

ENERGIETECHNISCHE UND BAUBIOLOGISCHE BEGLEITUNTERSUCHUNG DER BAUPROJEKTE

BERICHTSTEIL LEHM-BÜROGEBÄUDE TATTENDORF

ÜBERSICHTSBERICHT

Autoren

Ing. Waldemar Wagner
Franz Mauthner B.Sc.

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Gleisdorf, im Juni 2008



Auftraggeber:

**Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie**
Renngasse 5
1010 Wien



im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“

**Auftragnehmer:**

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien
A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19
Tel.: 03112 5886 -28
Fax: 03112 5886 -18
E-Mail: office@aee.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
<http://www.ecology.at>



**Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik,
Arbeit und Kultur – IFZ**

Schlögelgasse 2
A – 8010 Graz

Dr. Mag. Jürgen Suschek-Berger
Tel: ++ 43 / 316 / 813 909 - 31
e-mail: suschek@ifz.tu-graz.ac.at
<http://www.ifz.tu-graz.ac.at>



Gebäudekonzept und Besonderheiten der Gebäudearchitektur

Das Lehm- Passivhausgebäude wurde als Bürogebäude der Firma natur & lehm in Tattendorf (NÖ) konzipiert und dient gleichzeitig als Prototyp für eine zukünftige industrielle Fertigung von Lehm-Passivhaus-Baumodulen und als Schau- und Demonstrationsobjekt der Firma und ihrer Produkte.

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“.

Für die Realisierung des Gebäudes wurde im Vorfeld ein neues Bausystem aus Fertigelementen entwickelt.

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.

Das System besteht grundsätzlich aus einer vollständigen Passivhaus-Außenhülle aus Doppelriegel – Holzrahmen Baumodulen, einer massiven Holzzwischendecke und einer tragenden Mittelwand (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Fertigteile- Konstruktionsprinzip [natur & lehm]

Nach einer 2- jährigen Planungsphase konnte das Gebäude nach 8-monatiger Bauzeit im Juni 2006 übergeben werden.

Das Passivhaus- Bürogebäude hat eine beheizte Fläche von 265 m² (Büroräume, Seminarräume).

Zusätzlich befinden sich noch das Lager (39 m²) und der Technikraum (13 m²) innerhalb der thermischen Hülle, werden aber nicht beheizt.

Die Energiebezugsfläche, also die Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Energiekennzahlen beträgt 291m².



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

Nachfolgende Tabelle 1 zeigt in einer Übersicht die wichtigsten Beteiligten am Bauprojekt.

Tabelle 1: 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)
Haustechnik	Ing. Franz Waxmann, Holz & Solar Dr. Rudolf Kunesch, TZ Salkammergut (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 Franz u. Andreas Zöchbauer, Fa. natur & lehm Zöchbauer
Holzbau	Ing. Erich Longin, Holzbau Longin GmbH, Dobersberg
Projektleitung und Koordination	Roland Meingast, natur & lehm

Innovatives 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_{th} (24 m² Kollektorfläche) beheizt (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Links: Thermischer Solarkollektor in Fassade; Mitte: 1500 Liter Solarspeicher vor Einbau; Rechts: Der fertig eingebaute, mit Flachs gedämmte und mit natur & lehm Biofaser-Lehmverbundplatten verkleidete Speicher mit isolierten Leitungen. 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 4) und zusätzlich wird ein Heizregister in der Zuluft zum Seminarraum mit Wärme versorgt.



Abbildung 4: Links: Lehmheizkörper; Rechts: Lehm- Heizelement [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 Rohren (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 5).

