gewährleistet in erster Linie die für Passivhäuser geeignete Außenhülle. Öffnungen für Stiegen etc. können in statisch vorgegebenen Grenzen fast beliebig situiert werden, auch spätere Umbauten sind einfach, schnell und daher kostengünstig machbar.

Der Planungs-Raster aller Außenwand-, Dach- und Bodenmodule, also der gesamten Außenhülle ist 131 cm in der Längsachse des Gebäudes.

- Außenwand-Module:

Bis zu einer Länge von 8m können Wandmodule immer ein Vielfaches von 131 cm lang sein. Die maximale Höhe der Wandmodule ist 320 cm, sie sind geschosshoch. Die Lichte zwischen den Säulen der Außenwandmodule beträgt 121 cm, so dass übliche Fenster- und Türbreiten problemlos planbar sind.

- Mittelwand-Module:

Die tragende Mittelwand aus Mittelwand-Modulen in Längen bis 8 m benötigt je nach statischem Erfordernis Aussteifungen in Form von Diagonalen und lastabtragende Säulen. Diese sind zwischen der lastverteilenden Kopf- und Fußschwelle der geschosshohen Module nach statischem Erfordernis einzuplanen, aber ohne fixen Raster variabel anordenbar. Sie werden im Werk fertig mit Biofaser-Stampflehm ausgefacht.

- Wandmodule/Bodenmodule/Deckenmodule:

Die Wandmodule stehen standardmäßig auf den Bodenmodulen. Deckenmodule oder Bodenmodule sind maximal 9 Meter lang, d.h. standardmäßig (aber nicht zwingend) eine maximale Wandmodul-Länge plus zwei Wandstärken lang.

- Dach:

Die Dachform ist grundsätzlich frei wählbar. Als Standard wird eine einfache, niedrige Pfettendachkonstruktion auf der Baustelle bei der Montage durch den Zimmereibetrieb aufgesetzt. Sie trägt ein Folien-Grasdach. Stattdessen könnte aber auch mit entsprechend höheren Kosten z.B. ein Satteldach ausgeführt werden.

- Außenfassaden:

Die Fassade kann im Werk als Biofaser-Stampflehmwand ausgeführt werden. Eine weitere Standard-Variante ist die Ausführung als hinterlüftete Holzverkleidung vor einer dann nicht sichtbaren Lehm-Außenhülle. Beide Varianten werden im Werk fertiggestellt.

Im Falle des Lehm- Passivhauses in Tattendorf wurden die Lehm-Verbundbaustoffmodule vorgefertigt und in trockenem Zustand per Bahn zum Bauplatz angeliefert, da der Standort über eine direkte Anbindung zu einer Bahnlinie verfügt.

Abbildung 3 zeigt anhand einiger Beispielbilder das Fertigteil- Konstruktionsprinzip der Lehmbauteile.



Abbildung 3: Fertigteil- Konstruktionsprinzip [natur &amp; lehm]

### 3.1.3 Beteiligte am Projekt und zeitliche Organisation

Der Bauträger und Eigentümer des Projektes ist die Firma Natur&Lehm in Tattendorf, für die das Gebäude gleichzeitig als Büro, sowie als Demonstrationsgebäude dient.

In Tabelle 2 sind die Projektbeteiligten, sowie die wichtigsten Daten zum Baufortschritt angegeben.

Tabelle 2: Beteiligtenliste und zeitliche Organisation

Planung	2002 bis 2004
Spatenstich	10.2004
Schlüsselübergabe/ Bezug	06.2005
Bauträger und Eigentümer	Fa. natur & lehm, Tattendorf
Architekt/Planer	Arch. Prof. Dipl.Ing.Georg W. Reinberg und Marta Reinberg, Wien in Kooperation mit natur & lehm (Roland Meingast), Tattendorf
Haustechnik	Ing. Franz Waxmann, Holz & Solar Dr. Rudolf Kunesch, TZ Salzkammergut (Lüftungsplanung)
Bauphysik/Simulation	Prof. Dipl. Ing. Dr. Klaus Krec, Büro für Bauphysik
Statik	Dr. Karlheinz Hollinsky, Hollinsky & Partner Ziviltechniker ges.m.b.H
Lehmbau	natur & lehm GmbH und natur & lehm Fachverarbeitungs-Partnerfirmen
Holzbau	Ing. Erich Longin, Holzbau Longin GmbH, Dobersberg
Projektleitung und Koordination	Roland Meingast, natur & lehm

### 3.2 Das Haustechnikkonzept

Im Zentrum der Energieversorgung des Lehm-Bürogebäudes Tattendorf steht ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 1500 l. Dieser Speicher wird über eine fassadenintegrierte Solarkollektoranlage mit 17 kW<sub>th</sub> (24 m<sup>2</sup> Kollektorfläche) beheizt (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Links: thermischer Solarkollektor in Fassade; Mitte: 1500 Liter Solarspeicher vor Einbau; Rechts: Der fertig eingebaute, mit Flachs gedämmte und mit n&l Biofaser-Lehmverbundplatten verkleidete Speicher mit isolierten Leitungen [AEE Intec]

Für die Nachheizung wurde ein E-Heizstab in den Speicher integriert. Der E-Heizstab befindet sich in der oberen Speicherhälfte, oberhalb des Vorlaufanschlusses zum Heizkreis.

Aus dem Speicher wird im oberen Bereich über einen Edelstahl Wellrohr-Wärmetauscher Warmwasser gezapft. Etwa in der Mitte wird der Vorlauf für den Heizkreis entnommen.

Der Heizkreis liefert Wärme an spezielle Lehm-Heizelemente in den einzelnen Räumen (siehe Abbildung 5) und zusätzlich wird ein Heizregister in der Zuluft zum Seminarraum mit Wärme versorgt.

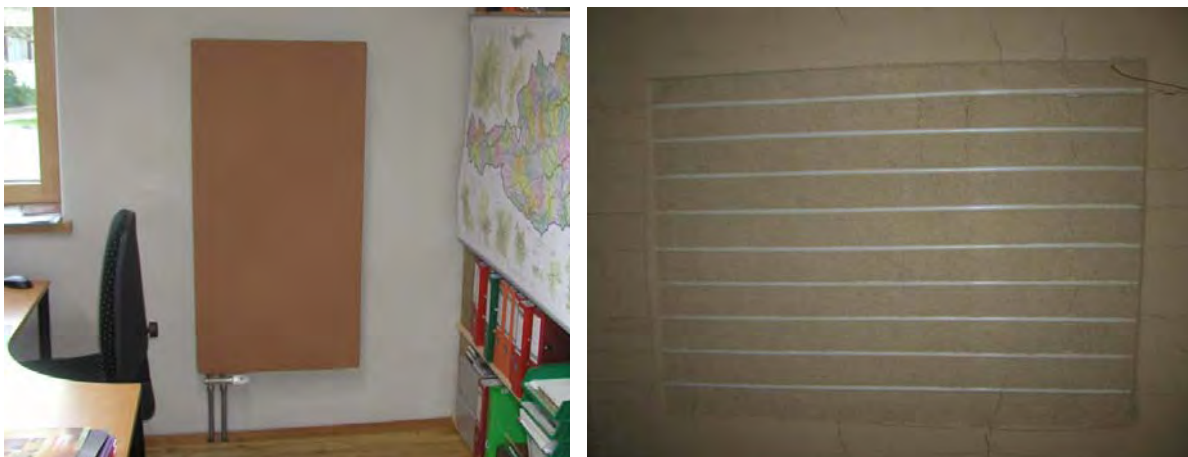


Abbildung 5: Links: Lehmheizkörper; Rechts: Lehm- Heizelement [AEE Intec]



In Abbildung 6 ist das Hydraulikschema des Gebäudes dargestellt.

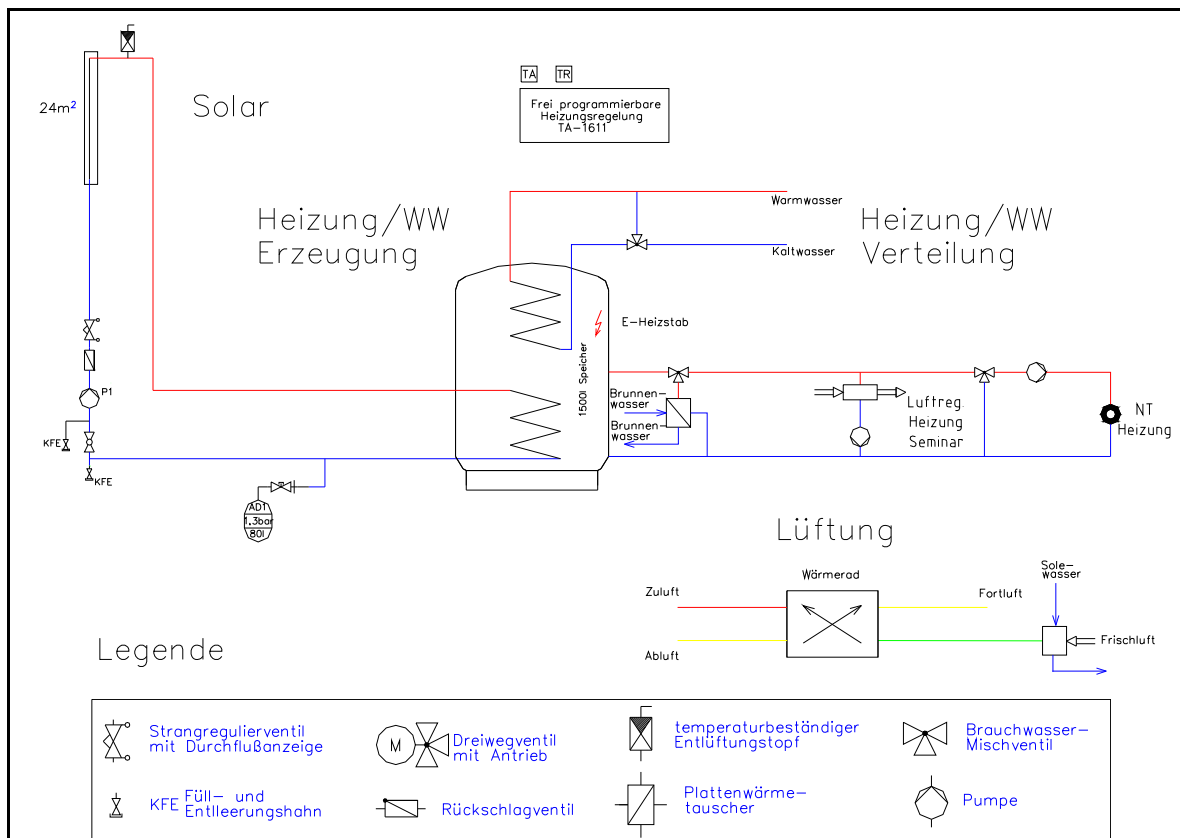


Abbildung 6: Hydraulikschema Lehm-Bürogebäude Tattendorf (AEE Intec)

Zur Kühlung der Räume kann aus einem Brunnen kaltes Wasser gefördert werden, das über einen Wärmetauscher Kühlenergie an den Heizkreis abgibt.

Die Frischluft wird auf der straßenabgewandten Seite angesaugt und in 2 Röhren (je 250 mm Durchmesser) unterirdisch weitergeleitet. Diese Luft wird in einem Wasser-/Luft-Wärmetauscher über einen im Erdreich verlegten Solekreis vorgewärmt bzw. abgekühlt (siehe Abbildung 7).

Die Wärme bzw. Kälte wird von einem Wasserrohrregister entlang des Abwasserkanals geliefert. Die so vortemperierte Außenluft wird im Lüftungsgerät mittels Abluftwärmetauscher weiter erwärmt und über Lehm-Röhrenziegel in den Fußböden und auch in den Wänden weitergeleitet.

Das Lüftungsgerät verfügt sowohl über eine Wärme- als auch eine Feuchterückgewinnung. Der Seminarraum wird getrennt über ein eigenes Lüftungsgerät versorgt.



### 3.2.1 PHPP- Berechnung

Die Durchführung qualitätssichernder Maßnahmen war ein wichtiger Bestandteil der Projektplanung und Ausführung. Unter anderem wurden detaillierte Berechnungen mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) sowie Luftdichtheitstests vorgenommen.

Zum Nachweis der Passivhausgrenzwerte (spezifischer Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf, maximale Heizlast) wurde das Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) des PHI (Passivhausinstitut) eingesetzt. [Feist W.]

Für die Berechnung wurde die Innentemperatur für die gesamte Energiebezugsfläche auf 20 °C normiert und die Internen Wärmequellen auf einen Standartwert von 2,1 W/m<sup>2</sup>a festgelegt.

In Abbildung 8 sind die Wichtigsten Kenngrößen der PHPP Berechnung für das Gebäude 2 in der Utendorfasse angegeben.

Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche			
Energiebezugsfläche:	<input type="text" value="314,1"/>	m <sup>2</sup>	
	Verwendet:	Monatsverfahren	
<b>Energiekennwert Heizwärme:</b>	<b>7</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>ja</b>
<b>Drucktest-Ergebnis:</b>	<b>0,4</b>	<b>h<sup>-1</sup></b>	<b>ja</b>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung, Kühlung, Hilfs- u. Haushalts-Strom):	<b>72</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>ja</b>
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Hilfsstrom):	16	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Primärenergie-Kennwert Einsparung durch solar erzeugten Strom:		kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Heizlast:	11	W/m <sup>2</sup>	
Übertemperaturhäufigkeit:	34	%	
Energiekennwert Nutzkälte:		kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Kühllast:	13	W/m <sup>2</sup>	
		PH-Zertifikat:	
		15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
		0,6 h <sup>-1</sup>	
		120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
		über <input type="text" value="25"/> °C	
		15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	

Abbildung 8: Übersicht der spezifischen Kenngrößen nach PHPP [AEE]

Der errechnete, spezifische Heizwärmebedarf 7 kWh/(m<sup>2</sup>a), die maximale Heizlast bei 11 W/m<sup>2</sup> und der Primärenergiekennwert bei 72 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Alle drei Kenngrößen genügen somit rechnerisch den Mindestanforderungen für Passivhäuser gemäß den Vorgaben des Passivhausinstitutes in Darmstadt.

### 3.3 Das Messtechnikkonzept

Das Gebäude wurde mit der notwendigen Messtechnik ausgestattet, um eine komplette Energiebilanz des Gebäudes erstellen und gleichzeitig die Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte in den Räumen erfassen zu können. Außerdem wurden die Klimabedingungen mit Globalstrahlung, Außentemperatur und Außenfeuchte aufgezeichnet.

Ziel der Messung war im Speziellen die Erfassung und Überprüfung folgender Parameter:

- Gesamtprimärenergie- sowie Gesamtendenergiebedarf für das Gebäude in kWh/(m<sup>2</sup> a)
- Gesamtheizenergiebedarf für das Gebäude in kWh/(m<sup>2</sup> a)
- Heizlast des Gebäudes W/m<sup>2</sup>
- Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte, sowie CO<sub>2</sub>- Gehalt in der Aula

Folgende Daten wurden hierfür messtechnisch erfasst:

- Wärme- bzw. Kältemengen des Heizkreises, des Warmwasserverbrauchs und des Solarkreises
- Durchfluss und Vor- und Rücklauftemperaturen für Solaranlage, Warmwasser und Heizkreis
- Elektrischer Energieverbrauch: Bürogesamtstrom (Schuko Steckdose, Licht, EDV), Lüftungsanlage sowie Verbrauch anderer Hilfsenergie (Pumpen, Regelung)
- Lüftungsgerät: Temperaturen und relative Feuchte auf allen Seiten des Lüftungsgerätes: Frischluft, Zuluft, Abluft und Fortluft
- Komfortparameter in den einzelnen Räumen: Temperatur, rel. Feuchte, sowie CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Aula

Des Weiteren werden folgende Klimadaten erfasst:

- Globalstrahlung in Kollektorebene (vertikal)
- Außentemperatur
- Außenfeuchte

Die Klimadaten dienen zur Beurteilung des Raumklimas (Raumfeuchte, Raumtemperatur) bzw. werden im Rahmen der Messdatenauswertung für eine klimabereinigte Beurteilung des Heizwärmebedarfs des Gebäudes herangezogen.

In nachfolgender Abbildung 9 ist das energie- und lüftungstechnische Konzept des Lehm-Passivhausbürogebäudes in Tattendorf, inklusive aller Messpunkte bzw. Messstellen schematisch dargestellt.

In Tabelle 3 sind im Anschluss daran alle eingebauten Sensoren im Detail mit Einbauort, Fühlerbezeichnung und verwendetem Messgerät aufgeführt.

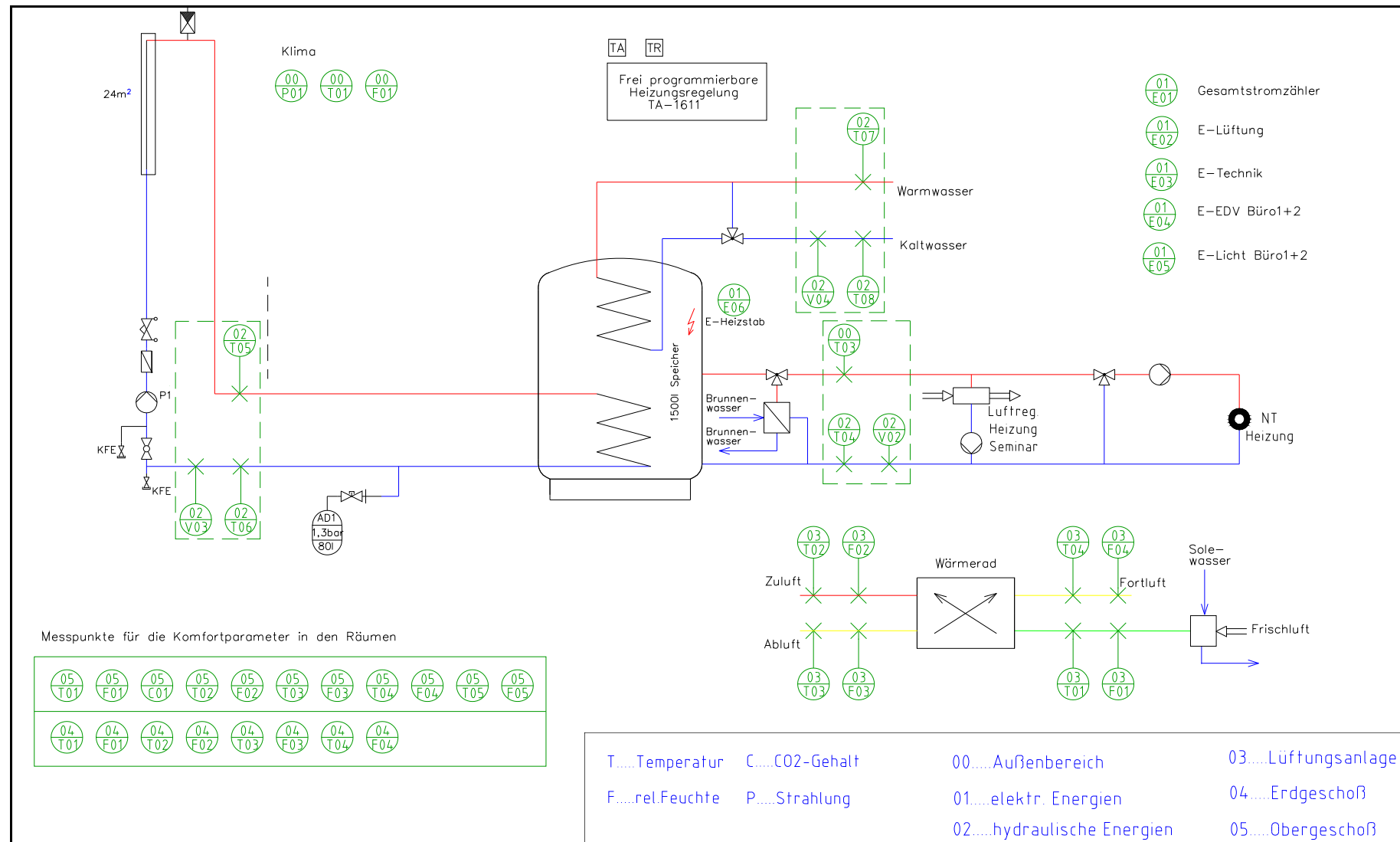


Abbildung 9: Messtechnisches Konzept Tattendorf- Fühlerpositionen (AEE Intec)