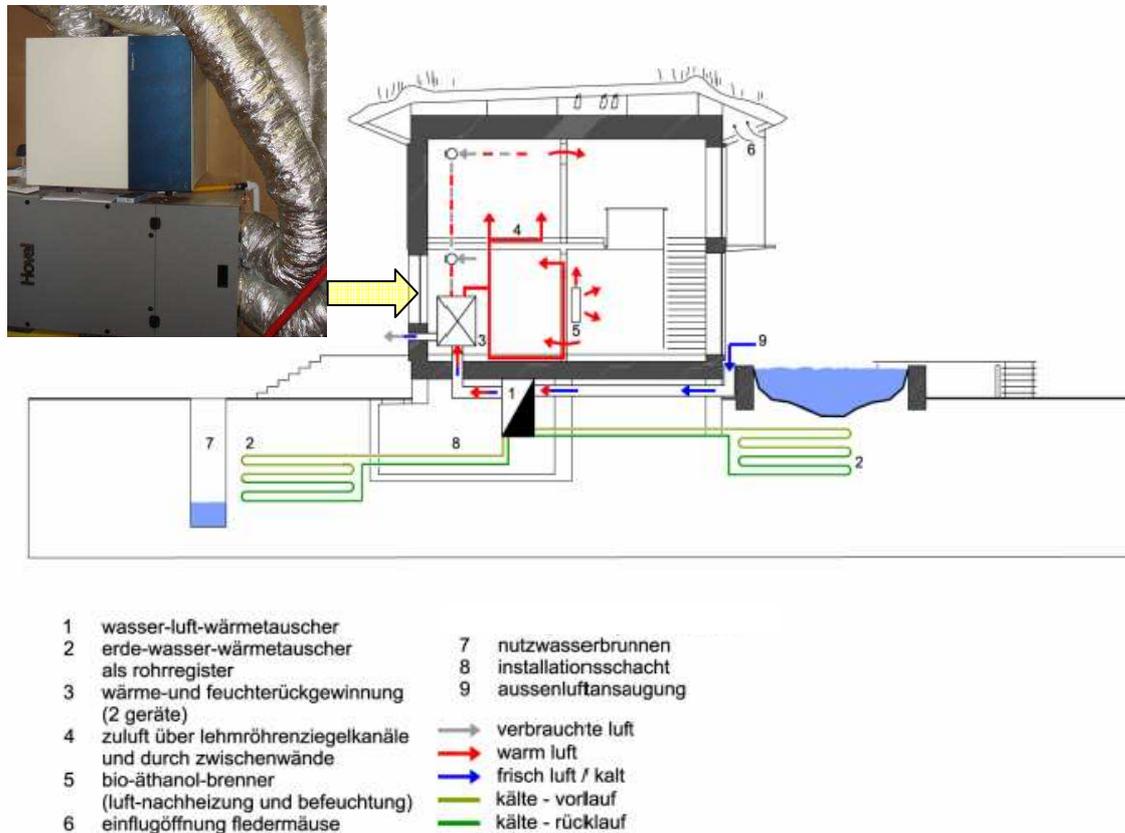


Abbildung 5: Schema Lüftungssystem Lehm-Bürogebäude Tattendorf (natur & lehm)

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.

Der in der Abbildung eingezeichnete Bio-Ethanol-Brenner war während der Messphase nicht in Betrieb.

Übersicht über die Ergebnisse aus dem Monitoring

Im Rahmen der energietechnischen und baubiologischen Untersuchung des Gebäudes wurde insgesamt 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 CO₂-Konzentration) im Inneren des Gebäudes, sowie die Erstellung einer kompletten Energiebilanz.

Behaglichkeit und Raumklima - Bewertung der Komfortparameter

Das Zusammenwirken von Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit und Reinheit (z.B. CO₂-Gehalt) der Luft wird als Raumklima bezeichnet. Diese unterschiedlichen Komfortparameter müssen genormten Anforderungen genügen, damit der Aufenthalt in einem Gebäude für Personen subjektiv als angenehm bzw. behaglich empfunden werden kann.

Gemäß DIN 1946 Teil 2 soll die empfundene Raumtemperatur zwischen 20°C und 26°C liegen, wobei bei sehr hohen Außentemperaturen im Sommer auch geringfügig höhere Werte zulässig sind.

In Abbildung 6 sind Stundenmittelwerte der Raumtemperaturen in den Büroräumen dargestellt. Dabei wurde nur der Zeitraum von Montag bis Freitag, zwischen 8 bis 17 Uhr (Bürobetrieb) berücksichtigt.