Tabelle 3: Messstellenliste Tattendorf

Meßgerät	Meßgröße	Klassifizierung	A	mA	V	PT1000	D	Bemerkung	Einbauort des Meßgerätes	Ort	Typ	Nr	Variablenname SPS	
			36	7	19	10	9					45		
<b>Klimadaten</b>														
Pyranometer	Globalstr.		1	1							00	P	01	PYRO
Temp.fühler	Außentemp.		1	1							00	T	01	T_AUSSEN
Feuchtfühler	Außenfeuchte		1	1							00	F	01	RH_AUSSEN
<b>Endenergieinput-Systemgrenze Haus</b>														
E-Zähler	El.-Energie	Gesamtstrom						1 EVN-Zähler mit Impuls	Elektrorum/Technikraum		01	E	01	E_GES
<b>Wärmemengen im Wassersystem</b>														
WMZ	Hydraul.Energie	HZ-VL	1				1	Heizenergie aus Speicher in FuBo	Technikraum		02	T	03	T_HZ_VL
WMZ	Hydraul.Energie	HZ-RI	1				1	Heizenergie aus Speicher in FuBo	Technikraum		02	T	04	T_HZ_RL
WMZ	Hydraul.Energie	HZ-Vol.Str.					1	Heizenergie aus Speicher in FuBo	Technikraum		02	V	02	VOL_HZ
WMZ	Hydraul.Energie	Solar-VL	1				1	Solarertrag in Speicher	Technikraum		02	T	05	T_SOLAR_VL
WMZ	Hydraul.Energie	Solar-RL	1				1	Solarertrag in Speicher	Technikraum		02	T	06	T_SOLAR_RL
WMZ	Hydraul.Energie	Solar-Vol.Str.					1	Solarertrag in Speicher	Technikraum		02	V	03	VOL_SOLAR
WMZ	Hydraul.Energie	WW-VL	1				1	WW-Verbrauch	Technikraum		02	T	07	T_WW_VL
WMZ	Hydraul.Energie	WW-RL	1				1	WW-Verbrauch	Technikraum		02	T	08	T_WW_RL
WMZ	Hydraul.Energie	WW-Vol.str.					1	WW-Verbrauch	Technikraum		02	V	04	VOL_WW
<b>Elektrische Energien</b>														
E-Zähler	El.-Energie	Lüftungsanlage						1 die ges. Anlage mit Regelung, Ventilatoren...	Technikraum		01	E	02	E_LUEFTUNG
E-Zähler	El.-Energie	E-Heizstab						1	Technikraum		02	E	06	E_PUFFER
E-Zähler	El.-Energie	Hilfsstrom Technik						1 Technikraum ges.: Pumpen, Regelung, Lüftung	Technikraum		01	E	03	E_HILFSSTROM
E-Zähler	El.-Energie	Licht						1 Licht in den Büros, Empfang und Sekretariat	Technikraum		01	E	04	E_TROCKNER
E-Zähler	El.-Energie	EDV-Strom						1 Verbrauch der EDV in den Büros, Empfang und Sekretariat	Technikraum		01	E	05	E_EDV
<b>Lüftungsanlage</b>														
Temp.fühler	Kanalfühler	Frischluftemp.	1				1		Technikraum		03	T	01	T_FRILU
Feuchtfühler	Rel. Feuchte	Frischluffeuchte	1	1					Technikraum		03	F	01	RH_FRILU
Temp.fühler	Kanalfühler	Zulufttemperatur	1				1		Technikraum		03	T	02	T_ZULU
Feuchtfühler	Rel. Feuchte	Zuluftfeuchte	1	1					Technikraum		03	F	02	RH_ZULU
Temp.fühler	Kanalfühler	Ablufttemperatur	1				1		Technikraum		03	T	03	T_ABLU
Feuchtfühler	Rel. Feuchte	Abluftfeuchte	1	1					Technikraum		03	F	03	RH_ABLU
Temp.fühler	Kanalfühler	Fortlufttemperatur	1				1		Technikraum		03	T	04	T_FORTLU
Feuchtfühler	Rel. Feuchte	Fortluftfeuchte	1	1					Technikraum		03	F	04	RH_FORTLU
<b>Comfortparameter</b>														
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Aula		04	T	01	T_EG_AULA
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Aula		04	F	01	RH_EG_AULA
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Lager		04	T	02	T_EG_LAGER
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Lager		04	F	02	RH_EG_LAGER
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Büroleitung		04	T	03	T_EG_BUEROLEITUNG
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Büroleitung		04	F	03	RH_EG_BUEROLEITUNG
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Sekretariat		04	T	04	T_EG_SEKRETARIAT
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	EG-Sekretariat		04	F	04	RH_EG_SEKRETARIAT
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp., Feuchte, und CO2-Fühler sind ein Kombisensor	OG-Aula		05	T	01	T_OG_AULA
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp., Feuchte, und CO2-Fühler sind ein Kombisensor	OG-Aula		05	F	01	RH_OG_AULA
CO2-Fühler	CO2		1		1			Temp., Feuchte, und CO2-Fühler sind ein Kombisensor	OG-Aula		05	C	01	CO2_OG_AULA
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Seminar		05	T	02	T_OG_SEMINAR
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Seminar		05	F	02	RH_OG_SEMINAR
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Büro-Ost		05	T	03	T_OG_BUERO_OST
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Büro-Ost		05	F	03	RH_OG_BUERO_OST
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Büro-Mitte		05	T	04	T_OG_BUERO_MITTE
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Büro-Mitte		05	F	04	RH_OG_BUERO_MITTE
Temp.fühler	Raumtemp.		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Büro-West		05	T	05	T_OG_BUERO_WEST
Feuchtfühler	Rel. Feuchte		1		1			Temp. und Feuchtfühler sind ein Kombisensor	OG-Büro-West		05	F	05	RH_OG_BUERO_WEST

### 3.3.1 Messdatenerfassung und -verarbeitung

Zur Erfassung der Messdaten wurde ein SPS Datenloggersystem (siehe Abbildung 10) installiert.

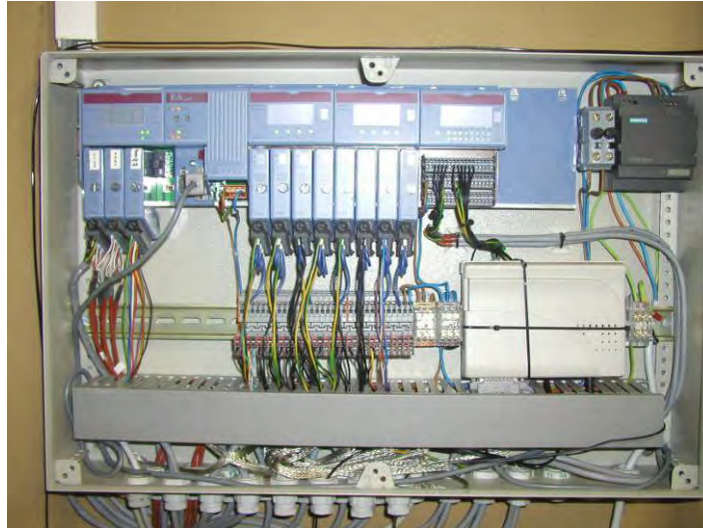


Abbildung 10: Eingebautes Loggersystem Tattendorf (AEE Intec)

Grundsätzlich wurden die analogen Sensoren im 200 ms Rhythmus abgefragt und die Daten als 15min-Mittelwerte im Datenlogger gespeichert. Sollte ein einzelner Messwert durch technische Probleme (kurzzeitiger Fühlerbruch, elektromagnetische Rückkopplung usw.) außerhalb eines vorher definierten Wertebereichs liegen und so die Mittelwertbildung verfälschen, so wurde dieser Wert in einem eigenen Fehlerprotokoll abgespeichert.

Die Speicherkapazität des Datenloggers war so konzipiert, dass eine durchgehende Datenaufzeichnung von mindestens einem Monat möglich ist. Die Daten wurden trotzdem täglich ausgelesen und in eine SQL-Datenbank übertragen bzw. gesichert.

Abbildung 11 zeigt schematisch den Datenfluss vom Sensor über die Messdatenerfassung, die Datenübertragung, -speicherung, -analyse und schließlich die Auswertung.

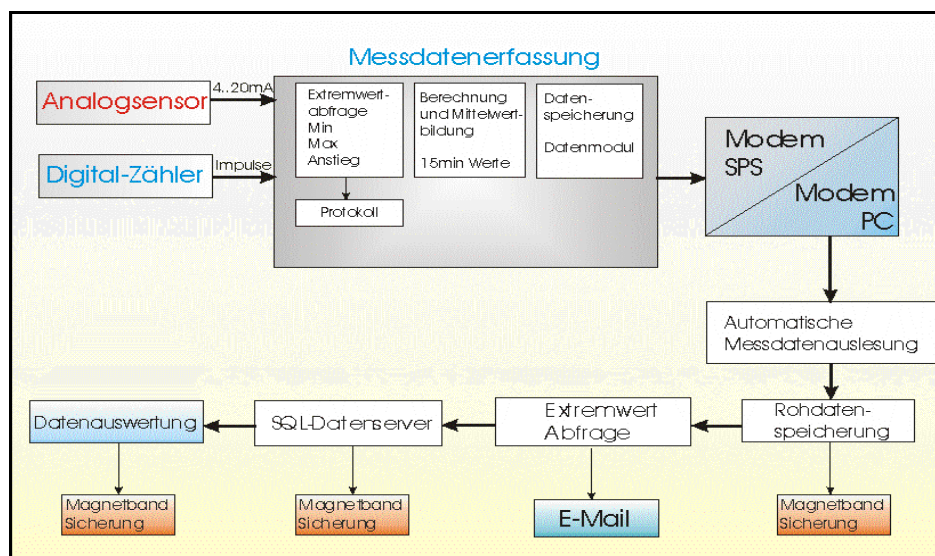


Abbildung 11: Schema der Datenaufzeichnung und Weiterverarbeitung

Die Daten wurden für die Auswertung sowohl als 15 min-Werte als auch als Stunden- und Tageswerte aus der Datenbank ausgelesen.

Die Messungen im Lehmbürogebäude Tattendorf begannen am 7.6.2005. Im Laufe des Sommers 2005 wurde das Gebäude bezogen. Da aber die E-Heizpatrone im Speicher erst im Dezember 2005 eingebaut wurde und auch in der zweiten Hälfte von 2005 ein defekter Stromzähler und ein defektes Wärmetauscherrad getauscht werden mussten, wurde als erstes Messjahr das Jahr 2006 ausgewertet.

Insgesamt wurde für die energietechnische und baubiologische Untersuchung des Gebäudes ein Zeitraum von 24 Monaten (01.01.2006 bis 31.12.2007) herangezogen, messtechnisch erfasst und ausgewertet.

Das energietechnische Monitoring beinhaltet eine Bewertung der Komfortparameter Temperatur, Feuchte und CO<sub>2</sub>-Konzentration im Inneren des Gebäudes, sowie die Erstellung einer kompletten Energiebilanz.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse des umfangreichen Monitorings dargestellt und eingehend erläutert.



## 4 Analyse der Messdaten

### 4.1 Einleitung

Dieses Kapitel beinhaltet die Messergebnisse, die im Zeitraum Januar 2006 bis Dezember 2007 gesammelt wurden.

Im Rahmen des Monitorings wurden analog zu den Auswertungen im EU-CEPHEUS Projekt die Komfortparameter und das Benutzerverhalten ausgewertet sowie eine komplette Energiebilanz erstellt.

Außerdem werden aufgetretene Probleme anhand von Detailgrafiken dargestellt, deren Ursachen aufgezeigt und Verbesserungsvorschläge gemacht.

#### 4.1.1 Konventionen

##### Bewertung des Primärenergiebedarfs

Zur Auswertung des Primärenergieverbrauches wurden folgende Primärenergiefaktoren verwendet:

- Gas 1,15
- Strom 2,50
- Holzpellets 0,10
- Solar 0,00

Bei diesen Werten handelt es sich um mittlere Werte des nicht erneuerbaren, kumulierten Energieaufwandes für die Bereitstellung des jeweiligen Energieträgers an der Gebäudehülle. Die Primärenergiefaktoren repräsentieren den europäischen Durchschnitt und können für einzelne Projekte auf Grund der örtlichen Gegebenheiten stark abweichen.

##### Bewertung des Heizwärmebedarfs

Bei der Bewertung des Heizwärmebedarfs (HWB) ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert bei dem jeweils betrachteten Messjahr vorliegenden Wetterbedingungen und Raumtemperaturen zustande kommt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde, analog zur Vorgangsweise im CEPHEUS-Projekt, der Heizwärmebedarf auf 20°C Raumtemperatur umgerechnet.

Für die Bewertung des Heizwärmebedarfs (HWB) ist die durchschnittliche Raumtemperatur während der Heiztage der betrachteten Messperiode zu ermitteln und anschließend mit dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) der Heizwärmebedarf bei 20° (standardmäßig) und den gemessenen Klimadaten, sowie bei der ermittelten Raumtemperatur mit den gemessenen Klimadaten zu berechnen.

Das Verhältnis dieser beiden Werte wird dann zur Umrechnung des gemessenen Heizwärmebedarfs nach der folgenden Formel verwendet:

$$HWB_{20^{\circ}C} = HWB_{gemessen} \cdot \frac{HWB_{PHPP\_Klima\_gemessen\_20^{\circ}C}}{HWB_{PHPP\_Klima\_gemessen\_T,gemessen}}$$

In einem weiteren Schritt wird analog zur Raumtemperaturnormierung der Heizwärmebedarf auf Standardklimadaten normiert.

Zu diesem Zweck wird ein durchschnittlicher Norm- Klimadatensatz für Wien herangezogen. (siehe Abschnitt 4.1.2)

Mithilfe der Formel

$$HWB_{20^{\circ}C\_Standard\_Wien\_PEP} = HWB_{20^{\circ}C} \cdot \frac{HWB_{PHPP,20^{\circ}C,Standard\_Wien\_PEP}}{HWB_{PHPP\_Klima\_gemessen\_20^{\circ}C}}$$

ergibt sich der auf 20°C Raumtemperatur und das Standardklima von Wien genormte Heizwärmebedarf.

### 4.1.2 Wetterdaten

Die in Abbildung 12 dargestellten Daten zeigen einen Vergleich des Standardwetterdatensatzes von Wien, der im Rahmen des EU Projektes „Promotion of European Passiv Houses (PEP)“ für die Verwendung im Passivhausprojektierungspaket (PHPP) festgelegt wurde, mit den im Rahmen dieses Messprogramms in Tattendorf erhobenen Werten.

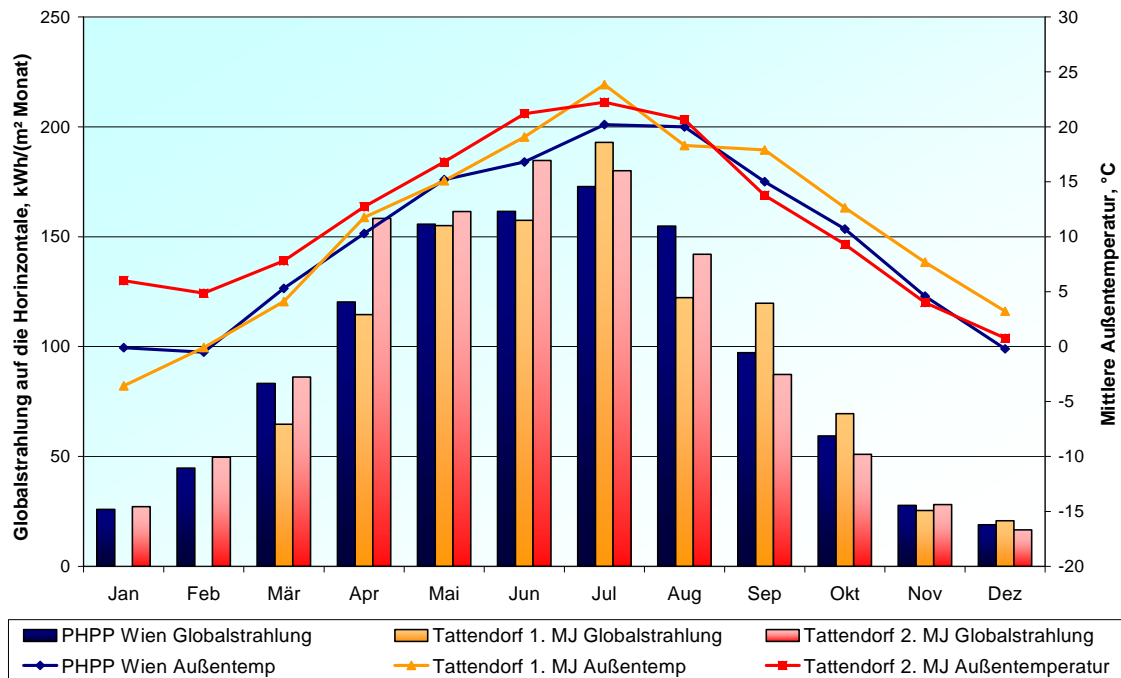


Abbildung 12: Vergleich der Klima Daten für Wien mit den in der ersten Messperiode erhobenen Daten

In Abbildung 12 ist ersichtlich, dass sich große Abweichungen vor allem bei den warmen Außentemperaturen im ersten Halbjahr 2007 ergeben sowie bei der Globalstrahlung in den Sommermonaten. Die mittlere Außentemperatur liegt in beiden Messjahren deutlich über dem langjährigen Mittelwert für Wien.

Die folgende Tabelle 4 zeigt die Jahreswerte im Überblick.

Tabelle 4: Wetterdaten im Vergleich

	Globalstrahlung horizontal [kWh/(m² a)]	Mittlere Außentemperatur [°C]
PHPP Wien	1122,6	9,8
Tattendorf 1. MJ	1113,0	10,8
Tattendorf 2. MJ	1172,6	11,7

## 4.2 Aufgetretene Probleme

### 4.2.1 Heizkreistemperaturen

Den nachfolgenden Abbildung 13 und Abbildung 14 kann man entnehmen, dass die Beheizung des Bürogebäudes zu einem überwiegenden Anteil durch die passiv solaren Gewinne erfolgt.

Abbildung 13 zeigt im Detail die Raumtemperaturen, die Außentemperatur, die über den Heizkreis eingebrachte Energie, sowie die solare Einstrahlung auf die Kollektorebene welche vertikal aufgestellt ist.

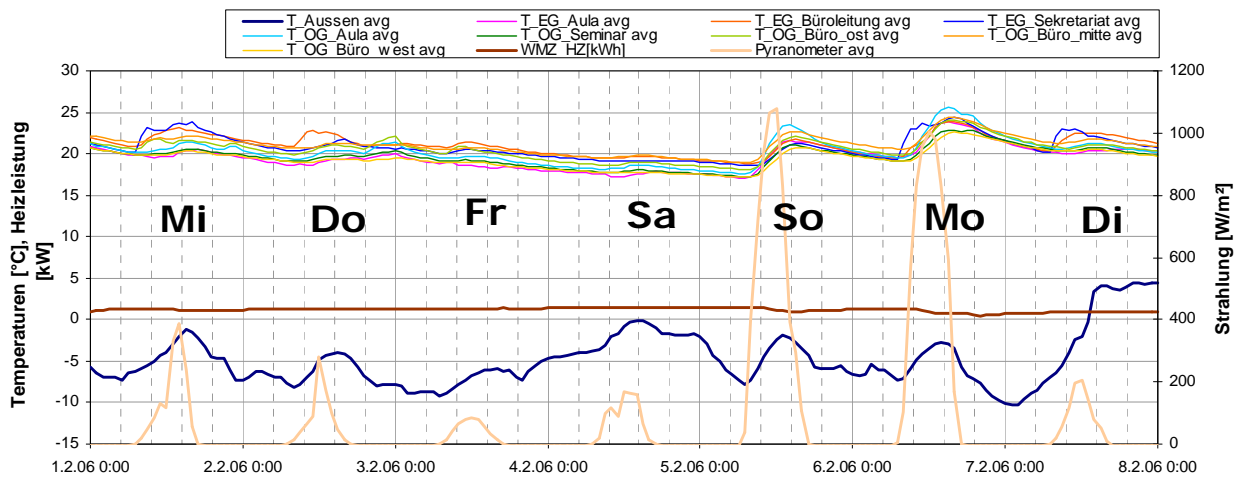


Abbildung 13: Raumtemperaturen und Heizleistung in einer Woche im Februar 2006

Man kann erkennen, dass an Tagen mit geringer solarer Einstrahlung (01.01.2006 bis 04.02.2006) die Raumtemperatur im Schnitt absinkt, bei hoher solarer Einstrahlung (05.02. und 06.02.2006) dagegen ein starker Anstieg zu verzeichnen ist.

Die Heizleistung des Heizkreises lag in dieser Woche konstant zwischen 1kW und 2 kW und zusätzlich hat die Anwesenheit von Personen, sowie der Betrieb von Bürogeräten unter der Woche eine Beheizung des Gebäudes bewirkt.

Der Anstieg der Temperatur am Sonntag, den 5.2.2006, an dem kein Bürobetrieb war, zeigt allerdings deutlich die Wirkung der passiv solaren Gewinne

Abbildung 14 zeigt beispielhaft für diese Woche im Februar 2006 die Heizungsvorlauftemperaturen, die annähernd konstant bei 38°C lag.

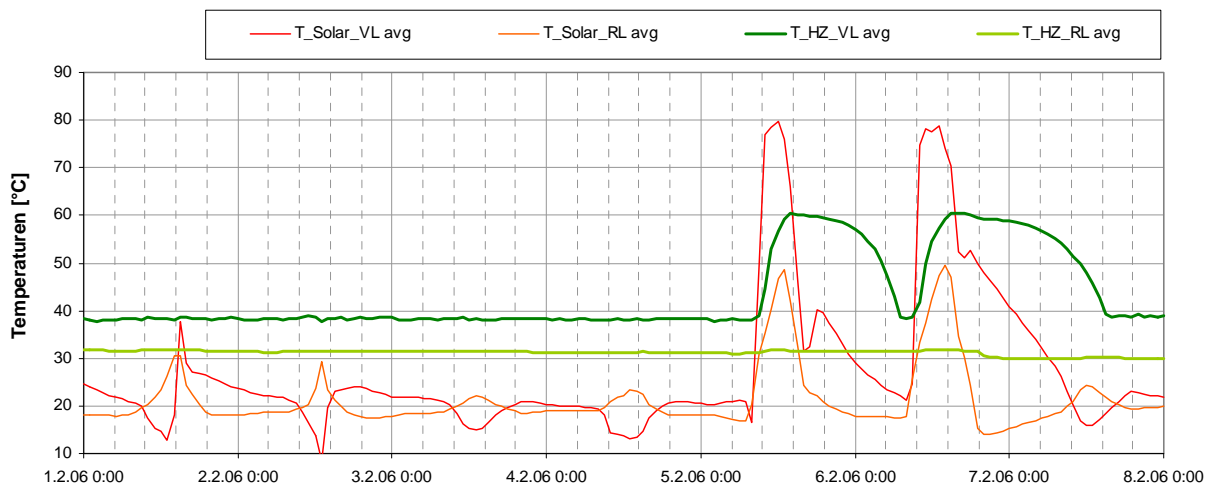


Abbildung 14: Systemtemperaturen in einer Woche im Februar 2006

Vermutlich wurde die Heizungsvorlauftemperatur im Speicher auf der Höhe des Heizkreisvorlaufs durch den E-Heizstab konstant gehalten.