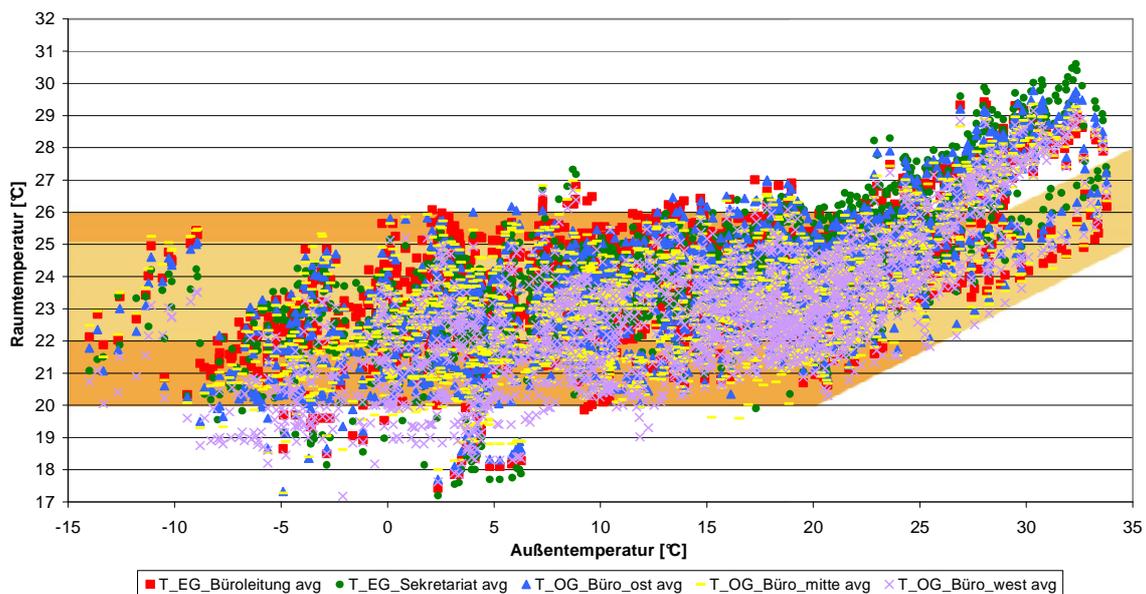


Abbildung 6: Verteilung der mittleren Raumtemperaturen in den Büros als Funktion der Außentemperatur im Messjahr 1; Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten)

Die Raumtemperaturen liegen während der Heizperiode vereinzelt unter dem behaglichen Bereich und im Sommer werden Temperaturen von über 28°C erreicht.

Insgesamt lag die mittlere Raumtemperatur im ersten Messjahr 411 Stunden über 25°C (entspricht 20,6% der Arbeitszeit) und 74 Stunden unter 20°C (entspricht 3,7% der Arbeitszeit).

In den ersten beiden Messjahren wurde die Möglichkeit der Nachtabenkung 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.

Abbildung 7 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.