Nur bei solarem Eintrag in den Pufferspeicher stieg die Temperatur im Speicher und damit auch im Heizkreis an (05.02. und 06.02.2006). Die Heizleistung dagegen steigt in diesem Fall aber nicht an, da durch die Thermostatventile der Durchfluss im Heizkreis stark gedrosselt wird (zur Verhinderung hoher Raumtemperaturen).

Durch den E-Heizstab wird der obere Bereich des Pufferspeichers immer auf einer hohen Temperatur gehalten. Die dort vorhandene Wärme kann aber nur von der Warmwasserbereitung genutzt werden, da der Vorlauf für die Heizkreise unterhalb des Heizstabes liegt. Wie in einem Bürogebäude zu erwarten, ist aber der Warmwasserverbrauch sehr gering.

Diese Konstellation bewirkt zwei Dinge: Einerseits ist der Pufferspeicher im oberen Teil immer heiß, dadurch entstehen unnötig große Speicherverluste. Andererseits verhindert der niedrig angebrachte Vorlauf zum Heizkreis höhere Temperaturen im Heizkreis und begrenzt somit auch die maximale Heizleistung.

#### 4.2.2 Optimierungsvorschlag Heizkreistemperaturen

Um Wärmeverluste zu verringern, sollte das für die Warmwasserbereitung vorgesehene Volumen im Speicher dem Bedarf angepasst, also geringer, angesetzt werden

Um höhere Vorlauftemperaturen und somit höhere Wärmeleistungen zu ermöglichen, sollte der Vorlauf für den Heizkreis wesentlich höher gesetzt werden, in jedem Fall aber über die Position der E-Heizpatrone.

#### 4.2.3 Stromverbrauch Brunnenpumpe zur Gebäudekühlung

In Abbildung 15 ist der Gesamtstromverbrauch für zwei Wochen im Juni dargestellt. Man erkennt deutlich die Maxima während der Bürozeiten. In der zweiten Woche dagegen ist der Grundstrombedarf mehr als verdreifacht.

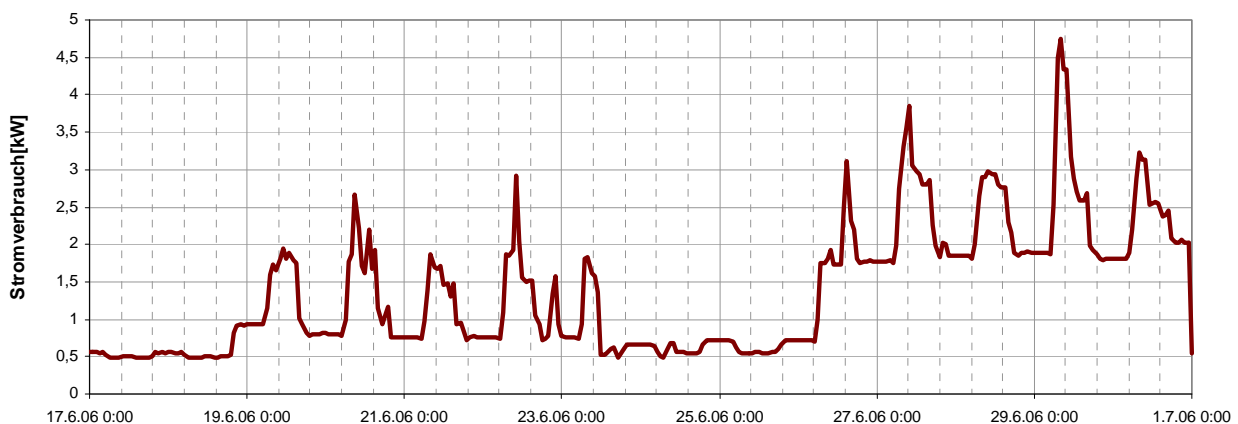


Abbildung 15: Gesamtstromverbrauch im Juni 2006

Der Grund dafür liegt im Betrieb der Brunnenpumpe, die zur Kühlung eingesetzt wurde. Offenbar verbraucht diese Pumpe extrem viel Strom. Dies ist auch gut in der Jahresbilanz (siehe Tabelle 5) zu erkennen.

#### 4.2.4 Optimierungsvorschlag Brunnenpumpe

Durch die Pumpe wurde 2006 mehr Strom eingesetzt, als Kühlenergie bereitgestellt wurde (in kWh Stromverbrauch bzw. Kühlenergie).

Aufgrund dieser Erkenntnis wurde die Pumpe abgebaut.

### 4.3 Detaillerggebnisse erstes Betriebsjahr

Als erstes Betriebsjahr wurde das Kalenderjahr 2006 analysiert. Die nachfolgenden Abbildungen und Tabellen beinhalten, wenn nicht anders angeführt, Daten des als Messjahr 1 angeführten Zeitraums von 01.01.2006 bis 31.12.2006

#### 4.3.1 Komfortparameter

Abbildung 16 zeigt den Verlauf der Tagesmittelwerte der Raumtemperaturen, Raumfeuchten und der Außentemperatur sowie die Globalstrahlung auf die Südfassade (Kollektorebene) pro Tag für das erste Messjahr. Für die Auswertung der Komfortparameter Raumfeuchte und Raumtemperatur wurden nur die Messwerte in den Büroräumen verwendet und nicht die Daten aus den wenig genutzten Bereichen wie Aula, Seminarraum und Lager.

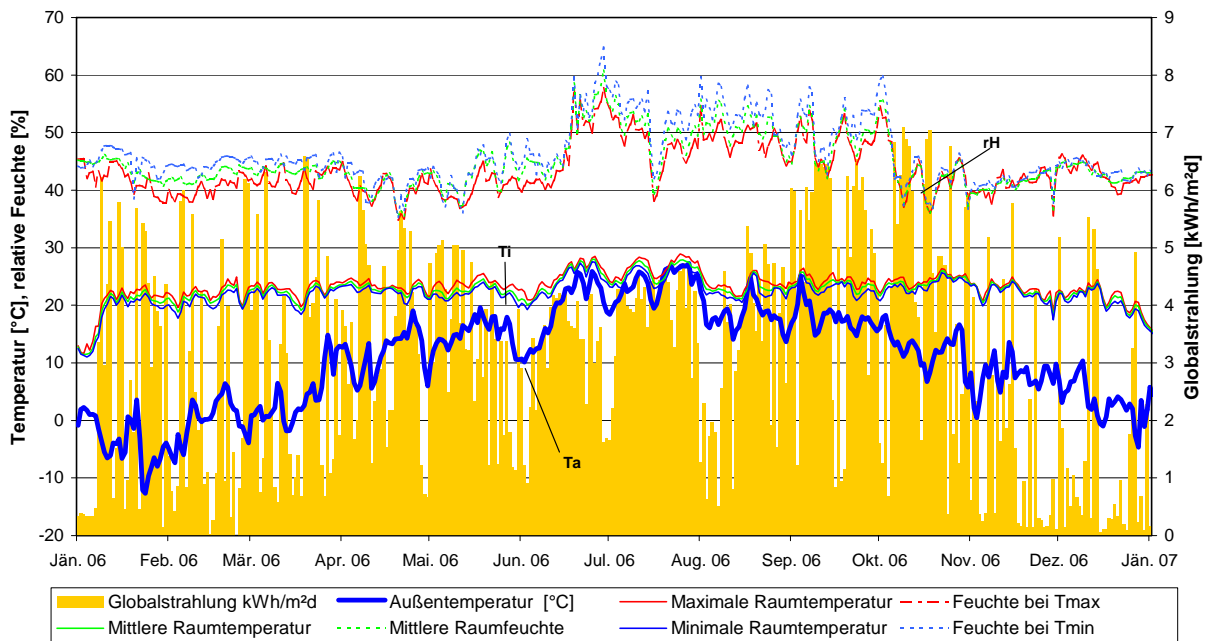


Abbildung 16: Raumklima in Tagesmittelwerten Messjahr 1

Die Raumtemperaturen in den Büros lagen in den Wintermonaten des ersten Betriebsjahres immer wieder auch unter 20°C. Besonders auffällig ist dies um den Jahreswechsel herum, wo das Büro nicht genutzt und auch kaum beheizt wurde. Aber auch sonst sinkt die Raumtemperatur besonders an strahlungsarmen Tagen, wenn kaum passiv solare Gewinne vorhanden sind, unter 20°C. Im Sommer stieg die mittlere bzw. maximale Raumtemperatur relativ häufig über 25°C.

Konstant gute Werte zeigte die relative Raumfeuchte, die sich fast durchgehend mit Werten zwischen 35% und 60% innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen gemäß ÖNORM EN 13779 befand.

Die guten Werte werden auch dadurch unterstützt, dass parallel zu einem konventionellen Lüftungsgerät mit Kreuzwärmetauscher auch ein Lüftungsgerät mit Wärme- und Feuchterückgewinnung eingesetzt wurde.

Beim Vergleich der Abbildung 16 mit anderen Messprojekten ist zu beachten, dass die Strahlung hier in Kollektorebene, d. h. senkrecht und nicht wie bei den meisten Projekten, horizontal, gemessen wurde.

In Abbildung 17 sind Stundenmittelwerte der Raumtemperaturen in den Büroräumen dargestellt. Dabei wurde nur der Zeitraum von Montag bis Freitag, zwischen 8 bis 17 Uhr (Bürobetrieb) berücksichtigt.

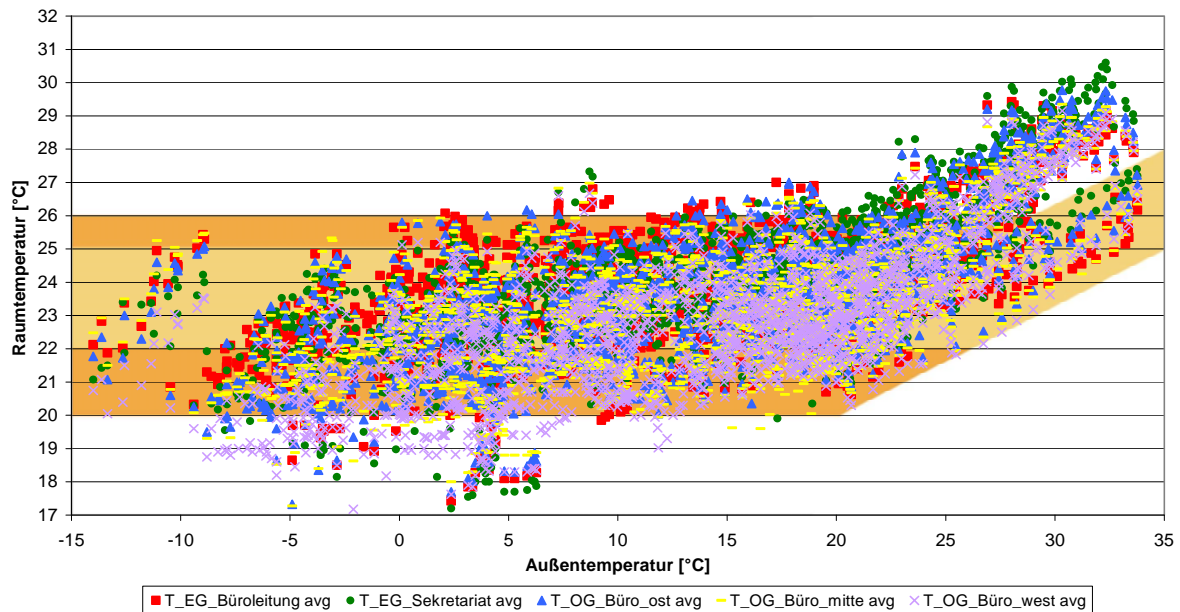


Abbildung 17: Verteilung der mittleren Raumtemperaturen in den Büros als Funktion der Außentemperatur im Messjahr 1; Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten)

Vor allem an strahlungsärmeren Tagen lagen die Temperaturen morgens zu Büroöffnung des Öfteren unter 20°C lag. Durch passiv solare Gewinne stieg die Temperatur im Laufe des Tages allerdings meist recht schnell wieder über die Behaglichkeitsschwelle von 20°C. Wenn nötig, wurde aber auch in einigen Räumen mit Elektro-Radiatoren nachgeheizt. Wie auch in der Energiebilanz (siehe Tabelle 5) zu sehen ist, ist der auf diese Weise ins Gebäude eingebrachte Energieanteil nicht unerheblich, auch wenn der Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes äußerst gering ist.

In der Ferienzeit zum Jahreswechsel wurde das Gebäude so gut wie gar nicht beheizt und die Räume sind bis auf 11-12°C ausgekühlt.

Die meisten Messwerte liegen aber im eingezeichneten Behaglichkeitsfeld. Im Sommer steigen die Temperaturen in den Büros bis auf knapp 30°C und sind damit annähernd gleich den Außentemperaturen, in einigen Fällen sogar etwas höher.

Abbildung 18 zeigt die Raumtemperaturen am kältesten und wärmsten Tag im ersten Messjahr.

Am wärmsten Tag mit einer Außentemperatur von knapp 34°C lag die über alle Büroräume gemittelte Raumtemperatur bei etwa 26°C. Am kältesten Tag lag die Außentemperatur bei -15,5°C und die mittlere Raumtemperatur bei 23°C. In der Heizperiode lag die über alle Büros gemittelte Raumtemperatur zu den Betriebszeiten des Büros bei 22,4°C.

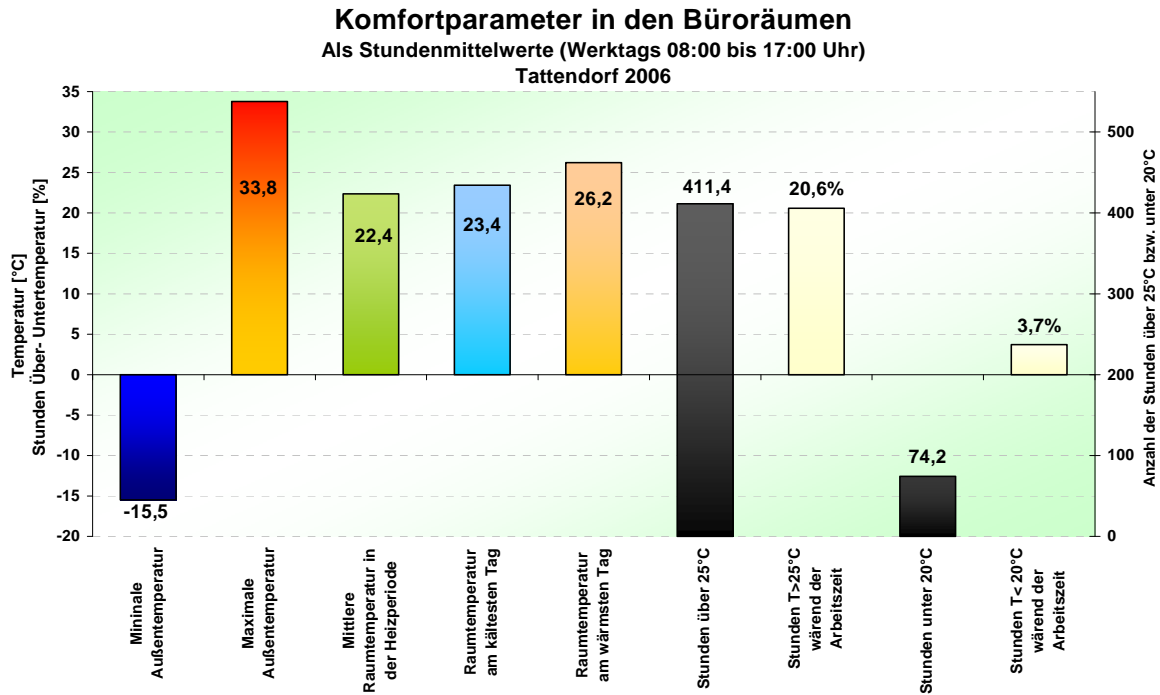


Abbildung 18: Auswertung der Raumtemperaturen Messjahr1; Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten)

Insgesamt lag die mittlere Raumtemperatur 411 Stunden über 25°C, und nur 74 Stunden unter 20°C. Die Zeiträume, während derer die Raumtemperatur unter 20°C lag, waren hauptsächlich in der Ferienzeit um den Jahreswechsel.

Abbildung 19 zeigt die relative Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Büroräumen als Funktion der Raumlufttemperatur.

Die Darstellung umfasst die Stundenmittelwerte der Raumtemperaturen, sowie der Raumfeuchten der Büros während der Bürozeiten für die Heizperiode 10.2006 bis 03.2007, wenn die gemessene Außentemperatur kleiner als 15°C betrug.

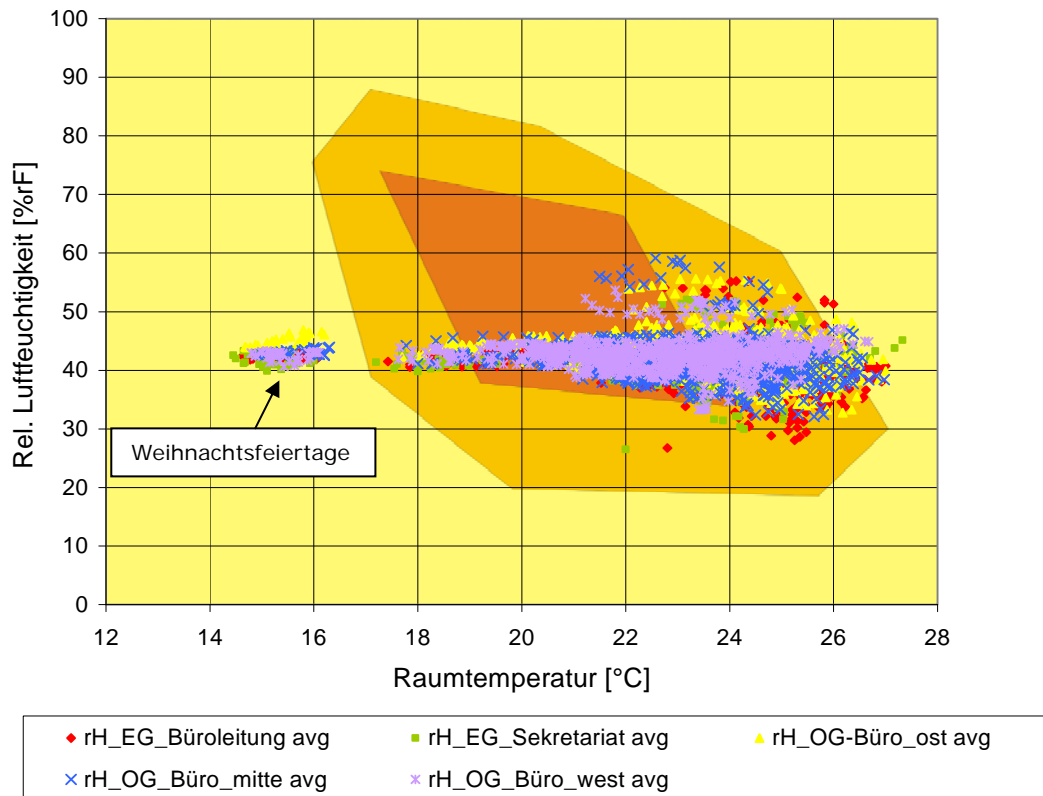


Abbildung 19 Behaglichkeitsfeld über die Heizperiode 10.2006 bis 03.2007

Es ist positiv zu bemerken, dass der Großteil der Luftfeuchtigkeit sehr konstant zwischen 30 und 50% liegt, was exakt dem angestrebten Behaglichkeitsbereich entspricht.

Die Temperaturen liegen dagegen während der Heizsaison vor allem in den Morgenstunden fallweise zu niedrig. Wie bereits erwähnt, ist eine mögliche Ursache dafür die langsame Aufheizung des Gebäudes am Morgen, die wiederum durch die niedrigen Vorlauftemperaturen des Heizkreises hervorgerufen wird.

Hohe passiv solare Gewinne ermöglichen bei starker solarer Einstrahlung auch im Winter ausgesprochen hohe Raumtemperaturen (bis 26°C).



### 4.3.2 Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage im Lehm- Passivhausbürogebäude ist sowohl mit einer Wärme- als auch mit Feuchterückgewinnung ausgestattet, womit sich die sehr guten Werte für die Innenraumfeuchte während der Heizsaison erklären lassen.

In Abbildung 20 ist beispielhaft dargestellt, welchen Beitrag die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage leistet

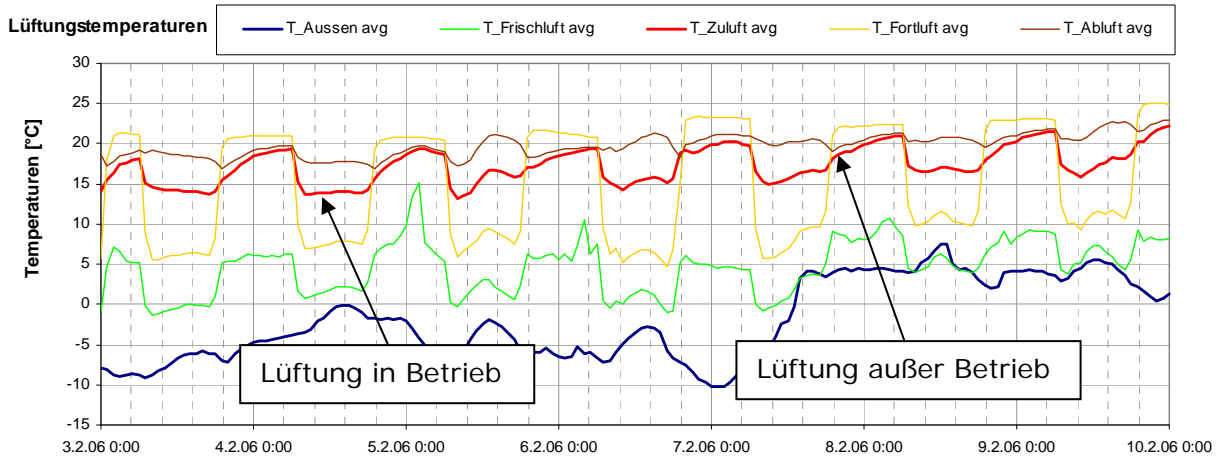


Abbildung 20: Temperaturen im Lüftungssystem im Februar 2006

Bei Lüftungsbetrieb wird die Zuluft bis auf etwa 3 – 5 K unter der Ablufttemperatur aufgewärmt, was eine direkte Auswirkung auf den Heizenergiebedarf des Gebäudes hat.

In Abbildung 21 sind alle gemessenen Lüftungsparameter, sowie die Wärmerückgewinnungszahlen (grüne Balken) für das erste Messjahr dargestellt.

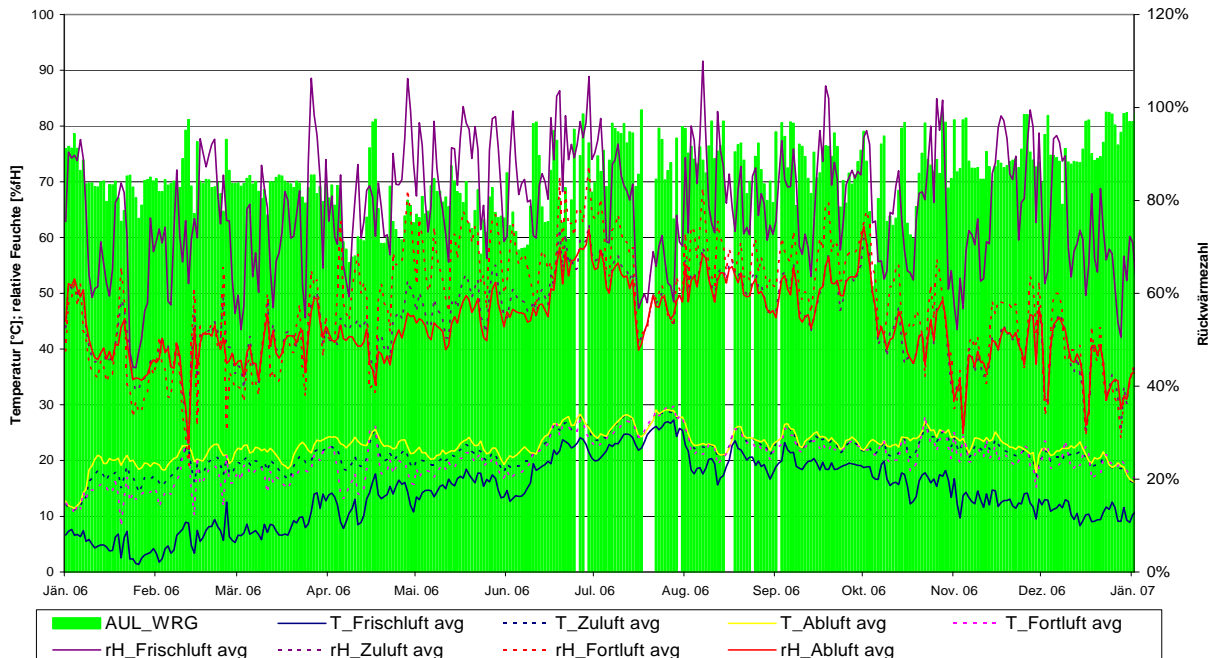


Abbildung 21: Lüftungsparameter und Wärmerückgewinnungszahl Messjahr 1

Durch die Messung aller relevanten Temperaturen (Abluft-, Fortluft-, Zuluft- und Außenlufttemperatur) ist es möglich die Rückwärmezahl  $\Phi$  zu bestimmen. Diese errechnet sich für die Außenluft laut VDI 2071 bzw. EN 308 wie folgt:

$$\phi = \frac{T_{\text{Zuluft}} - T_{\text{Außenluft}}}{T_{\text{Abluft}} - T_{\text{Außenluft}}}$$

In Abbildung 22 ist die Wirkung der Feuchterückgewinnung während einer Periode im Februar 2006 dargestellt.

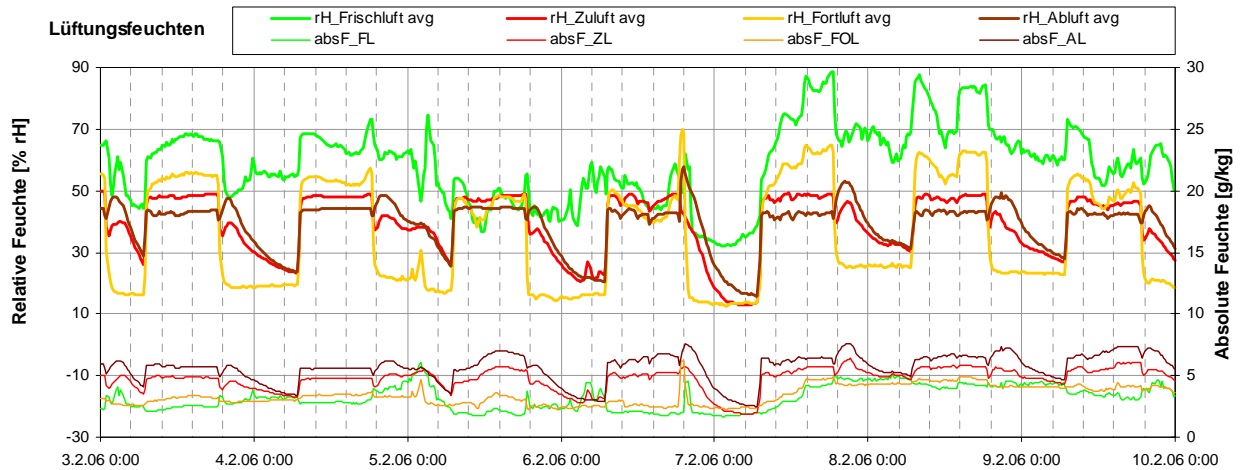


Abbildung 22: Relative und absolute Luftfeuchtigkeit im Lüftungssystem im Februar 2006

Die unteren Kurven zeigen die absolute Luftfeuchtigkeit auf allen vier Seiten des Lüftungsgerätes. Dabei zeigt sich, dass die verhältnismäßig trockene Frischluft etwa 2 – 3 g/kg Feuchtigkeit aus der Abluft zurückgewinnt und anschließend mit knapp 50% relative Feuchte in den Raum eingeblasen wird.

Analog zur Wärmerückgewinnungszahl kann mit den jeweiligen absoluten Feuchteparametern die Rückfeuchtezahl  $\Psi$  gemäß der Formel

$$\Psi = \frac{x_{\text{Zuluft}} - x_{\text{Außenl.}}}{x_{\text{Abluft}} - x_{\text{Außenl.}}}$$

bestimmt werden.

Die durchschnittliche Rückfeuchtezahl lag im ersten Messjahr bei knapp 55%.

### 4.3.3 Energiebilanz

In Tabelle 5 ist die Gesamtenergiebilanz für das erste Messjahr von Januar bis Dezember 2006 zusammengefasst.

Tabelle 5: Energiebilanz des ersten Messjahres

	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	Prozentanteil
<b>Gesamtwärmeverbrauch</b>	<b>5415</b>	<b>18,6</b>	<b>100%</b>
davon:			
Heizung gesamt:	<b>2662</b>	<b>9,1</b>	<b>49,2%</b>
Warmwasserverbrauch	<b>354</b>	<b>1,2</b>	<b>6,5%</b>
Verluste (Boiler, Kessel, Solarüberschuss)	<b>2399</b>	<b>8,2</b>	<b>44,3%</b>
<b>Kälteverbrauch</b>	<b>-674</b>	<b>-2,3</b>	<b>100%</b>
davon:			
Brunnenwasserkühlung	-674	-2,3	100,0%
<b>Gesamtwärmeeintrag</b>	<b>5415</b>	<b>18,6</b>	<b>100%</b>
davon:			
Heizstab Speicher	1150	4,0	21,2%
E-Radiatoren	1074	3,7	19,8%
Solareintrag	3191	11,0	58,9%
<b>Stromverbrauch gesamt</b>	<b>13583</b>	<b>46,7</b>	<b>100%</b>
davon:			
Bürostrom:	<b>7013</b>	<b>24,1</b>	<b>51,6%</b>
Licht	1220	4,2	9,0%
E-Schuko	1073	3,7	7,9%
EDV	4720	16,2	34,8%
Lüftungsstrom	<b>1884</b>	<b>6,5</b>	<b>13,9%</b>
Technik & Pumpenstrom	<b>1231</b>	<b>4,2</b>	<b>9,1%</b>
davon: Brunnenpumpe (Kühlung)	1010	3,5	7,4%
davon: restliche Hilfsenergie	221	0,8	1,6%
Heizstab Speicher	<b>1150</b>	<b>4,0</b>	<b>8,5%</b>
E-Radiatoren	<b>1074</b>	<b>3,7</b>	<b>7,9%</b>

Der gemessene Heizenergiebedarf lag im ersten Messjahr bei 9,1 kWh/(m<sup>2</sup> a) und damit deutlich unter dem Passivhauskennwert von 15 kWh/(m<sup>2</sup> a). 5,5 kWh/(m<sup>2</sup> a) wurden dabei über den Heizkreis übertragen und der Rest über E-Radiatoren zugeheizt.

Bei der Bewertung des Heizwärmebedarfs (HWB) ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert bei den in diesem Messjahr vorliegenden Wetterbedingungen und Raumtemperaturen zustande gekommen ist. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde, analog zur Vorgangsweise im CEPHEUS-Projekt, der Heizwärmebedarf auf 20°C Raumtemperatur umgerechnet.

In dieser Messperiode lag die durchschnittliche Raumtemperatur während der Heiztage bei 22,35°C. Mit dem Passivhaus- Projektierungspaket (PHPP) wurde der Heizwärmebedarf bei 20°C und bei 22,35°C Raumtemperatur und mit gemessenen Wetterdaten berechnet. Das Verhältnis dieser beiden Werte wurde dann zur Umrechnung des gemessenen Heizwärmebedarfs nach der folgenden Formel verwendet

$$HWB_{20^{\circ}C} = HWB_{gemessen} \cdot \frac{HWB_{PHPP\_Klima\_gemessen\_20^{\circ}C}}{HWB_{PHPP\_Klima\_gemessen\_T,gemessen}}$$

In einem weiteren Schritt wurde analog zur Raumtemperaturnormierung der Heizwärmebedarf zusätzlich auf Standardklimadaten normiert.

Zu diesem Zweck wurde ein durchschnittlicher Klimadatensatz für Wien verwendet (PEP- vgl. Kapitel 4.1.2). Mithilfe der folgenden Formel

$$HWB_{20^{\circ}C\_Standard\_Wien\_PEP} = HWB_{20^{\circ}C} \cdot \frac{HWB_{PHPP,20^{\circ}C,Standard\_Wien\_PEP}}{HWB_{PHPP\_Klima\_gemessen\_20^{\circ}C}}$$

Nach der Normierung auf 20°C Raumtemperatur und das Standardklima von Wien (PEP) ergibt sich für das erste vollständige Messjahr in Tattendorf ein Heizenergiebedarf von

**7,0 kWh/(m<sup>2</sup> a).**

In den folgenden Grafiken sind jeweils die gemessenen Energien und nicht normierte Werte dargestellt.

Ein Grund für die niedrige Heizenergie, die über den Heizkreis ins Gebäude eingebracht wurde, ist die niedrige Vorlauftemperatur (siehe Abschnitt 4.2.1). Dies führte dazu, dass die Raumtemperaturen morgens bei Arbeitsbeginn häufig unter 20°C lagen und darum zumindest in einigen Büros über E-Radiatoren zugeheizt wurde. Trotzdem liegt der Gesamtwärmeverbrauch sehr niedrig, was hauptsächlich an den sehr hohen passiv solaren Gewinnen des Gebäudes liegt.

Bei Sonneneinstrahlung muss praktisch nicht geheizt werden. Andererseits wird das Gebäude nicht 24 h pro Tag auf der Solltemperatur gehalten, sondern die Heizung wird nachts, am Wochenende und an Feiertagen abgesenkt. Außerdem tragen die EDV-Geräte oder die Beleuchtung bei Betrieb erheblich zur Beheizung des Gebäudes bei. Solche inneren Wärmequellen leisten bei Bürogebäuden einen nicht zu vernachlässigenden Anteil zur Wärmebedarfsdeckung. Umgekehrt führen diese inneren Lasten im Sommer zu einer ungewollten Überhitzung und machen unter Umständen Maßnahmen zur Kühlung erforderlich.

Wie für ein Bürogebäude zu erwarten, wird kaum Warmwasser verbraucht (6,5% des Gesamtwärmeverbrauchs).

Der Verlustanteil von 44,3% mag hoch erscheinen, der Absolutwert von 6,7 kWh/(m<sup>2</sup> a) ist allerdings eher gering. Die Verluste entstehen einerseits im Winter dadurch, dass der obere Teil des Speichers für die Warmwasserbereitung auf relativ hoher Temperatur gehalten wird, aber kaum Verbrauch zu verzeichnen ist. Andererseits resultiert ein erheblicher Anteil der Verluste aus den Solarerträgen im Sommer, die nicht genutzt werden können und somit als Verlustenergie zu bilanzieren sind.

Auf der Wärmeerzeugungsseite wurde ein Großteil (etwa 60%) durch die Solaranlage eingebracht, allerdings trägt diese davon nur einen geringen Anteil zur Raumheizung bei, da der überwiegende Anteil des Solarertrages in den Monaten ohne Heizbedarf nicht genutzt werden konnte.

Aus diesem Grund wurde ein relativ großer Teil (etwa 40%) der Wärme elektrisch erzeugt (E-Heizstab im Speicher und E-Radiatoren).

Durch die Kühlung über Brunnenwasser wurden etwa 670 kWh aus dem Gebäude abgeführt.

Der Stromverbrauch lag bei 42,4 kWh/(m<sup>2</sup>.a). Der Großteil davon ist genereller Bürostromverbrauch für EDV, Licht und Schuko. Auch die Lüftung ist mit 6,5 kWh/(m<sup>2</sup> a) ein relativ großer Verbraucher.

Der generelle Verbrauch für die Haustechnik ist mit Ausnahme der Pumpe für das Brunnenwasser gering. Daher ist in der Tabelle dieser Posten getrennt ausgewiesen. Der Stromverbrauch der Brunnenwasserpumpe liegt bei etwa 1000 kWh, was angesichts der dadurch erzielten Kühlung von 670 kWh extrem viel ist.

Es wurde deswegen darauf hingewiesen, die Pumpe durch eine energiesparende Pumpe zu ersetzen.

In Abbildung 23 ist die monatliche Energiebilanz für das Lehbürogebäude Tattendorf für das erste vollständig gemessene Betriebsjahr zu sehen.

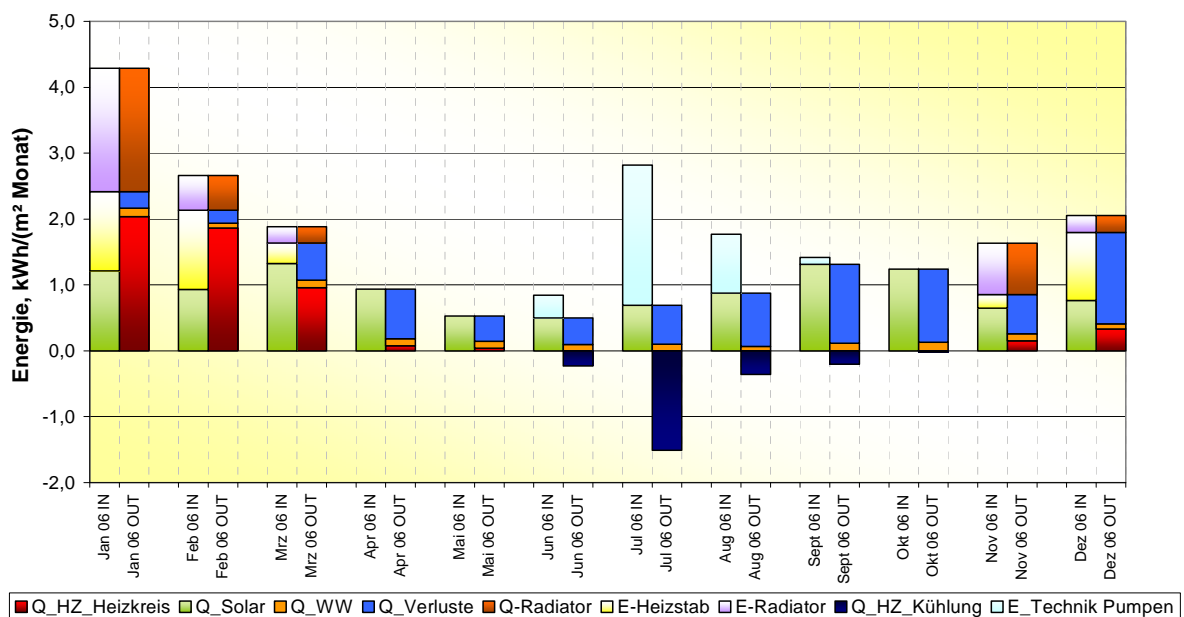


Abbildung 23: Energiebilanz Messjahr 1

Der Heizenergiebedarf ist in dieser Grafik rot dargestellt. Die dunkelroten Säulen zeigen die über den Heizkreis übertragene Heizenergie, hellrot ist die Heizenergie der E-Radiatoren dargestellt.

Heizbedarf bestand im ersten Messjahr nur von Januar bis März und in geringem Maße im November und Dezember. Vor allem im Januar wurde ein Großteil des Heizbedarfs elektrisch gedeckt. Im Februar steigt dann schon der Anteil der Solarenergie und im März ist der elektrische Anteil am Heizen nur noch gering.

In den Sommermonaten sieht man sehr gut den geringen Warmwasserverbrauch und die im Vergleich dazu hohen solaren Erträge. Der nicht verbrauchte Anteil des Solarertrages geht daher als Speicherverluste in die Bilanz ein. Diese Verluste sind aber nicht relevant, da der Warmwasserverbrauch und diese Verluste zu 100% solar gedeckt wurden. Es war keine Nachheizung notwendig.

Negativ ist die übertragene Kühlenergie dargestellt. Im Monat Juli wurde fast ausschließlich über die Brunnenpumpe gekühlt. Deutlich zu erkennen ist der im Vergleich zur abgeführten Kühlenergie äußerst hohe Pumpenstrom.

Nachfolgende Abbildung 24 zeigt den monatlichen Stromverbrauch, aufgeteilt in Bürostrom, Lüftungsstrom, Stromverbrauch für Heizen, sowie Stromverbrauch für Hilfsenergie (Pumpenstrom).

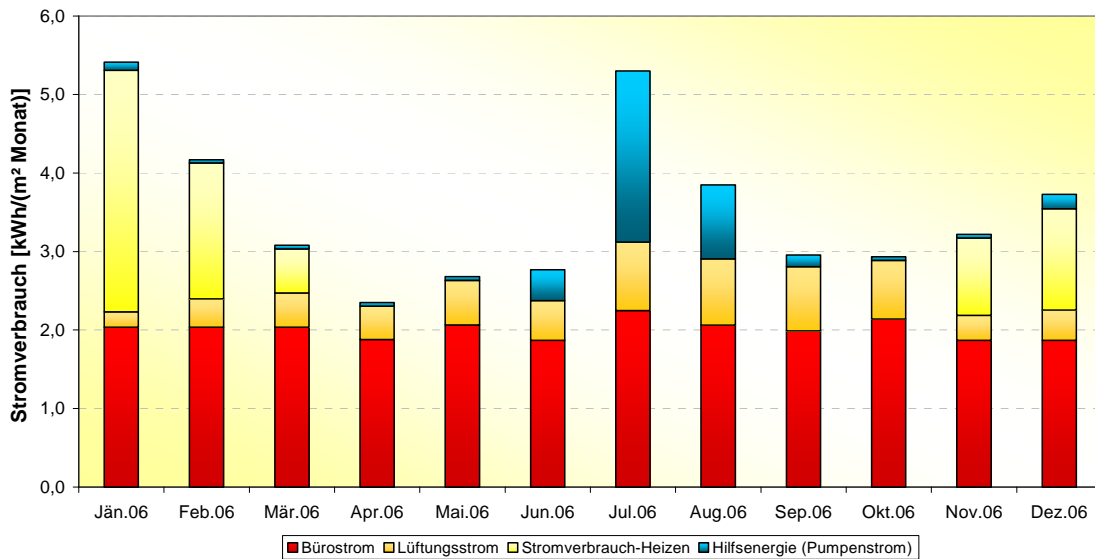


Abbildung 24: Monatlicher Stromverbrauch Messjahr 1

Auffallend sind hier vor allem der hohe Heizungsstromverbrauch in den Wintermonaten (vor allem Januar 2006) und der Stromverbrauch der Brunnenpumpe, die hier unter Hilfsenergie geführt wird, im Sommer. Der Bürostrom als größter Verbraucher ist über das Jahr gesehen sehr konstant.