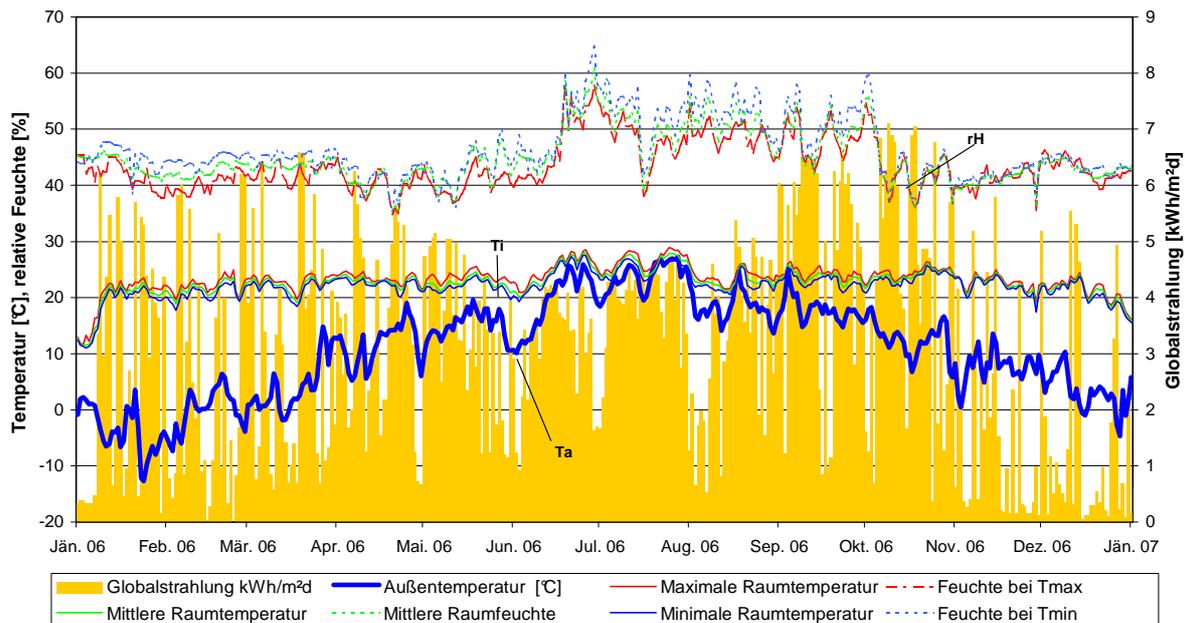


Abbildung 7: Raumklima in Tagesmittelwerten Messjahr 1

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.

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

Die guten Werte sind vor allem durch den Einsatz des Lüftungsgerätes mit Wärme- und Feuchterückgewinnung zu erklären. Im Vergleich zu anderen Gebäuden mit mechanischer Lüftung und reiner Wärmerückgewinnung schneidet dieses Konzept deutlich besser ab.

Beim Vergleich der Abbildung 7 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.

Neben den Komfortparametern Raumtemperatur und Raumfeuchte spielt auch der CO₂-Gehalt in der Raumluft als lufthygienischer Parameter eine wesentliche Rolle.

Der CO₂- 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 den früheren empfohlenen oberen Grenzwert für die CO₂-Konzentration dar, der auf Untersuchungen von Max von Pettenkofer zurückgeht. DIN 1946, Teil 2 nennt eine maximale Konzentration in der Aula von 1500 ppm oder 0,15 Vol.-% CO₂.

Nachfolgende Abbildung 8 gibt die Stundenmittelwerte der CO₂- Konzentrationen über den gesamten Messzeitraum, allerdings zu den angenommenen Bürozeiten, wieder.

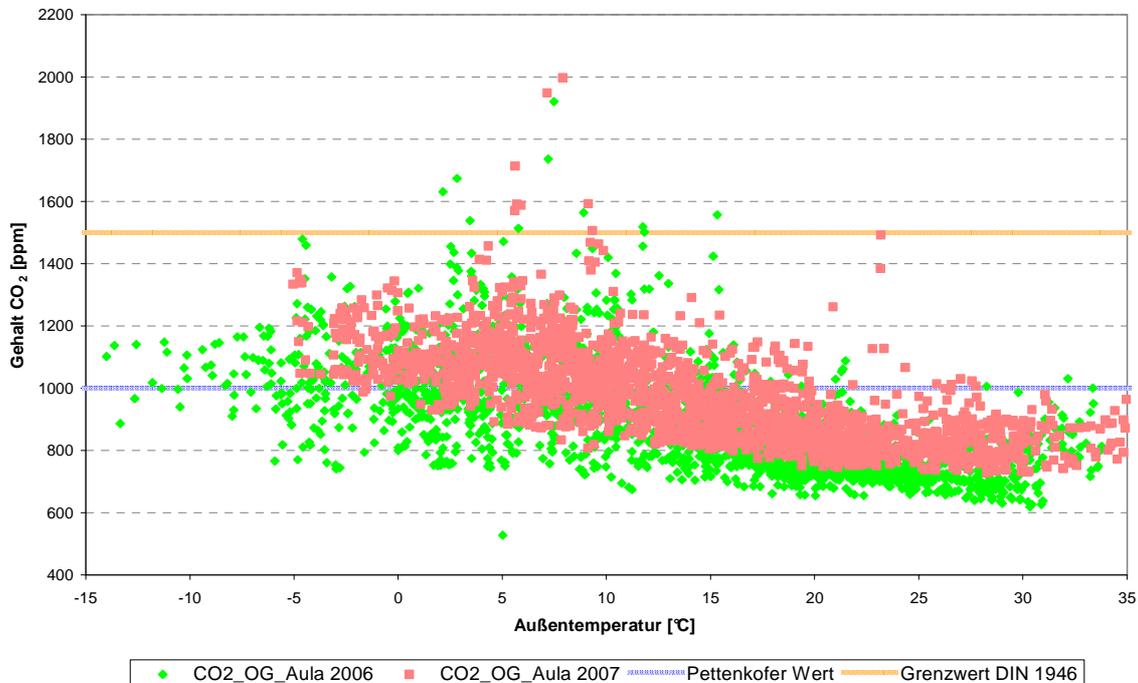


Abbildung 8: CO₂- Konzentrationen in der Aula als Stundenmittelwerte (nur Bürozeiten- 2006 und 2007)

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.