Anteilmäßig lässt sich der Stromverbrauch im Lehmbürogebäude Tattendorf wie folgt (Abbildung 25) darstellen:

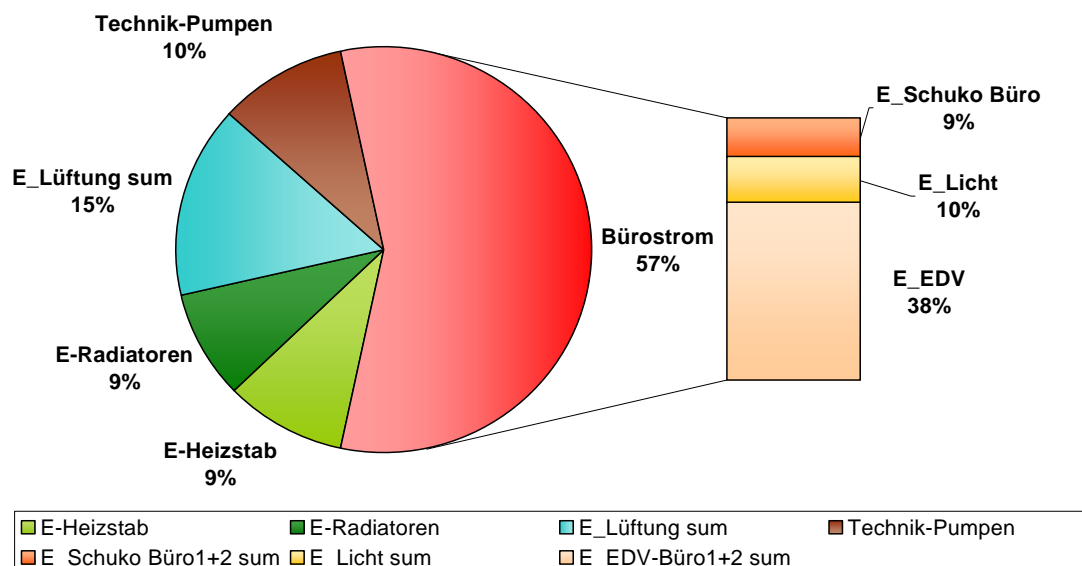


Abbildung 25: Stromverbrauch nach Anteil des jeweiligen Verbrauchers Messjahr 1

Von den einzelnen Verbrauchern hebt sich der Bürostrom und hier wiederum der EDV-Bereich deutlich von den anderen Verbrauchern ab.

Ein großer Anteil dieses Stromverbrauchs wird direkt wieder als Wärme im inneren des Gebäudes freigesetzt, was sehr anschaulich die Größenordnung innerer Lasten von Bürogebäuden aufzeigt.

Abbildung 26 zeigt einen Überblick über den gesamten Energieverbrauch, also den Verbrauch an Wärme, Kälte und Strom.

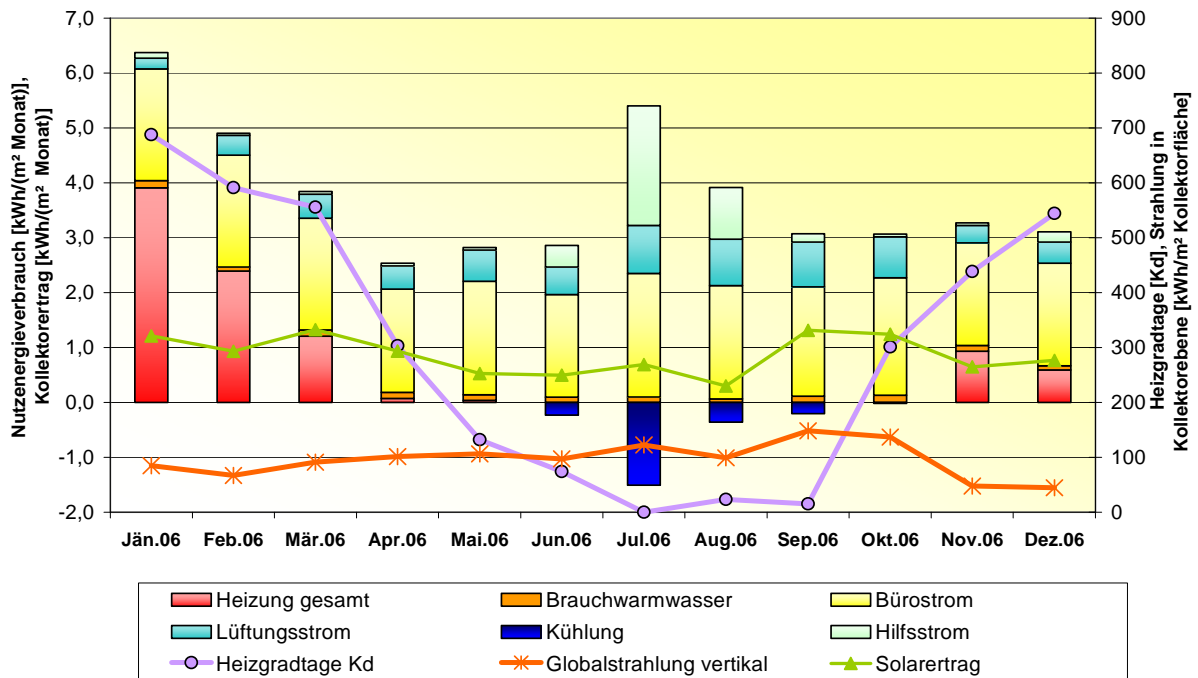


Abbildung 26: Monatlicher Energieverbrauch Lehnbürogebäude Messjahr 1

Der Energieverbrauch wird hier den Wetterdaten sowie dem Ertrag der Solaranlage gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass der Energieverbrauch und der Solarertrag pro Quadratmeter Nutzfläche dargestellt sind. Der Solarertrag ist also nicht, wie sonst üblich, pro Quadratmeter Kollektorfläche angegeben.

Durch diese Darstellung ist ein Vergleich der Nutzenergie und des Kollektorertrags möglich. Die Solaranlage lieferte demnach genug Energie, um das ganze Jahr über den Warmwasserbedarf zu decken, sowie in den Wintermonaten auch einen recht hohen Anteil des Heizenergiebedarfs.

In Abbildung 27 ist die benötigte Heizenergie für Warmwasser und Heizung der verwendeten End- und Primärenergie gegenübergestellt.

Des Weiteren ist im Diagramm die mittlere Heizlast  $\phi_{HL}$  dargestellt, die sich nach folgender Formel errechnet:

$$\text{An HGT (T}_{\text{Außen}} < 15^{\circ}\text{C): } \phi_{HL} = \frac{Q_{\text{Heizung}}[\text{kWh}] \cdot 1000}{24[\text{h}] \cdot A[\text{m}^2]} [\text{W/m}^2]$$

- $Q_{\text{Heizung}}$  über den Heizkreis übertragene Wärme (Summe der Wärmeeinträge über den E-Heizstab und der solaren Einträge, ohne E-Radiatoren) aus Tagesmittelwerten in der Heizperiode

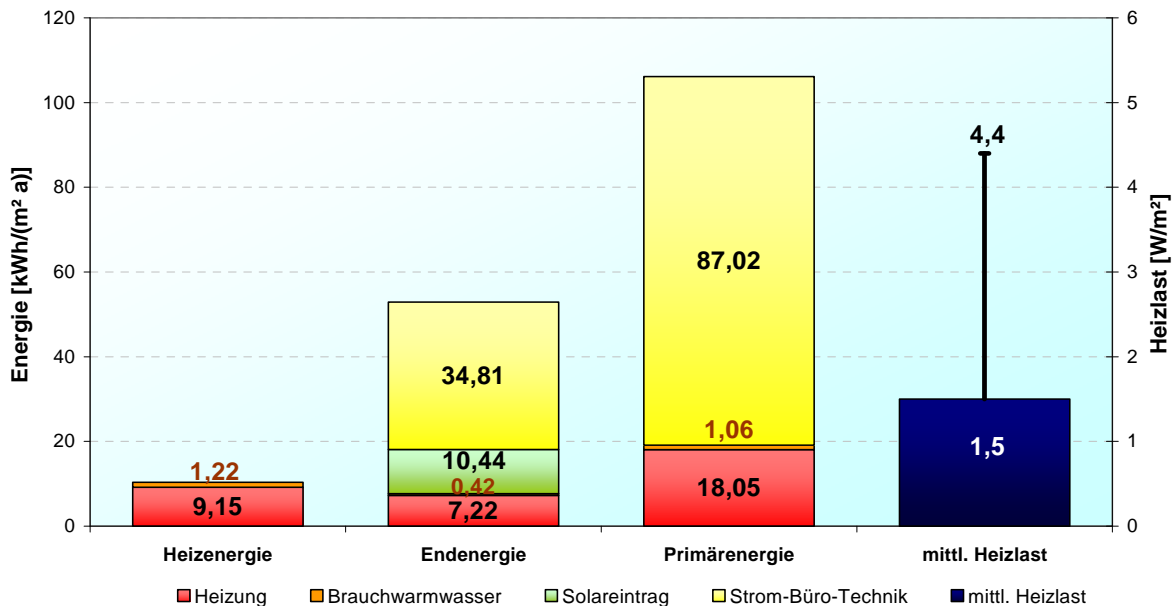


Abbildung 27: End- und Primärenergieverbrauch Messjahr 1

Der Heizwärmebedarf für die Raumheizung lag mit 9,15 kWh/(m<sup>2</sup> a) im ersten Messjahr deutlich unter dem geforderten Grenzwert für Passivhäuser von 15 kWh/(m<sup>2</sup> a). Der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung wird laut österreichischem Regelwerk (ÖN EN 832) bei der Berechnung der Kennzahl Heizwärmebedarf nicht berücksichtigt.

Nach der Normierung auf 20°C Raumtemperatur und das Standardklima von Wien (PEP) ergibt sich für das erste vollständige Messjahr in Tattendorf ein Heizenergiebedarf von

**7,0 kWh/(m<sup>2</sup> a).**

(siehe auch Kapitel 4.1.1).

Die Endenergie (Energie, die vom Nutzer eingekauft werden muss) enthält den für Heizung und Warmwasser (inklusive Verluste) verbrauchten Strom, sowie den restlichen Stromverbrauch für Bürogeräte, Beleuchtung und Haustechnik.

Der gesamte Endenergieverbrauch betrug im ersten Messjahr 52,9 kWh/(m<sup>2</sup> a), wobei der Großteil des Verbrauchs dem Büro- und Technikstrom zuzurechnen ist.

Der zur Wärmebereitstellung verbrauchte Strom ist niedriger als die verbrauchte Wärme, da bei der Endenergie der Anteil der solar eingebrachten Wärme als „kostenlose“ Umweltenergie bilanziert wird.

Die Primärenergiekennzahl liegt mit 106 kWh/(m<sup>2</sup> a) für ein Bürogebäude relativ niedrig und unterschreitet auch den geforderten Wert für Passivhäuser von 120 kWh/(m<sup>2</sup> a).

Mit einer maximalen Heizlast von 4,4 W/m<sup>2</sup> wird der vom Passivhausinstitut geforderte Wert von 10 W/m<sup>2</sup> deutlich unterschritten.



## 4.4 Detailergebnisse Zweites Betriebsjahr

Als zweites Betriebsjahr wurde das Kalenderjahr 2007 analysiert. Die nachfolgenden Abbildungen und Tabellen beinhalten, wenn nicht anders angeführt, Daten des als Messjahr 2 angeführten Zeitraums von 01.01.2007 bis 31.12.2007.

### 4.4.1 Komfortparameter

Neben den Komfortparametern Raumtemperatur und Raumfeuchte spielt auch der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Raumluft als lufthygienischer Parameter eine wesentliche Rolle.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in Gebäuden (angegeben in ppm) wird durch eine Reihe von Faktoren wie Personenanzahl, Luftwechsel, Aktivitätsgrad, etc. beeinflusst und ist ein guter Indikator für die Raumluftqualität.

Der Wert von 1000 ppm bzw. 0,1 Vol.-% stellt einen empfohlenen oberen Grenzwert dar, der auf Untersuchungen von Max von Pettenkofer zurückgeht. DIN 1946, Teil 2 nennt eine maximale Konzentration von 1500 ppm oder 0,15 Vol.-%.

Das Kohlendioxid selbst ist bei der Konzentration von 0,15 Vol.-% physiologisch und toxikologisch unbedenklich, bei längerer Einwirkung können allerdings Müdigkeit und Kopfschmerzen die Folge sein. Der MAK Wert liegt bei 5000 ppm.

Nachfolgende Abbildung 28 gibt die Stundenmittelwerte der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über den gesamten Messzeitraum, allerdings zu den angenommenen Bürozeiten, wieder.

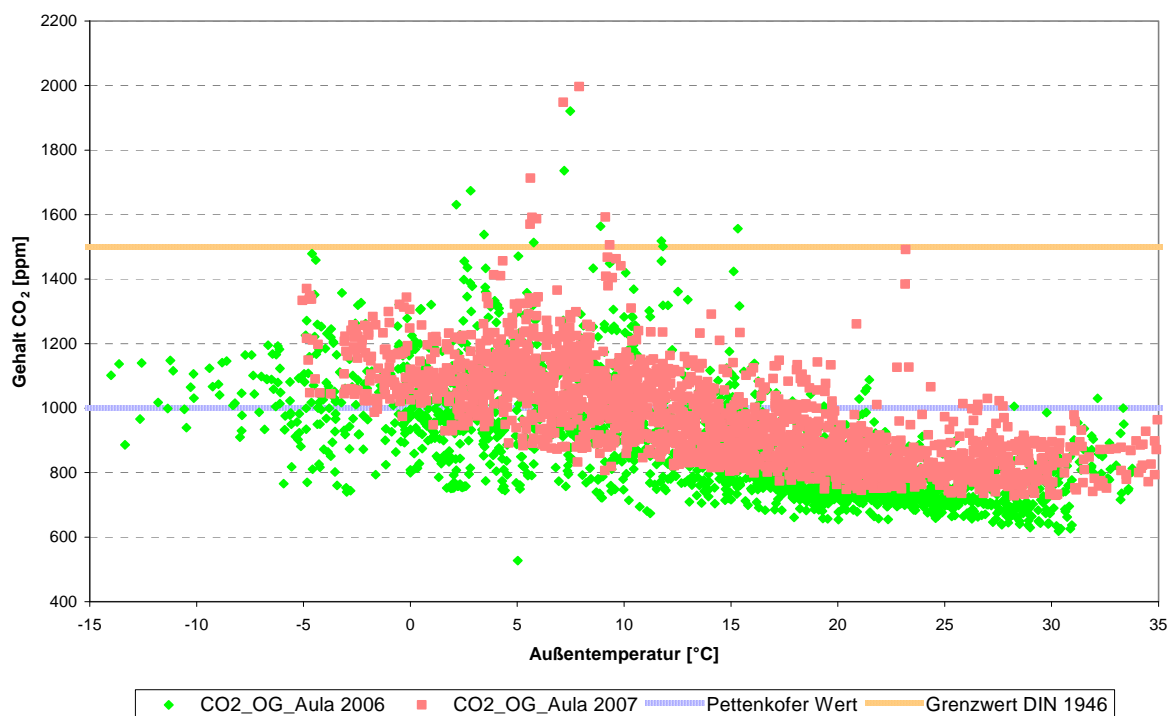


Abbildung 28: CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Aula als Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten-2006 und 2007)

Man kann erkennen, dass auch bei größerer Personenbeladung während der Bürozeiten der Grenzwert laut DIN 1946 nur sehr selten überschritten wurde. Die Konzentrationen lagen meist um oder unter dem Pettenkofer Wert, was einem sehr guten Ergebnis entspricht.

Abbildung 29 zeigt den Verlauf der Tagesmittelwerte der Außentemperatur, sowie der Raumtemperaturen und Raumfeuchten in den Büros.

Zusätzlich gibt der orange Graph die gemessene CO<sub>2</sub>- Konzentration in der Aula wieder.

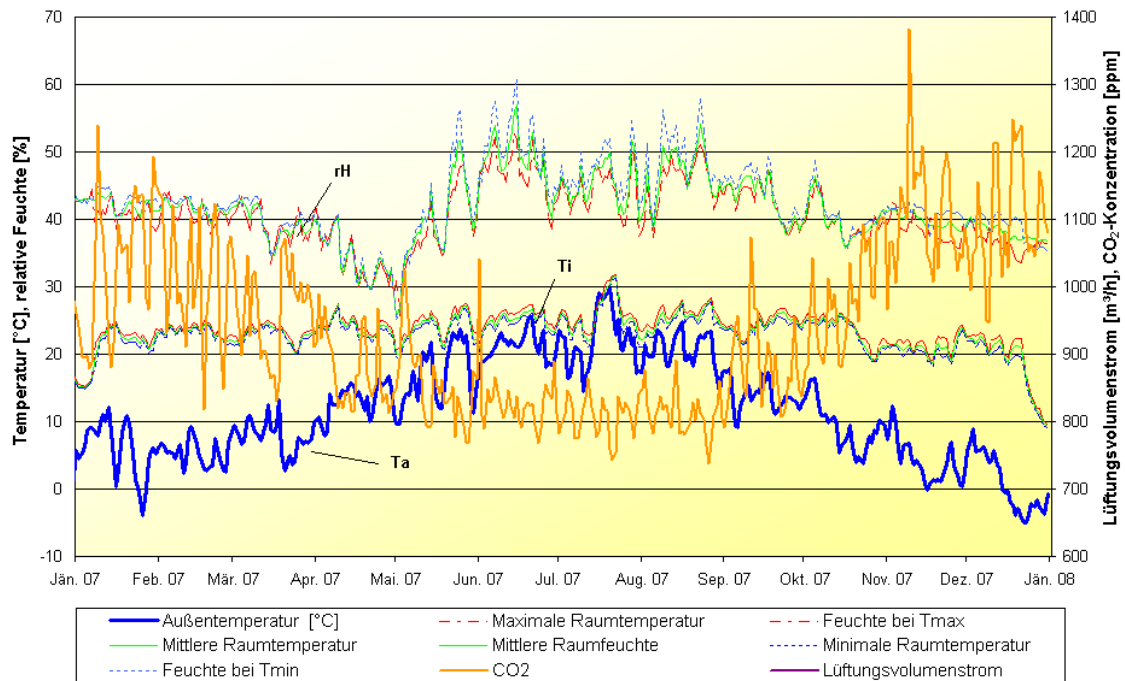


Abbildung 29: Raumklima und CO<sub>2</sub>- Konzentration in Tagesmittelwerten Messjahr 2

Auch die Tagesmittelwerte der CO<sub>2</sub>- Konzentrationen in der Aula zeigen sehr gute Werte und bleiben durchwegs unter dem Grenzwert von 1500ppm gemäß DIN 1946.

Sowohl Raumtemperaturen, als auch Raumfeuchten in den Büros waren im zweiten Messjahr ähnlich, wie im ersten. Die Werte sind im Vergleich zu anderen Projekten sehr zufriedenstellend.

In den ersten beiden Messjahren wurde die Möglichkeit der Nachtabsenkung mittels Fensterlüftung zum Schutz gegen sommerliche Überhitzung aus versicherungstechnischen Gründen nicht genutzt.

Für den Sommer 2008 sollte die Nachtabkühlung durchgeführt werden können, wodurch man sich eine deutliche Reduzierung der Übertemperaturstunden während der Bürozeiten erwarten darf.

An den Temperatur- und Feuchtwerten im Inneren des Gebäudes kann man auch gut charakteristische Eigenschaften der Dämmung bzw. der eingesetzten Materialien beurteilen.

Nachfolgende Abbildung 30 zeigt die Auskühlung des Gebäudes über die Weihnachtsfeiertage 2007/2008.

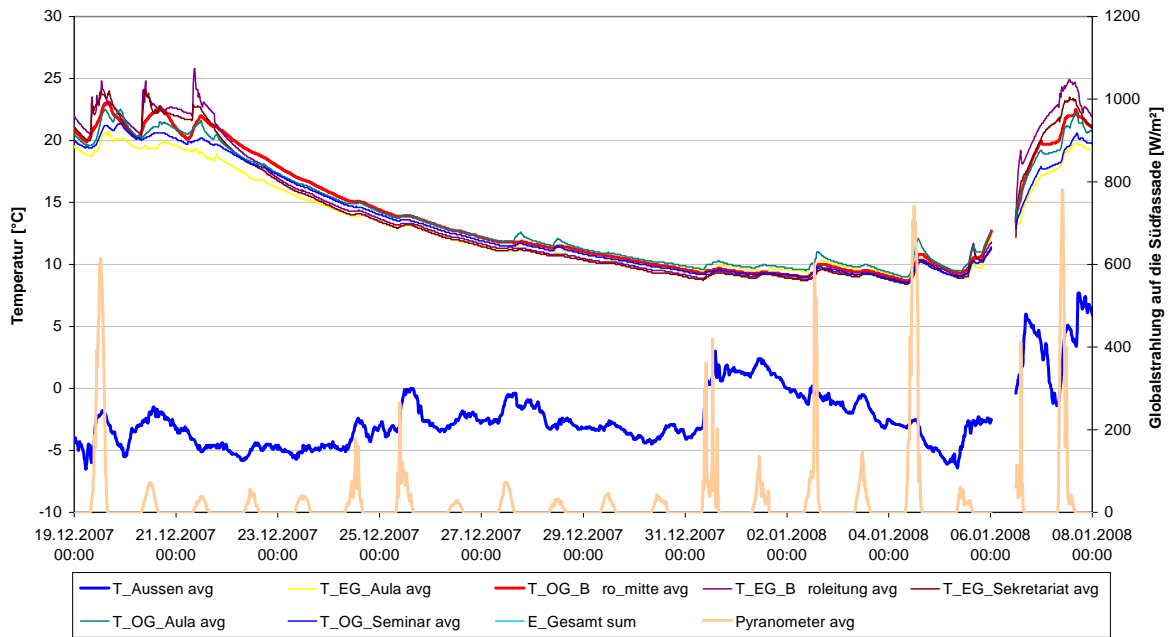


Abbildung 30: Abkühlkurve des Gebäudes (Weihnachten 2007/2008)

Aufgrund des hohen Dämmstandards kühlt das Gebäude auch bei Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt nur langsam aus und allein durch geringe passiv solare Gewinne stabilisiert sich die Innenraumtemperatur nach wenigen Tagen bei etwa 10°C.

Um dieses Gebäude nach längerer Zeit wiederaufzuheizen (z.B. auf 20°C), muss also eine maximale Temperaturdifferenz von 10°C überwunden werden.

Eine weitere Besonderheit des Gebäudes stellt das außergewöhnlich hohe Wasserdampfaufnahmevermögen des Lehm- Verbundwerkstoffes dar.

Während des gesamten Abkühlvorganges blieb die relative Feuchte innerhalb des Gebäudes konstant (siehe Abbildung 31)

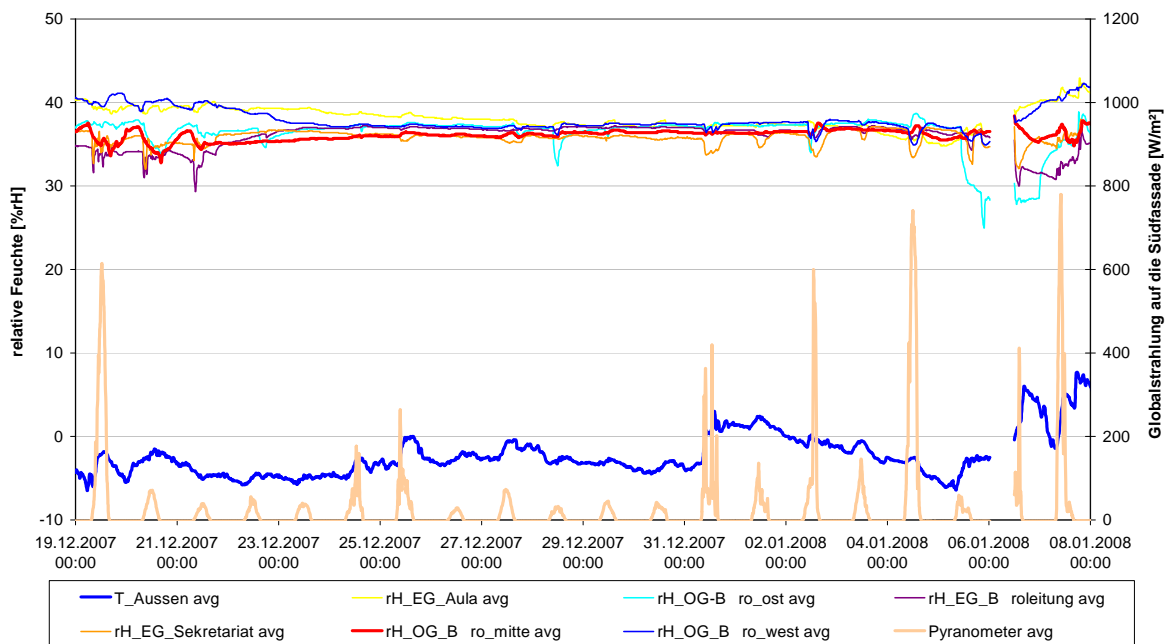


Abbildung 31: Feuchteverhalten des Gebäudes (Weihnachten 2007/2008)

Bei abnehmender Temperatur kann die relative Feuchte nur dann konstant bleiben, wenn absolut gesehen Wasser abtransportiert bzw. gespeichert wird.

Aufgrund der sehr dichten Gebäudehülle kann der Anteil der abtransportierten Feuchte nur einen kleinen Teil ausmachen und der Großteil wird vom Lehm- Verbundwerkstoff zwischengepuffert. Diese Puffereigenschaft wirkt Feuchteregulierend und trägt somit zusätzlich zu einem behaglichen Innenraumklima bei.

Im Falle des Lehm- Passivhausbürogebäudes wurden innerhalb eines Zeitraums von 12 Tagen (22.12.2007 bis 02.01.2008) insgesamt  $3,635 \text{g}_{\text{Wasserdampf}}/\text{m}^3_{\text{Luft}}$  durch den Lehmbaustoff aufgenommen. Bei einem Raumvolumen von  $75 \text{m}^3$  entspricht dies einer Wasserdampfaufnahme aus der Luft von 273 Gramm.

Abbildung 32 zeigt die Raumtemperaturen am kältesten und wärmsten Tag im zweiten Messjahr.

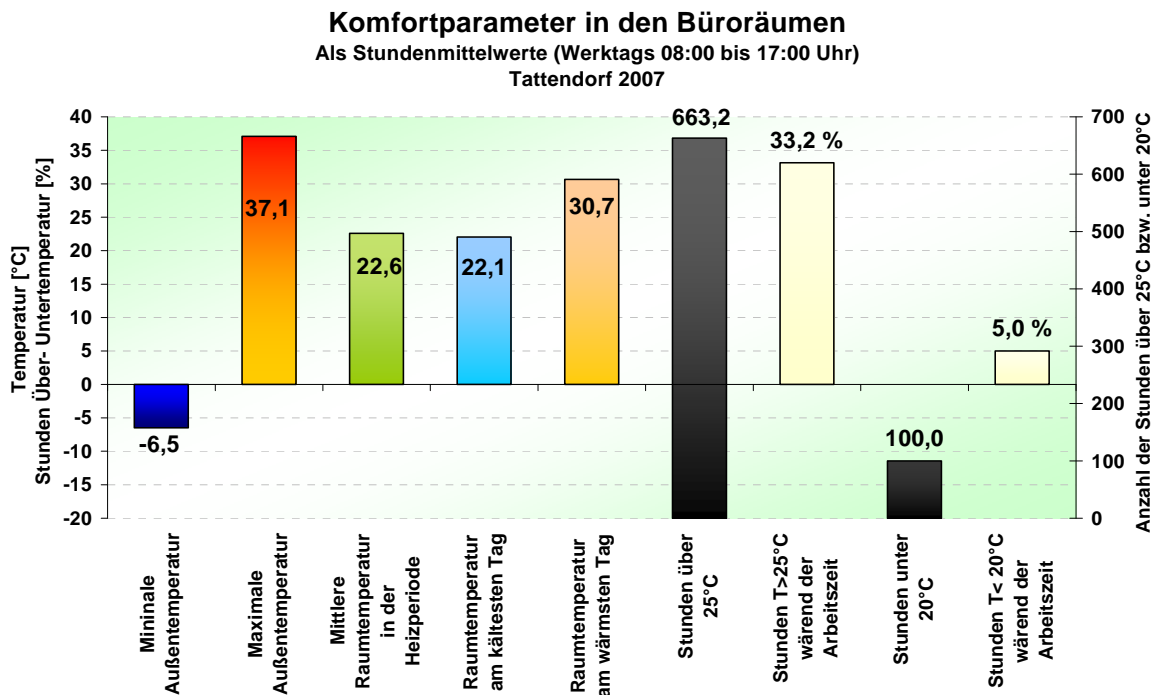


Abbildung 32: Auswertung der Raumtemperaturen Messjahr 2; (Stundenmittelwerte, nur während der Bürozeiten)

Am wärmsten Tag mit einer Außentemperatur von über  $37^\circ\text{C}$  lag auch die über alle Büroräume gemittelte Raumtemperatur mit knapp  $32^\circ\text{C}$  sehr hoch.

Am kältesten Tag lag die Außentemperatur im milden Winter 2007 bei  $-6,5^\circ\text{C}$  und die mittlere Raumtemperatur bei etwa  $22^\circ\text{C}$ . In der Heizperiode lag die über alle Büros gemittelte Raumtemperatur zu den Betriebszeiten des Büros bei  $22,1^\circ\text{C}$  und somit wie im ersten Messjahr innerhalb eines sehr behaglichen Bereiches.

Insgesamt lag die mittlere Raumtemperatur 663 Stunden und somit 250 öfter als im Messjahr 1 über  $25^\circ\text{C}$ . Die Temperaturen in den Büros waren also aufgrund des warmen Sommers 2007 sehr häufig an der Grenze der Behaglichkeit oder darüber.

Man kann festhalten, dass das Gebäude aufgrund der guten Dämmung zwar sehr langsam auskühlt und der Heizenergiebedarf äußerst gering ist (siehe auch Abbildung 30), es allerdings bei sehr hohen Außentemperaturen und/ oder bei intensiver Sonneneinstrahlung häufiger zu Überhitzung kommen kann.

#### 4.4.2 Lüftungsanlage

Im ursprünglichen Konzept waren 2 Lüftungsanlagen geplant, eine Lüftungsanlage für den kompletten Büroteil, welche einen Rotationswärmetauscher für Wärme- und Feuchterückgewinnung besitzt und eine konventionelle Lüftungsanlage die nur den Seminarraumbereich abdecken sollte. Da aber der Seminarbereich offen gestaltet wurde, werden die beiden Anlagen parallel betrieben. Nachfolgend wird aber nur die Lüftungsanlage mit der integrierten Feuchterückgewinnung näher betrachtet.

Die Lüftungsanlage wurde im zweiten Messjahr ganzjährig an Werktagen zwischen 7 und 18:30 Uhr betrieben, sowie fallweise z.B. bei Veranstaltungen auch am Abend oder an Wochenenden.

Anhand der Rückwärme- und Rückfeuchtezahlen kann die Effizienz der Feuchte- bzw. Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage bewertet werden.

Nachfolgende Abbildung 33 gibt einen Überblick über die genannten Rückgewinnungszahlen auf Basis von Tagesmittelwerten, betrachtet über den gesamten Messzeitraum.

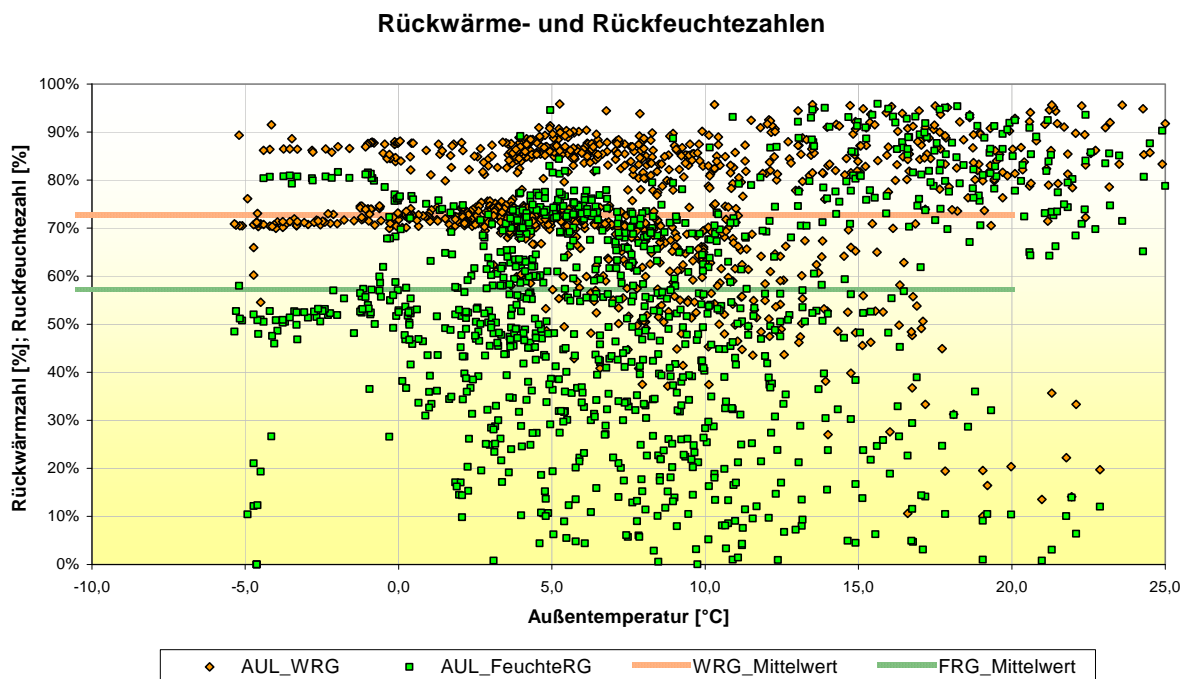


Abbildung 33: Rückwärme- und Rückfeuchtezahlen über das 2. Messjahr

Die durchschnittliche Wärmerückgewinnungszahl über den gesamten Messzeitraum betrachtet lag bei 73% und die Feuchterückgewinnung erreichte einen Wert von durchschnittlich 57%.

Bei der Angabe der Rückwärme- sowie der Rückfeuchtezahl ist zu berücksichtigen, dass diese vom thermodynamischen Zustand der Luft am Außenluft-, Zuluft- und Abluftkanal abhängig sind. Es kann daher nur dann von einer bestimmten Rückwärmezahl bzw. Rückfeuchtezahl gesprochen werden, wenn auch die Zustandsgrößen der Luft (Temperatur, absolute Feuchte) bekannt sind.

### 4.4.3 Energiebilanz

Die nachfolgende Tabelle 5 zeigt die Gesamtenergiebilanz des ersten und zweiten Messjahres im Vergleich.

Tabelle 6: Energiebilanz des zweiten Messjahres

Gesamtwärmeverbrauch	kWh		kWh/m <sup>2</sup>		Prozentanteil	
	1. MJ	2. MJ	1. MJ	2. MJ	1. MJ	2. MJ
	<b>5415</b>	<b>4522</b>	<b>18,6</b>	<b>15,5</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
davon:						
Heizung gesamt:	<b>2662</b>	<b>2136</b>	<b>9,1</b>	<b>7,3</b>	<b>49,2%</b>	<b>47,2%</b>
Warmwasserverbrauch	<b>354</b>	<b>307</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>6,5%</b>	<b>6,8%</b>
Verluste (Boiler, Kessel, Solarüberschuss)	<b>2399</b>	<b>2080</b>	<b>8,2</b>	<b>7,1</b>	<b>44,3%</b>	<b>46,0%</b>
<b>Gesamtwärmeeintrag</b>	<b>5415</b>	<b>4522</b>	<b>18,6</b>	<b>15,5</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
davon:						
Heizstab Speicher	1150	484	4,0	1,7	21,2%	10,7%
E-Radiatoren	1074	1393	3,7	4,8	19,8%	30,8%
Solareintrag	3191	2645	11,0	9,1	58,9%	58,5%
<b>Stromverbrauch gesamt</b>	<b>12352</b>	<b>9147</b>	<b>42,4</b>	<b>31,4</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
davon:						
Bürostrom:	<b>7013</b>	<b>6020</b>	<b>24,1</b>	<b>20,7</b>	<b>56,8%</b>	<b>65,8%</b>
Licht	1220	1170	4,2	4,0	9,9%	12,8%
E-Schuko	1073	817	3,7	2,8	8,7%	8,9%
EDV	4720	4033	16,2	13,9	38,2%	44,1%
Lüftungsstrom	<b>1884</b>	<b>1065</b>	<b>6,5</b>	<b>3,7</b>	<b>15,2%</b>	<b>11,6%</b>
Technik & Pumpenstrom	<b>1231</b>	<b>184</b>	<b>4,2</b>	<b>0,6</b>	<b>10,0%</b>	<b>2,0%</b>
Heizstab Speicher	<b>1150</b>	<b>484</b>	<b>4,0</b>	<b>1,7</b>	<b>9,3%</b>	<b>5,3%</b>
E-Radiatoren	<b>1074</b>	<b>1393</b>	<b>3,7</b>	<b>4,8</b>	<b>8,7%</b>	<b>15,2%</b>

Der gemessene Heizenergiebedarf lag im zweiten Messjahr bei 7,3 kWh/(m<sup>2</sup> a) und somit wurde der bereits sehr gute Wert des ersten Jahres um weitere 8% verringert.

Ausschlaggebend hierfür war vor allem die milde Heizperiode während des Messjahres.

Nach der Normierung auf 20°C Raumtemperatur und das Standardklima von Wien (PEP) ergibt sich für das zweite vollständige Messjahr in Tattendorf ein Heizenergiebedarf von

**8,34 kWh/(m<sup>2</sup> a).**

Der Bedarf an Heizenergie wird daher hauptsächlich elektrisch über den Heizstab im Speicher bzw. über die Elektroradiatoren in den Büros abgedeckt. Aufgrund des sehr hohen Dämmstandards und der zusätzlichen Wärmequellen im Inneren des Gebäudes (Licht, EDV...) sind diese Beträge bezogen auf die Energiebezugsfläche jedoch sehr gering.

Der Anschluss für den Heizungsvorlauf wurde offenbar nicht verändert, wodurch die Heizungsvorlauftemperatur wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben auf 40°C begrenzt ist, sofern der Speicher nicht solar auf höhere Temperaturen beladen wurde.

Der Warmwasserverbrauch ist erwartungsgemäß niedrig und damit verbunden erscheinen auch die Speicherverluste hoch. Allerdings resultieren diese hauptsächlich aus solar eingebrachter Wärme, die nicht in Form von Heizungswärme oder Warmwasser genutzt werden konnte.

Der Stromverbrauch des Gebäudes war im zweiten Messjahr bei allen Verbrauchern mit Ausnahme der E- Radiatoren geringer im Vergleich zum ersten Messjahr und lag bei 31,4 kWh/(m².a).

Besonders hohe Einsparungen konnten beim Bürostrom erzielt werden, sowie durch den Austausch der veralteten Brunnenpumpe. Insgesamt betrug die Einsparung an elektrischer Energie mehr als 25% oder etwa 3,2 MWh verglichen mit dem ersten Messjahr.

In Abbildung 34 ist die monatliche Energiebilanz für das Lehmbürogebäude Tattendorf für das erste vollständig gemessene Betriebsjahr zu sehen.

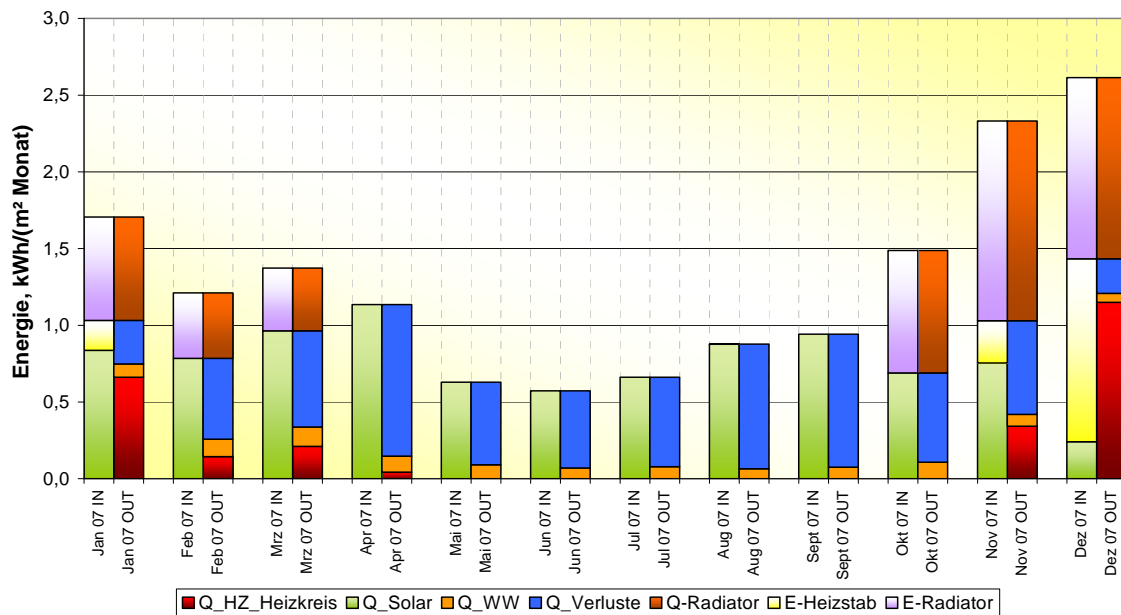


Abbildung 34: Energiebilanz Lehmbürogebäude Tattendorf, zweites Messjahr

Der Heizenergiebedarf ist in dieser Grafik rot dargestellt. Die dunkelroten Säulen zeigen die über den Heizkreis übertragene Heizenergie, hellrot ist die Heizenergie der E- Radiatoren dargestellt.

Vor allem im November und Dezember wird die benötigte Heizwärme größtenteils elektrisch erzeugt. Auch bei hohen Solarerträgen, wie z.B. im März 2007 wird nur ein geringer Teil der Wärme über dem Heizkreis zur Verfügung gestellt und der Rest elektrisch.

Der niedrige Wärmebedarf für Warmwasser kann ganzjährig über die Solaranlage bereitgestellt werden. Die thermische Solaranlage besitzt also einen mehr als ausreichenden Deckungsgrad für die Warmwasserbereitung, der Beitrag zur Raumheizung ist aber aufgrund der elektrischen Zuheizung gering.

Der Solarertrag kann also im Winter häufig nicht genutzt werden und geht als Speicherverlust in die Bilanz ein. Diese Speicherverluste sind somit für die Bereitstellung von Wärme verloren.

Nachfolgende Abbildung 35 zeigt die Aufteilung der einzelnen Stromverbraucher für das erste und zweite Messjahr.

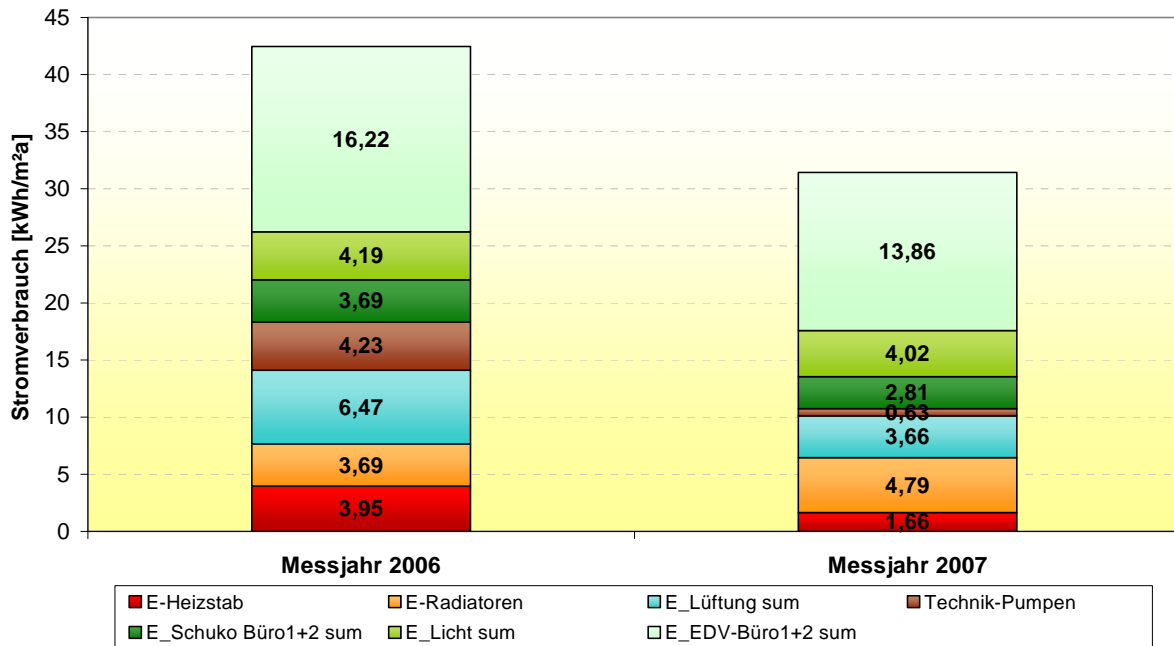


Abbildung 35: Anteiliger Stromverbrauch beider Messjahre nach Verbraucher

Man erkennt deutlich die Senkung des Stromverbrauches und im Besonderen die Reduktionen im Bereich EDV, Lüftung und Technikstrom.