Energiebilanz des Gebäudes

Die Energiebilanz des Gebäudes beinhaltet sämtliche Energieströme, die für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Strom relevant sind. Als Bilanzgrenze wird jeweils die Passivhaus- Gebäudehülle herangezogen.

Ein Abgleich der Energiebilanz (bezogen auf einen standardisierten Klimadatensatz) mit den Vorgaben für Passivhäuser gemäß Passivhausinstitut in Darmstadt ermöglicht einen raschen Vergleich von unterschiedlichen Passivhäusern. Die Kriterien für den Bau von Passivhäuser sind primär:

- die maximal erforderliche Heizleistung ist geringer als 10 W/m²
- der spezifische Heizwärmebedarf (bestimmt nach PHPP- Passivhaus- Projektierungs- Paket) darf 15 kWh/(m²a) nicht überschreiten.
- der gesamte Primärenergiebedarf für alle Haushalts- Anwendungen (Heizung, Warmwasser, Strom) darf 120 kWh/(m²a) nicht überschreiten.

In Abbildung 9 ist die benötigte Heizenergie für Warmwasser und Heizung der verwendeten End- und Primärenergie gegenübergestellt und für beide Messjahre dargestellt.

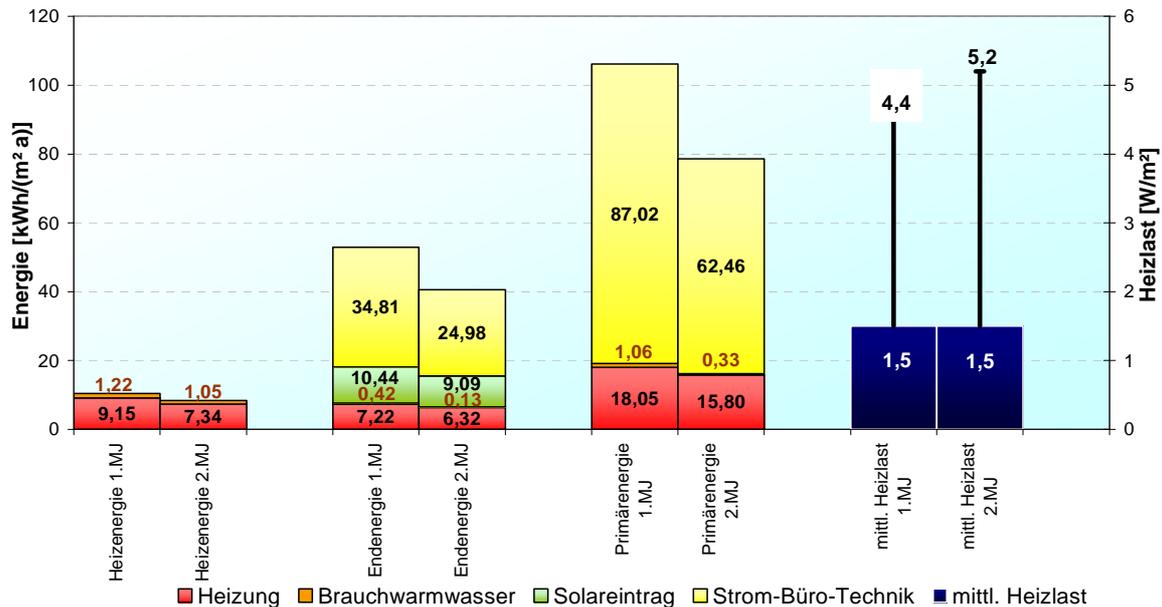


Abbildung 9: End- und Primärenergieverbrauch Lehmbürogebäude Tattendorf, beide Messjahre

Beim Lehm-Bürogebäude Tattendorf fällt der sehr niedrige Heizwärmebedarf positiv auf, der in beiden Messjahren mit 9,1 kWh/(m²a) bzw. 7,3 kWh/(m²a) deutlich unter dem vom Passivhaus- Institut geforderten Wert von 15 kWh/(m²a) liegt¹. Dazu kommen dann noch der für ein Büro erwartet niedrige Warmwasserverbrauch sowie die in absoluten Zahlen auch niedrigen Systemverluste. Nach Durchführung einer Klimabereinigung auf das Standardklima von Wien beträgt der Heizwärmebedarf im Messjahr 1 mit 7,00 kWh/(m²a) bzw. im Messjahr 2 8,34 kWh/(m²a).