Die Reduktion des Stromverbrauches für EDV lässt sich wahrscheinlich auf verändertes Nutzerverhalten zurückführen. Der Betrieb der Lüftung wurde rein auf die Anwesenheitszeiten von Personen im Gebäude beschränkt und somit der Stromverbrauch minimiert.

Die Reduktion des Technikstromes ist wie bereits erwähnt vor allem auf den Austausch der veralteten Brunnenpumpe zurück zu führen.



In Abbildung 36 ist der gesamte, monatliche Energieverbrauch (Strom und Wärme), Hilfsstrom für das zweite Messjahr dargestellt.

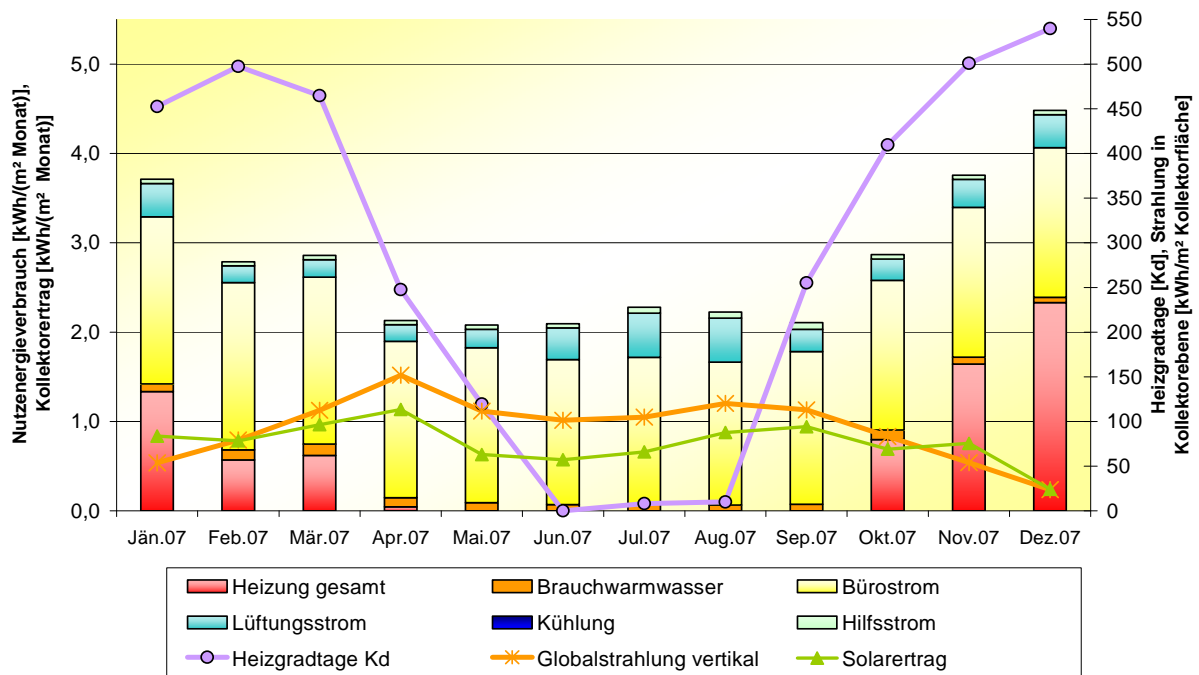


Abbildung 36: Monatlicher Energieverbrauch Messjahr 2

Der Energieverbrauch wird hier den Wetterdaten sowie dem Ertrag der Solaranlage gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass der Energieverbrauch und der Solarertrag pro Quadratmeter Nutzfläche dargestellt sind. Der Solarertrag ist also nicht, wie sonst üblich, pro Quadratmeter Kollektorfläche angegeben.

Durch diese Darstellung ist ein Vergleich der Nutzenergie und des Kollektorstroms möglich.

Die Solaranlage lieferte demnach genug Energie, um das ganze Jahr über den Warmwasserbedarf zu decken, sowie in den Wintermonaten auch einen gewissen Anteil des Heizenergiebedarfs.

Die Grafik zeigt, dass bereits im März der gesamte Heizenergiebedarf solar gedeckt werden könnte. Tatsächlich erfolgt die Bereitstellung allerdings zu etwa einem Drittel elektrisch.

Durch eine bessere Ausnutzung der in den Speicher geladenen solaren Energie könnte hier eventuell noch eine Optimierung erzielt werden.

In Abbildung 37 ist die benötigte Heizenergie für Warmwasser und Heizung der verwendeten End- und Primärenergie gegenübergestellt und für beide Messjahre dargestellt.

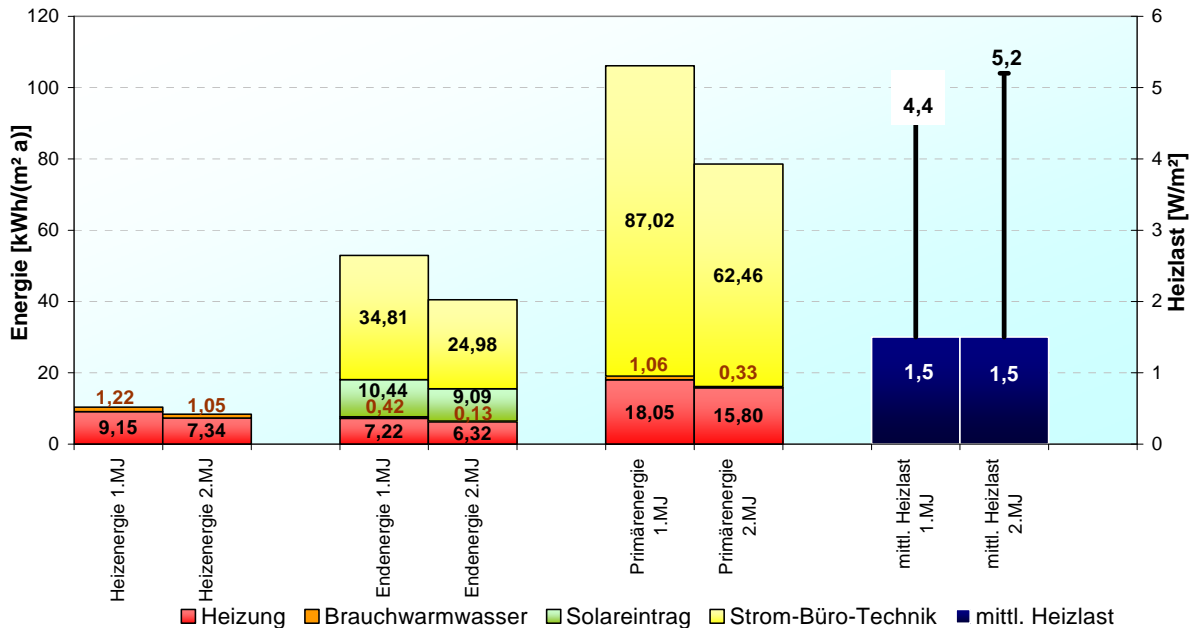


Abbildung 37: End- und Primärenergieverbrauch Lehmbürogebäude Tattendorf, beide Messjahre

Im zweiten Messjahr konnten die bereits sehr guten Werte des ersten Jahres weiter verringert werden.

Der Heizwärmebedarf für die Raumheizung lag mit 7,34 kWh/(m<sup>2</sup> a) sehr deutlich unter dem geforderten Grenzwert für Passivhäuser von 15 kWh/(m<sup>2</sup> a). Der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung wird laut österreichischem Regelwerk (ÖN EN 832) bei der Berechnung der Kennzahl Heizwärmebedarf nicht berücksichtigt.

Nach der Normierung auf 20°C Raumtemperatur und das Standardklima von Wien (PEP) ergibt sich für das zweite vollständige Messjahr in Tattendorf ein Heizenergiebedarf von

**8,43 kWh/(m<sup>2</sup> a).**

(siehe auch Kapitel 4.1.1).

Die Endenergie (Energie, die vom Nutzer eingekauft werden muss) enthält den für Heizung und Warmwasser (inklusive Verluste) verbrauchten Strom, sowie den restlichen Stromverbrauch für Bürogeräte, Beleuchtung und Haustechnik.

Der gesamte Endenergieverbrauch betrug im zweiten Messjahr 40,52 kWh/(m<sup>2</sup> a) und somit auch hier noch einmal deutlich unter dem Wert vom Vorjahr.

Die Primärenergiekennzahl liegt mit 78,6 kWh/(m<sup>2</sup> a) bei einem für Bürogebäude ausgezeichneten Wert.

Mit einer maximalen Heizlast von 5,2 W/m<sup>2</sup> wird der vom Passivhausinstitut geforderte Wert von 10 W/m<sup>2</sup> deutlich unterschritten.

## 4.5 Zusammenfassung der Messergebnisse und Fazit

Besonders positiv fällt beim Lehm-Bürogebäude Tattendorf der extrem niedrige Heizwärmebedarf auf, der in beiden Messjahren mit  $9,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  bzw.  $7,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  Nach der Normierung auf  $20^\circ\text{C}$  Raumtemperatur und das Standardklima von Wien ergibt sich in Tattendorf ein Heizenergiebedarf von  **$7,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$**  im 1. Messjahr und  **$8,43 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$**  im 2. Messjahr. Somit liegen die Werte deutlich unter dem vom Passivhaus- Institut geforderten Wert von  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ). Laut PHPP Berechnung sollte sich für dieses Gebäude ein Heizenergiebedarf von  $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ergeben. Dazu kommen dann noch der für ein Büro erwartet niedrige Warmwasserverbrauch sowie die in absoluten Zahlen auch niedrigen Systemverluste. Ein Großteil davon kann solar gedeckt werden, der Rest wird aber mittels E-Heizpatrone im Speicher oder E-Radiatoren in einzelnen Büros durch Strom abgedeckt, was primärenergetisch nachteilig ist.

Ein Grund für den niedrigen Heizwärmebedarf ist die Tatsache, dass nachts und an den Wochenenden oder in Betriebsferien das Gebäude nur wenig beheizt wird. Dies ist vor allem aufgrund des hohen Dämmstandards möglich, der ein rasches Auskühlen verhindert. Es wurde festgestellt, dass auch bei Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt die Temperatur im Gebäude bei nur geringen passiv solaren Gewinnen nicht unter  $10^\circ\text{C}$  fällt.

Ein absolut tolles Ergebnis liefert das in der Abbildung 30 dargestellte Feuchteverhalten des Gebäudes. Die relative Luftfeuchtigkeit im Raum bleibt auch bei sich ändernden Raumtemperaturen nahezu konstant auf einem behaglichen Niveau. Der Grund für dieses sehr angenehme Verhalten ist die feuchteausgleichende Wirkung vom Lehm.

Zusätzlich trägt der Einsatz einer Lüftungsanlage mit Feuchterückgewinnung durchaus zu einem behaglichen Innenraumklima bei.

Der Primärenergieverbrauch ist mit  $106 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  im ersten Messjahr und mit  $78,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  im zweiten Messjahr deutlich unter dem Grenzwert für Passivhäuser von  $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ , was bei einem Bürobau sehr schwer zu erreichen ist.

## 5 Sozialwissenschaftliche Begleitforschung – Erhebung der Nutzerakzeptanz

Autor: Mag. Jürgen Suschek-Berger

### 5.1 Einleitung

Ziel dieser sozialwissenschaftlichen Begleiterhebung ist es, Informationen von den BewohnerInnen und NutzerInnen der Demonstrationsgebäude zu Akzeptanz der Gebäudekonzepte, der in den Gebäuden integrierten Technologien (z.B. Heizung, Lüftung) und zu ihrem Verhalten und zu ihrem Umgang mit verschiedenen Haustechnikkomponenten zu bekommen.

Diese Erhebungen werden als „Post-occupancy Evaluationen“ durchgeführt, d.h. erst nachdem die BewohnerInnen bzw. die NutzerInnen die Wohnungen bzw. die Gebäude bezogen haben und Erfahrungen von ihrer Seite vorliegen. Idealerweise sollten die NutzerInnen zumindest eine Heizsaison hinter sich haben, um die „Performance“ des Gebäudes auch in der kalten Jahreszeit beurteilen zu können.

Es sind folgende Erhebungsschritte in der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung vorgesehen:

- **Standardisierte schriftliche Befragung der Haushalte**

Die Befragung wird als Vollerhebung in allen untersuchten Wohnungen und Gebäuden durchgeführt und enthält folgende Module: Bewertung des Wohnens (Raumklima, Heizung, Haustechnik, Behaglichkeit etc.) nach Kriterien wie allgemeiner Zufriedenheit, Flexibilität oder Regelbarkeit; Informationen zum Wohnverhalten (Komfort, Nutzung etc.); Kontextfaktoren (Zufriedenheit mit der Wohnsituation, der Wohnanlage, sozialem Umfeld etc.)

- NutzerInnenverhalten (Umgang mit speziellen Technologien)

Eine Stichprobe der GebäudebewohnerInnen und –nutzerInnen soll an drei vorgegebenen Tagen ein Protokoll zur Gebäudenutzung (Heizung, Lüften, Komfort) erstellen. Diese Protokolle geben Aufschlüsse zum NutzerInnenverhalten und ergänzen die technischen Messprotokolle.

- Qualitative Interviews mit NutzerInnen

Mit ca. 10 ausgewählten BewohnerInnen bzw. NutzerInnen der Gebäude werden vertiefende persönliche Interviews zur Ergänzung der schriftlichen Befragungen durchgeführt.

- Qualitative Interviews mit BauträgerInnen und PlanerInnen

Mit den PlanerInnen bzw. BauträgerInnen der ausgewählten Demonstrationsobjekte werden qualitative Interviews über die Schritte geführt, die gesetzt wurden, um die BewohnerInnen und NutzerInnen im Vorfeld über die neuen Gebäudetechnologien aufzuklären.

Die Ergebnisse dieser Erhebung werden zu anderen sozialwissenschaftlichen Untersuchungen, die in Projekten im Rahmen des Programms „Haus der Zukunft“ durchgeführt wurden, in Beziehung gesetzt, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.

Ergebnis dieser Untersuchungen ist eine detaillierte Bewertung der innovativen Gebäudekonzepte durch die BewohnerInnen und NutzerInnen. Dies bietet einerseits die Möglichkeit, allgemeine Strategien für die Akzeptanz nachhaltiger Gebäude weiter zu entwickeln, andererseits die Möglichkeit, Nachjustierungen in den konkreten Projekten vorzunehmen.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung zum Lehm- Passivhausbürogebäude Tattendorf präsentiert.

## 5.2 Beschreibung des Vorgehens

Das neue Bürohaus der Firma „Natur und Lehm“ in Tattendorf, Niederösterreich ist als Lehmbau und als Passivhaus errichtet worden. In erster Linie dient es dem Unternehmen als Bürogebäude, es ist aber auch als Ausstellungs- und Besuchergebäude konzipiert.

Die Herausforderung war, das Konzept „Bauen mit Lehm“ mit den Anforderungen des Passivhauskonzeptes zu verbinden. Dies ist – mit einigen Schwierigkeiten in der Bauphase und unterstützt durch den langen Atem des Bauherren und Planers – sehr gut gelungen. Das Gebäude präsentiert sich als offenes und einladendes begehbare Objekt, das sowohl die Anforderungen für dessen NutzerInnen als auch die Anforderungen für Ausstellungen und Seminare gut erfüllt.

Ständig genutzt wird das Gebäude vom Geschäftsführer und Bauherren der Firma „Natur und Lehm“ sowie von dessen Angestellten im Büro- und Außendienstbereich, zum Zeitpunkt der Befragung insgesamt fünf Personen. Für das Projekt wurden mit dem Geschäftsführer und zwei Angestellten qualitative persönliche Interviews geführt. Auf einen schriftlichen Fragebogen wurde in diesem Fall wegen der beschränkten Anzahl von zu Befragenden verzichtet.

## 5.3 Interviews mit den Angestellten

Im April 2006 wurden mit drei Angestellten der Firma „Natur und Lehm“, die das Passivhaus nutzen, persönliche Interviews geführt – mit den beiden weiblichen Interviewpartnerinnen eines gemeinsam, ein weiteres mit einem männlichen Interviewpartner.

Die allgemeine Zufriedenheit mit dem Passivhaus ist sehr gut, die Angestellten fühlen sich sehr wohl.

*„Sehr gut. Sehr angenehm. Egal, wie viel Stress oder wie viel Lärm man empfindet. ... da gibt es nichts zu rütteln ... man hat es sehr harmonisch trotz Büroalltag, trotz stressiger Stimmung ist es sehr angenehm. Sehr harmonisch.“ (Interview 1)*

*„Es ist vielleicht auch durch die Form, durch den Lehm, es ist alles abgerundet, dieses Kuschelige, es ist eine sehr intensive Farbe, aber keine grelle Farbe, sehr warm, sehr harmonisch, sehr angepasst.“ (Interview 1)*

*„Es ist vom grundsätzlichen Wohlfühlen ganz gut, es ist hell, es ist offen, es ist vom ersten Eindruck her recht interessant und recht angenehm.“ (Interview 2)*

Der Lehmputz wurde positiv aufgenommen, er war den Befragten durch ihre langjährige Tätigkeit in diesem Unternehmen bekannt.

Kleine Anfangsprobleme mit der Technik wurden in den Griff bekommen und umgehend abgestellt. Im Winter 2005/2006 gab es nur einen Tag, an dem es im Gebäude zu kalt war, im Frühjahr einige Tage mit Überhitzung.

*„Da war es wirklich schweinekalt, ein Tag. 10 Grad oder so. Da hat irgendetwas nicht funktioniert. Aber sonst hat es keinen einzigen anderen Tag gegeben, an dem es kalt war.“ (Interview 1).*

*„Drei Tage. Da war die Witterung nicht wirklich sommerlich. Da war es sehr heiß, auch aus technischen Gründen.“ (Interview 1)*

*„Wenn man allerdings ständig sitzt, sprich, im Büro sitzt, war es vielleicht doch manchmal kühl, jetzt nicht kalt, aber kühl. Und umgekehrt, bei den Sonnenstrahlen die es gegeben hat, noch nicht, aber wenn die Sonne scheint, zu warm.“ (Interview 2)*

Vom dritten Befragten, der erst seit kurzer Zeit für die Firma arbeitet und auch für die Betreuung der Haustechnik zuständig ist, werden Probleme mit der Steuerung der Solaranlage angesprochen.

*„Die Solaranlage selbst funktioniert, nur die zugehörige Steuerung, wann es nachheizen sollte und wann nicht, das funktioniert nicht. Die Solargeschichte ist sicher einwandfrei, nur die zugehörige Steuerung ist nicht optimal eingestellt.“ (Interview 2)*

Prinzipiell fühlen sich die NutzerInnen durch das Passivhauskonzept auch nicht eingeschränkt, sie bekommen im Alltagsleben von der eingesetzten Technologie auch nicht so viel mit.

*„Der Herr M. erzählt uns zwischendurch etwas, wir staunen, aber mit der Technik habe ich nichts am Hut.“ (Interview 1)*

Die Angestellten wurden vom Bauherrn auch intensiv auf den Bezug des Gebäudes vorbereitet und über die bevorstehenden Änderungen informiert.

*„Herr M. hat uns die Bauabschnitte gezeigt und hat gesagt, ihr könnt jederzeit kommen, es anschauen, dann hat es auch Teambesprechungen im Haus gegeben, wie es noch nicht fertig war. Wir wurden so lange vorbereitet, das war schon zwei Jahre, bevor er überhaupt angefangen hat. Das Wort „Lehmpassivhaus“ ist uns schon so leicht über die Lippen gegangen.“ (Interview 1)*

Auch in die Planung der Büros wurden die Damen involviert.

*„Wir konnten aber schon unser Büro schon selbst planen, welche Größe, welche Farbe. Ein Mitspracherecht hatten wir schon.“ (Interview 1)*

Der neu hinzu gekommene Mitarbeiter wurde durch einen Rundgang im Haus in das Gebäude und die Technologie eingeführt.

*„Durch einen Rundgang durch das Gebäude, Erklärungen dazu, was das ist, praktisch eine Hausführung. Und im laufenden Betrieb kommt man dann auch drauf, was gemacht worden ist bzw. ergibt es sich automatisch, dass man dann noch genauer nachfragt.“ (Interview 3)*

Etwas Skepsis herrschte bzgl. der Gestaltung des im Gebäude vorhandenen Seminarraums, der für Weiterbildungen dient und – wie das ganze Objekt - sehr offen konzipiert ist.

*„Wir haben anfangs nur gesagt, wegen dem Seminarraum. Wir haben gesagt, dass wir nicht glauben, dass es günstig ist, dass der Seminarraum so offen ist, wegen der Akustik. Es war ja zuerst alles offen, kein Glas, keine Türen.“ (Interview 1)*

Die Außenanlagen waren zum Zeitpunkt des Interviews noch nicht fertig gestellt und konnten daher noch nicht beurteilt werden.