Ein Großteil des Heizwärmebedarfs kann solar gedeckt werden, der Rest wird mittels E-Heizpatrone im Speicher oder E-Radiatoren in einzelnen Büros durch Strom abgedeckt.

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/(m²a) und lag somit unter dem ohnehin sehr guten Wert des Vorjahrs.

Die Primärenergiekennzahl liegt mit 78,6 kWh/(m²a) im zweiten Messjahr bei einem für Bürogebäude ausgezeichneten Wert.

Mit einer maximalen Heizlast von 5,2 W/m² wird der vom Passivhausinstitut geforderte Wert von 10 W/m² deutlich unterschritten.

Durch einige gezielte Maßnahmen (z.B. Austausch ineffizienter Verbraucher wie der Brunnenpumpe) konnte der Stromverbrauch innerhalb eines Jahres um weitere 25 % von 34,8 kWh/(m² a), auf 25 kWh/(m² a) reduziert werden. Ausschlaggebend hierfür war allerdings unter anderem auch die etwa 1°C höhere mittlere Außentemperatur im Vergleich zum ersten Messjahr.

¹ Der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung wird laut österreichischem Regelwerk (ÖN EN 832) bei der Berechnung der Kennzahl Heizwärmebedarf nicht berücksichtigt.

Erwähnenswerte Detailergebnisse

Aufgrund des hohen Dämmstandards sowie aufgrund passiv solarer Gewinne wird ein rasches Auskühlen des Gebäudes verhindert. Es wurde festgestellt, dass auch bei Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt die Temperatur im Gebäude bei nur geringen passiv solaren Gewinnen auch über einen längeren Zeitraum hinweg nicht unter 10°C fällt.

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

Nachfolgende Abbildung 10 zeigt die Abkühlung des Gebäudes über die Weihnachtsfeiertage 2007/2008.

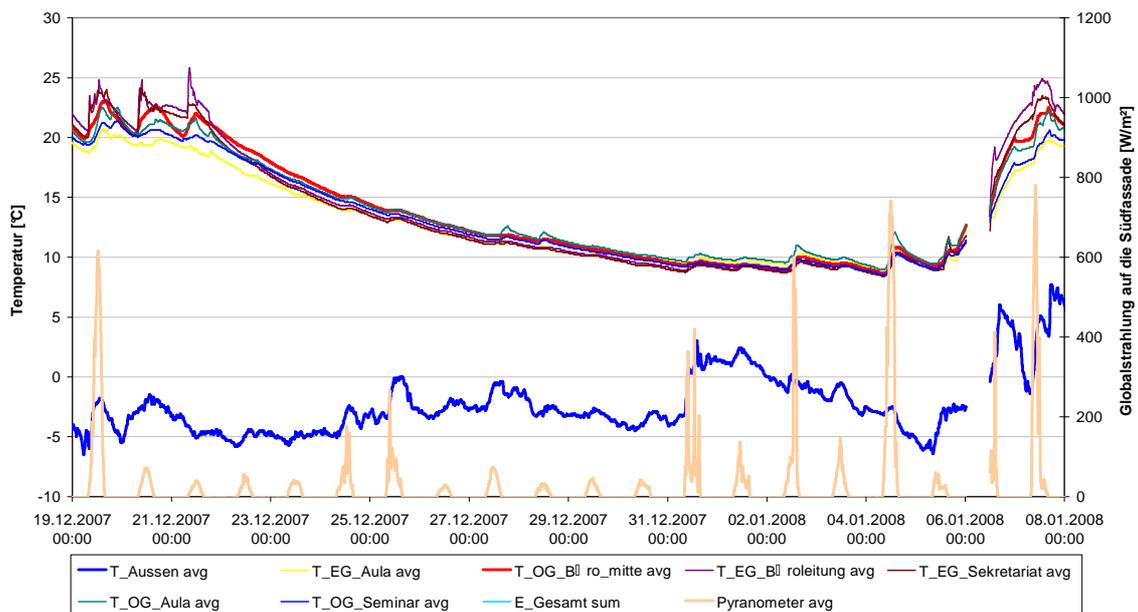


Abbildung 10: Abkühlkurve des Gebäudes (Weihnachten 2007/2008)

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 K 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 11)

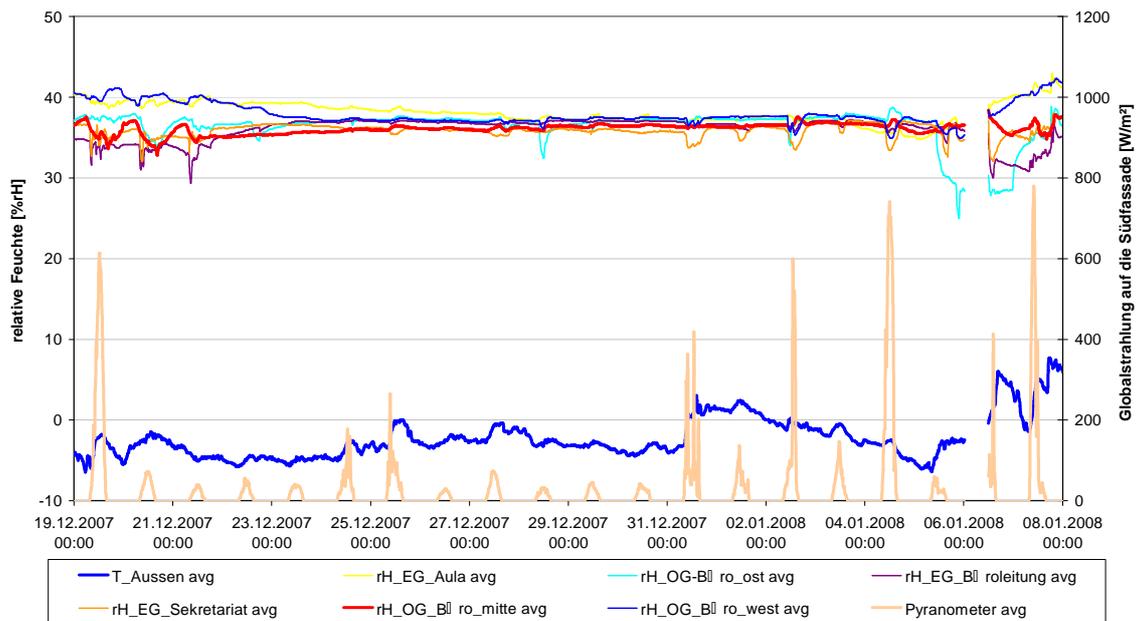


Abbildung 11: Feuchteverhalten des Gebäudes (Weihnachten 2007/2008)

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 $3,635 \text{ g Wasserdampf/m}^3\text{Luft}$ durch den Lehmbaustoff aufgenommen. Bei einem Raumvolumen von 75 m^3 entspricht dies einer Wasserdampfaufnahme von 273 Gramm.

Neben dieser speziellen Eigenschaft von Lehm hat sich auch die Investition einer Lüftungsanlage mit Feuchterückgewinnung als sehr vorteilhaft für das Innenraumklima (vor allem während der Heizsaison) erwiesen. Im Vergleich zur üblicheren kontrollierten Wohnraumlüftung mit reiner Wärmerückgewinnung zeigt die eingesetzte Variante deutliche Vorteile zu anderen (Büro-) Gebäuden.

Der Gesamtstromverbrauch und damit auch der Primärenergieverbrauch sind, wie bei einem Bürobau zu erwarten, relativ hoch.

Abbildung 12 zeigt den monatlichen Nutzenergieverbrauch (Strom, Wärme, Lüftung, Warmwasser, Hilfsstrom) für das zweite Messjahr.