Die Zufriedenheit mit dem Passivhaus ist bei den NutzerInnen hoch, der Lehm schafft eine angenehme Atmosphäre. Einige Probleme werden angesprochen, scheinen aber nicht weiter gravierend zu sein und wurden auch behoben.

Die Betroffenen wurden im Vorfeld auch gut eingebunden und haben einiges an Informationen zum neuen Gebäude erhalten, dies dürfte sich positiv ausgewirkt haben.

## 5.4 Interview mit dem Bauherrn

Mit dem Bauherrn, Planer und Besitzer des Lehm-Büro-Passivhauses in Tattendorf, Herrn Roland Meingast, wurde ebenfalls im April 2006 ein persönliches Interview geführt.

Einführend geht Herr Meingast auf seine Beweggründe für den Bau des Lehm-Passivhauses ein, die vor allem in der Verbindung zwischen uralter Tradition der Baubiologie und einem innovativen technischem Konzept lagen.

*„Und ich habe mir gedacht, wenn man es ganz nüchtern unter dem Dach der Nachhaltigkeit betrachtet, muss man alles unter einen Hut bringen, die nachwachsenden Rohstoffe mit dem fortschrittlichsten technischen Konzept verbinden und das ist das Passivhaus. Um das nachzuweisen, haben wir diese begehbare Studie gebaut. In erster Linie ein Bürogebäude, in zweiter Linie ein Schaugebäude, um unsere potenziellen Kunden zu überzeugen.“*

Die ersten Vorbereitungen begannen 10 Jahre vor Fertigstellung des Gebäudes. Der damalige Entwurf war – was seine Umsetzbarkeit und Machbarkeit betraf – noch von vielen Zweifeln durchsetzt.

*„Es war nicht klar, ob es wirklich machbar sein wird, aber es war machbar. Von kleinen Änderungen in der Außenhülle abgesehen hat es so funktioniert, wie ich es mir vorgestellt habe.“*

Das Haus ist seit Juni 2005 in Betrieb. Auch der Bauherr gesteht Anfangsprobleme mit der Steuerung ein.

*„Es gibt einen Ärger mit der Haustechnik. Es ist so, dass das Gesamtkonzept sehr robust ist, zum Glück, aber die Steuerung ... Wir haben einfach Probleme gehabt, dass bei 60 anwesenden Leuten im Haus und einer Raumtemperatur von 23 Grad die Nachheizung über diese paar Lehmpaneele, die wir da haben über den Solarspeicher, sich einfach nicht abgestellt hat. Das ist ein Fehler gewesen aus der Steuerung der Haustechnik.“*

Diese Probleme schienen zum Zeitpunkt des Interview behoben. Das Gebäude reagiert inzwischen auf die Sonneneinstrahlung hervorragend.

*„Ich bin nur ganz erstaunt, dass es selbstverständlich ist, dass es bei minus 18 Grad keine Probleme gibt. Es ist toll, wenn man bei minus 18 Grad herein kommt und es geht die Temperatur hinauf, wenn die Sonne herauskommt, aber 23 bis 24 Grad.“*

Die begleitenden Messungen der AEE INTEC werden als sehr wertvoll empfunden, da sie auf Fehler im System aufmerksam machen, die sonst nicht gefunden worden wären und nicht hätten behoben werden können. Aber im Grunde ist es nicht nötig, nachträglich irgendetwas anders zu machen als es geplant war und umgesetzt wurde. Es gab zwar eine Projektverzögerung von zwei Jahren, diese lag aber nicht im Gebäude- und Technikkonzept begründet.

Die MitarbeiterInnen wurden von Beginn an über das Vorhaben informiert und in Planungen mit einbezogen. Vielleicht hätte es sogar noch mehr sein können.

*„Ich glaube, dass es bei der Vermittlung an die MitarbeiterInnen schon gepasst hat, vielleicht hätte man mehr machen können. Es ist auch immer thematisiert worden bei unseren Teambesprechungen, vielleicht ist die Erwartung nicht immer erfüllt worden.“*

Die Rückmeldungen der MitarbeiterInnen sind ebenfalls zufrieden stellend. Ein kleines Kommunikationsproblem wird angesprochen, was die Möglichkeit des Öffnens der Fenster im Passivhaus angeht.

*„Es hat sich dann einmal ein Irrtum eingestellt, der erst vor ein paar Tagen beseitigt wurde, dass sie geglaubt haben, man darf die Fenster nicht aufmachen, auf die Idee wäre ich gar nicht verfallen. Das ist schwer zu vermitteln: Ich kann nicht in der wirklich kalten Periode da eine Terrassentür aufmachen und offen stehen lassen, das ist etwas, was sich mit dem Charakter vom Passivhaus nicht verträgt. Dieses Gefühl dafür und dass es jetzt eigentlich egal ist, ob ich etwas aufmache oder nicht aufmache ab Ende März, das ist halt so eine Sache.“*

Verbesserungsmöglichkeiten in der Kommunikation werden vom Bauherrn angesprochen, die aber – unter den gegebenen Rahmenbedingungen – schwer umzusetzen gewesen wären.

*„Natürlich hätte man noch mehr besser machen können, es ist halt das Übliche, der Zeitdruck, dass bei den Firmenbesprechungen sowieso immer zu wenig Zeit ist, und dann der Umbau auch noch dazu.“*

Zum Abschluss wird noch einmal auf das angenehme Klima im Gebäude hingewiesen, das auch die Leistungsfähigkeit steigert.

*„Die Leistungsfähigkeit hier ist deutlich besser. Das hat sicher mit dem Raumklima hier und wahrscheinlich auch mit dem Lehm zu tun.“*

## **5.5 Resümee aus der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung**

In den Interviews im Frühjahr 2006 ist die Zufriedenheit mit dem Passivhaus bei den NutzerInnen sehr hoch, der Lehm schafft eine angenehme Atmosphäre. Einige Probleme werden angesprochen, scheinen aber nicht weiter gravierend zu sein und wurden auch behoben. Die Betroffenen wurden im Vorfeld gut eingebunden und haben einiges an Informationen zum neuen Gebäude erhalten, dies dürfte sich positiv ausgewirkt haben.

Auch der Bauherr ist mit der Bauausführung sehr zufrieden und hat es geschafft – trotz anfänglicher Skepsis – sein Vorhaben ohne große Änderungen durchzusetzen und seine Vision umzusetzen. Einige Probleme werden eingestanden, die inzwischen behoben wurden oder an deren Behebung gearbeitet wurde. Die Einbeziehung der künftigen NutzerInnen bei Planung und Vorbereitung war ein wichtiges Anliegen.



## 6 Verzeichnisse und Dokumentationen

### 6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Lage des Lehm- Passivhauses in der Gemeinde Tattendorf im Bezirk Baden .....	2
Abbildung 2: Visualisierung Lehm-Bürogebäude Tattendorf [AEE Intec].....	4
Abbildung 3: Fertigteil- Konstruktionsprinzip [natur & lehm] .....	7
Abbildung 4: Links: thermischer Solarkollektor in Fassade; Mitte:1500 Liter Solarspeicher vor Einbau; Rechts: Der fertig eingebaute, mit Flachs gedämmte und mit n&l Biofaser-Lehmverbundplatten verkleidete Speicher mit isolierten Leitungen [AEE Intec].....	8
Abbildung 5: Links: Lehmheizkörper; Rechts: Lehm- Heizelement [AEE Intec].....	8
Abbildung 6: Hydraulikschema Lehm-Bürogebäude Tattendorf (AEE Intec).....	9
Abbildung 7: Schema Lüftungssystem Lehm-Bürogebäude Tattendorf [natur & lehm].....	10
Abbildung 8: Übersicht der spezifischen Kenngrößen nach PHPP [AEE] .....	11
Abbildung 9: Messtechnisches Konzept Tattendorf- Fühlerpositionen (AEE Intec).....	13
Abbildung 10: Eingebautes Loggersystem Tattendorf (AEE Intec).....	15
Abbildung 11: Schema der Datenaufzeichnung und Weiterverarbeitung.....	15
Abbildung 12: Vergleich der Klima Daten für Wien mit den in der ersten Messperiode erhobenen Daten .....	18
Abbildung 13: Raumtemperaturen und Heizleistung in einer Woche im Februar 2006.....	19
Abbildung 14: Systemtemperaturen in einer Woche im Februar 2006.....	19
Abbildung 15: Gesamtstromverbrauch im Juni 2006.....	20
Abbildung 16: Raumklima in Tagesmittelwerten Messjahr 1 .....	21
Abbildung 17: Verteilung der mittleren Raumtemperaturen in den Büros als Funktion der Außentemperatur im Messjahr 1; Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten) .....	22
Abbildung 18: Auswertung der Raumtemperaturen Messjahr1; Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten)...	23
Abbildung 19 Behaglichkeitsfeld über die Heizperiode 10.2006 bis 03.2007 .....	24
Abbildung 20: Temperaturen im Lüftungssystem im Februar 2006.....	25
Abbildung 21: Lüftungsparameter und Wärmerückgewinnungszahl Messjahr 1 .....	25
Abbildung 22: Relative und absolute Luftfeuchtigkeit im Lüftungssystem im Februar 2006 .....	26
Abbildung 23: Energiebilanz Messjahr 1.....	29
Abbildung 24: Monatlicher Stromverbrauch Messjahr 1 .....	30
Abbildung 25: Stromverbrauch nach Anteil des jeweiligen Verbrauchers Messjahr 1 .....	30
Abbildung 26: Monatlicher Energieverbrauch Lehm-Bürogebäude Messjahr 1 .....	31
Abbildung 27: End- und Primärenergieverbrauch Messjahr 1 .....	32
Abbildung 28: CO <sub>2</sub> - Konzentrationen in der Aula als Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten- 2006 und 2007) .....	33
Abbildung 29: Raumklima und CO <sub>2</sub> - Konzentration in Tagesmittelwerten Messjahr 2.....	34
Abbildung 30: Abkühlkurve des Gebäudes (Weihnachten 2007/2008).....	35
Abbildung 31: Feuchteverhalten des Gebäudes (Weihnachten 2007/2008) .....	35
Abbildung 32: Auswertung der Raumtemperaturen Messjahr 2; (Stundenmittelwerte, nur während der Bürozeiten).....	36
Abbildung 33: Rückwärme- und Rückfeuchtezahlen über das 2.Messjahr .....	37
Abbildung 34: Energiebilanz Lehm-Bürogebäude Tattendorf, zweites Messjahr .....	39
Abbildung 35: Anteiliger Stromverbrauch beider Messjahre nach Verbraucher .....	40
Abbildung 36: Monatlicher Energieverbrauch Messjahr 2 .....	41
Abbildung 37: End- und Primärenergieverbrauch Lehm-Bürogebäude Tattendorf, beide Messjahre .....	42

### 6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klimadaten Tattendorf [OIB, PEP].....	2
Tabelle 2: Beteiligtenliste und zeitliche Organisation.....	7
Tabelle 3: Messstellenliste Tattendorf.....	14
Tabelle 4: Wetterdaten im Vergleich .....	18
Tabelle 5: Energiebilanz des ersten Messjahres.....	27
Tabelle 6: Energiebilanz des zweiten Messjahres .....	38

### 6.3 Quellenangaben

- [AEE INTEC]           Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien AEE  
Messkonzept für das Haus der Zukunft Projekt IBK  
Für das Projekt Roschégasse 20  
Gleisdorf, Dezember 2006
- [natur & lehm]       natur & lehm Lehmbaustoffe GmbH, Tattendorf/NÖ  
[www.lehm.at](http://www.lehm.at)
- [natur & lehm]       Bauen mit Lehm- Passivhausmodulen: Lehm- Passivhausbürohaus  
Tattendorf; Projekt im Rahmen der Programmlinie „Haus der  
Zukunft“  
<http://www.lehm.at/typo3/fileadmin/layout/baumodule.pdf>
- [OIB]                 Österreichisches Institut für Bautechnik  
Klimadaten für Österreich  
Schenkenstraße 4, 1010 Wien  
[www.oib.or.at](http://www.oib.or.at)

## 6.4 Fotodokumentation



Holzriegelkonstruktion mit eingesetzten Lehmmodulen, Lehmverputz

Quelle: AEE Intec



1500 l Pufferspeicher

Quelle: AEE Intec



Pufferspeicher nach Einbau/Isolierung

Quelle: AEE Intec

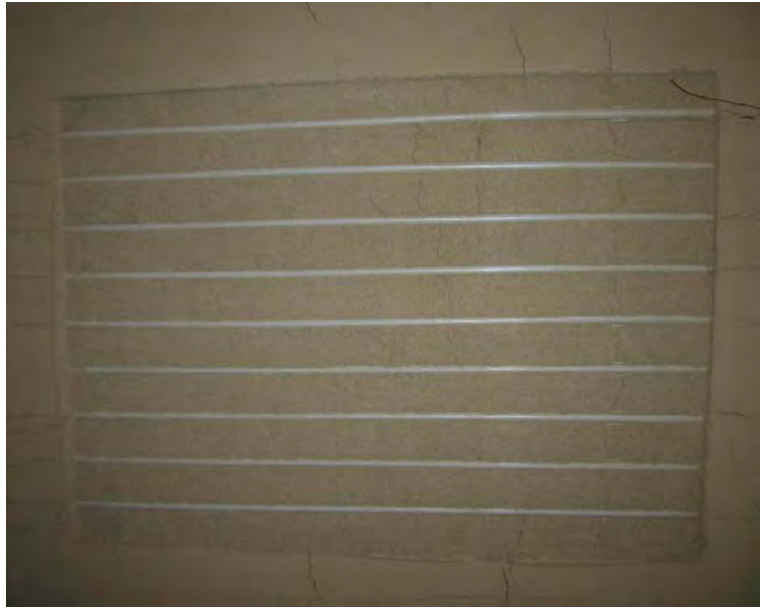


Fassadenkollektor auf der Südseite des Gebäudes

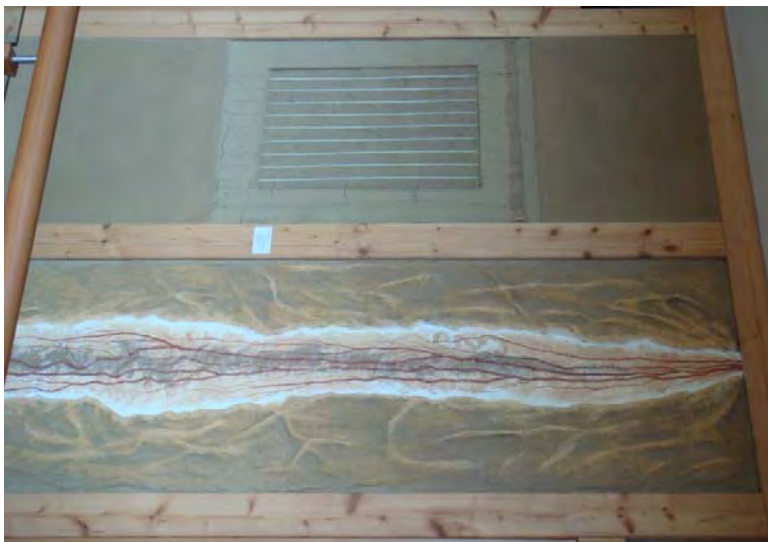
Quelle: AEE Intec



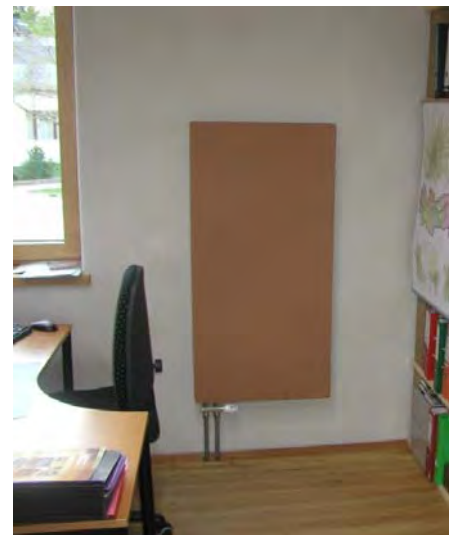
Gestaltungselement aus Lehm  
Quelle: AEE Intec



Wandheizelement in Lehmwand  
Quelle: AEE Intec



Wandheizelement und Lehm- Gestaltungselement  
Quelle: AEE Intec

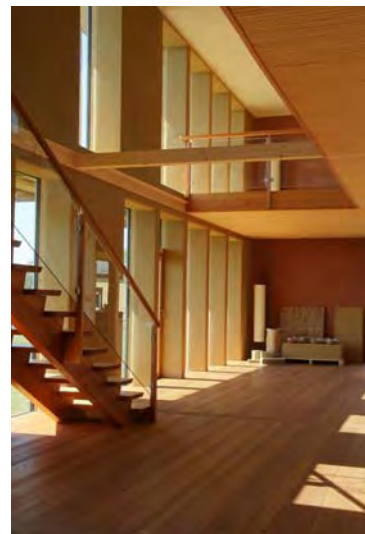
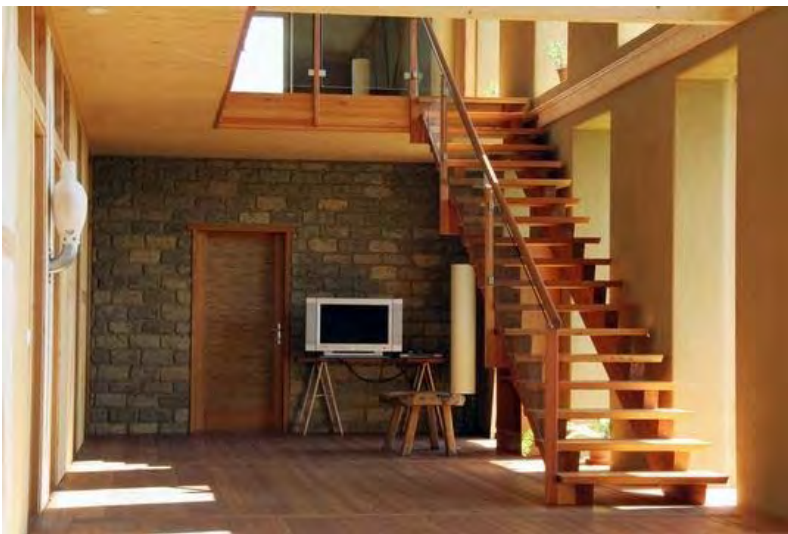


Lehmheizkörper  
Quelle: AEE Intec



Innenraum- Zwischenwände und Methanolheizung

Quelle: AEE Intec



Ansichten Erdgeschoss

Quelle: AEE Intec



Gebäudeansicht Süd

Quelle: AEE Intec



Ansicht erster Stock

Quelle: AEE Intec






Ansicht Südfassade

Quelle: AEE Intec

## 7 Anhang

### 7.1 Kurzdokumentation

<b>IBK I Projekt – Lehm- Fertigteil Passivhaus Tattendorf</b>		
		
<b>Allgemeine Projektbeschreibung</b>		
Anschrift	Oberwaltersdorferstraße 2c, 2523 Tattendorf	
Gebäudetyp	Bürogebäude mit Demonstrationscharakter Gebäudenutzfläche: 317 m <sup>2</sup>	
Bauweise	Holzständerständerkonstruktion mit Stroh und Lehm Fertigmodulen	
Bauherr	Fa. Natur& Lehm, Tattendorf	
Architektur	Georg W. Reinberg und Marta Reinberg, Wien in Kooperation mit Natur & Lehm (Roland Meingast), Tattendorf	
Fachingenieur	Prof. DI Dr. Klaus Krec, TU Wien (Bauphysik) Fa. Longin, Dobersberg (Holzbau) AEE, Gleisdorf (Begleitendes Langzeit – Messprogramm)	
<b>Gebäudekonzept</b>		
Gebäudekonstruktion	Holzständerwerk, thermisch getrennt auf Streifenfundament Dämmung: kombinierte Stroh- Lehm-Vliestechnik Biofaser – Lehmputze außen und innen	
U- Werte [W/m <sup>2</sup> /K]	oberste Geschossdecke gg. belüfteten Dachraum: 0,06; Außenwand: 0,09; Bodenplatte aufgeständert: 0,09; Fenster gesamt: 0,81	
<b>Haustechnikkonzept</b>		
Heizung/ Kühlung	4- Leiter System Spezielle Lehm- Heizelemente werden aus Pufferspeicher (1500 l) gespeist, der Energie über fassadenintegrierten 24 m <sup>2</sup> Flachkollektor, sowie über E-Heizstab bezieht, Nachheizung teilweise über Elektro- Radiatoren, Einbringung von Kühlenergie über Kaltwassersatz aus Brunnen	
Warmwasser	Zapfung über Wellrohr- Edelstahl Wärmetauscher aus Pufferspeicher	
Lüftung	Lüftungsgerät mit Wärme- und Feuchterückgewinnung (Sorptionsrad) Vorwärmung/ Vorkühlung der Frischluft über Erdreichwärmetauscher und weitere Vorwärmung der Außenluft mittels Abluftwärmetauscher Zuluft gelangt über Lehmrohrenziegelkanäle und Zwischenwände ins Gebäude	
<b>Energetische Kenngrößen</b>		
Energiebezugsfläche TFA (Treated Floor Area)	291 m <sup>2</sup>	
berechneter, Jahresheizwärmebedarf (HWB) laut PHPP	HWB <sub>TFA</sub> = 7,00 kW/(m <sup>2</sup> *a)	
gemessener, spezifischer Jahresheizwärmebedarf (HWB) nicht klimabereinigt, Messjahr 1/Messjahr 2	HWB <sub>TFA</sub> = 9,15/ 7,34 kW/(m <sup>2</sup> *a)	
gemessener, spezifischer Jahresheizwärmebedarf (HWB) nicht klimabereinigt, Messjahr 1/Messjahr 2	HWB <sub>TFA</sub> = 7,00/ 8,34 kW/(m <sup>2</sup> *a)	