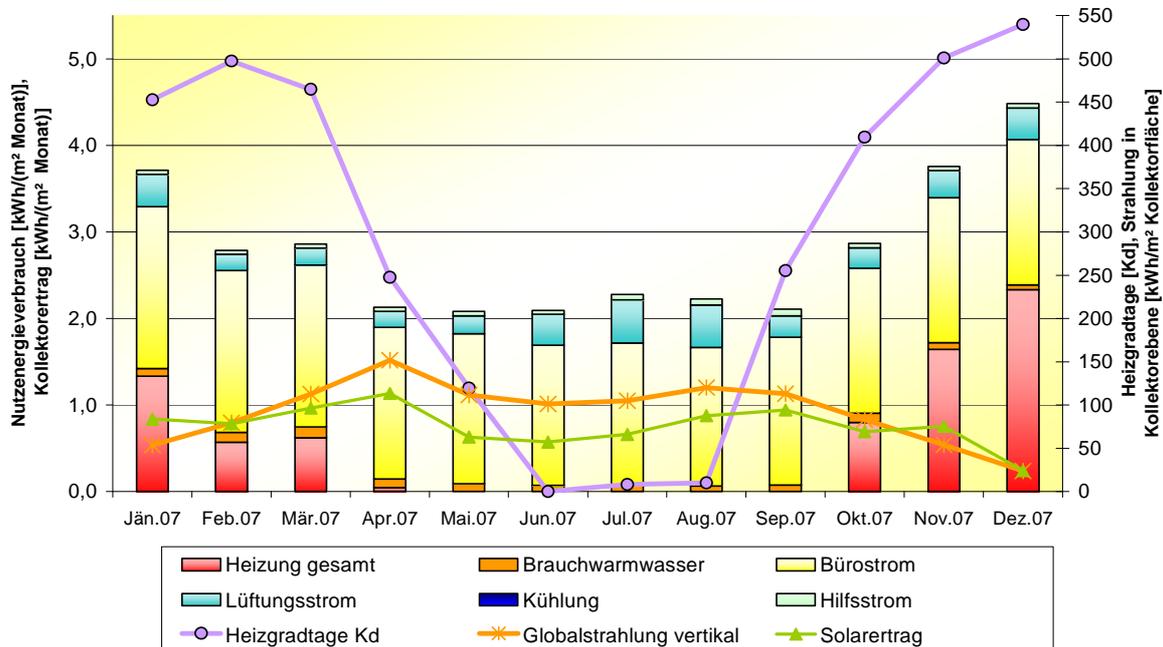


Abbildung 12: Monatlicher Energieverbrauch Messjahr 2

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.

Von den einzelnen Verbrauchern hebt sich der Bürostrom (Schuko, Licht, EDV) 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 und auch die Problematik der hohen Kühllasten im Sommer verdeutlicht.

KURZDOKUMENTATION		
IBK I Projekt – Lehm- Fertigteil Passivhaus Tattendorf		
		
Allgemeine Projektbeschreibung		
Anschrift	Oberwaltersdorferstraße 2c, 2523 Tattendorf	
Gebäudetyp	Bürogebäude mit Demonstrationscharakter Gebäudenutzfläche: 317 m ²	
Bauweise	Holzständerkonstruktion 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 INTEC, Gleisdorf (Begleitendes Langzeit – Messprogramm)	
Gebäudekonzept		
Gebäudekonstruktion	Holzständerwerk, thermisch getrennt auf Streifenfundament Dämmung: kombinierte Stroh- Lehm-Vliestechnik Biofaser – Lehmputze außen und innen	
U- Werte [W/m ² /K]	oberste Geschossdecke gg. belüfteten Dachraum: 0,06; Außenwand: 0,09; Bodenplatte aufgeständert: 0,09; Fenster gesamt: 0,81	
Haustechnikkonzept		
Heizung/ Kühlung	4- Leiter- System Spezielle Lehm- Heizelemente werden aus Pufferspeicher (1500 l) gespeist. Die Energieeinbringung erfolgt über einen fassadenintegrierten 24 m ² Flachkollektor, sowie über einen E-Heizstab bzw. wird teilweise über Elektro- Radiatoren nachgeheizt. Einbringung von Kühlenergie mittels Direktkühlung aus dem 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	
Energetische Kenngrößen		
Energiebezugsfläche TFA (Treated Floor Area)	291 m ²	
berechneter, Jahresheizwärmebedarf (HWB) laut PHPP	HWB _{TFA} = 7,00 kW/(m ² *a)	
gemessener, spezifischer Jahresheizwärmebedarf (HWB) nicht klimabereinigt, Messjahr 1/Messjahr 2	HWB _{TFA} = 9,15/ 7,34 kW/(m ² *a)	
gemessener, spezifischer Jahresheizwärmebedarf (HWB) klimabereinigt, Messjahr 1/Messjahr 2	HWB _{TFA} = 7,00/ 8,34 kW/(m ² *a)	