

# MESSTECHNISCHE BEGLEITUN- TERSUCHUNG FÜR DAS S-HOUSE

## **Autoren**

Ing. Waldemar Wagner

B.Sc. Franz Mauthner

Dipl. Ing. Dagmar Jähnig

## **AEE – Institut für Nachhaltige Technologien**

DI Hannes Hohensinner

Philipp Lopaur

## **GrAT TU Wien**

Univ. Doz. Dr. Katja Sterflinger

## **BOKU ACBR**

## Auftraggeber

### Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Renngasse 5  
A-1010 Wien



**Vertrag: GZ 607.238/1-III/I6/2003**

## Auftragnehmer:

### AEE - Institut für Nachhaltige Technologien

A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19  
Tel.: +43- 3112 5886 –60  
Fax: +43- 3112 5886 –18  
**E-Mail:** [office@aee.at](mailto:office@aee.at)



Projektpartner:

### GrAT TU Wien Gruppe Angepasster Technologien

Wiedener Hauptstraße 8-10  
A-1040 Wien  
Tel.: +43- 1 58801 -49523  
Fax: +43- 1 58801 -49533  
**E-Mail:** [rw@grat.at](mailto:rw@grat.at)



Projektpartner:

### BOKU ACBR Universität für Bodenkultur Austrian Center of Ressources and Applied Mycology

Murthgasse 18  
A-1190 Wien  
Tel.: +43- 1 36006 -6210  
**E-Mail:** [ksterf@edv2.boku.ac.at](mailto:ksterf@edv2.boku.ac.at)



<b>1</b>	<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DAS GEBÄUDEKONZEPT</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Allgemeine Informationen</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Der Gebäudeaufbau</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3</b>	<b>Das Energiekonzept</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>INHALTE UND ZIELE DES PROJEKTES</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>MESSTECHNIK</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>Messtechnisches Konzept</b> .....	<b>11</b>
<b>4.2</b>	<b>Vermessung der Testboxen</b> .....	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Schaffung der messtechnischen Infrastruktur</b> .....	<b>24</b>
<b>4.4</b>	<b>Messdatenerfassung und -verarbeitung</b> .....	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>ANALYSE DER MESSDATEN</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Bauphysikalische Eignung Wandaufbauten</b> .....	<b>27</b>
5.2.1	Temperaturverlauf Testboxen Schönwetterperiode .....	28
5.2.2	Temperaturverlauf Testboxen Schlechtwetterperiode.....	29
5.2.3	Temperaturverlauf Testboxen Winterfall .....	30
5.2.4	Wärmestrom Testboxen Winterfall .....	30
5.2.5	Relative Feuchte Testboxen Winterfall.....	31
5.2.6	Wärmestromdichte in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz .....	32
5.2.7	Temperaturabhängigkeit des Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten .....	34
5.2.8	Temperaturverlauf Boden/Decke Sommerfall .....	37
5.2.9	Temperaturverlauf Boden/Decke Winterfall .....	38
5.2.10	Relative Feuchte Testboxen Sommerfall .....	39
5.2.11	Relative Feuchte Testboxen Winterfall.....	40
5.2.12	Absolute Feuchte Testboxen Winterfall.....	41
5.2.13	Relative Feuchte Boden/Decke- Jahresverlauf .....	42
5.2.14	Kondensationspotential innerhalb des Wandaufbaus .....	42
5.2.15	Austrocknungspotential der einzelnen Dämmmaterialien .....	44
5.2.16	Wärmedurchgangskoeffizienten der Wandaubauten .....	45
5.2.17	Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten des Wandaufbaus .....	45
<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse der ermittelten Dämmstoffeigenschaften</b> .....	<b>46</b>
<b>5.4</b>	<b>Bewertung der Behaglichkeitsfaktoren</b> .....	<b>47</b>
5.4.1	Raumtemperaturen bei aktiver Nutzung des Gebäudes .....	48
5.4.2	Raumfeuchten bei aktiver Nutzung des Gebäudes .....	49
5.4.3	CO <sub>2</sub> - Gehalt bei bei aktiver Nutzung des Gebäudes .....	52
<b>5.5</b>	<b>Bewertung des Energieverbrauchs</b> .....	<b>54</b>

<b>6</b>	<b>VISUALISIERUNG DER MESSDATEN</b> .....	<b>57</b>
<b>6.1</b>	<b>Zielsetzungen und Anforderungen</b> .....	<b>57</b>
<b>6.2</b>	<b>Programmiertechnische Lösung</b> .....	<b>58</b>
<b>6.3</b>	<b>Technische Beschreibung der Visualisierung</b> .....	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>MIKROBIOLOGISCHE BEGLEITANALYSEN</b> .....	<b>65</b>
<b>7.1</b>	<b>Erster Teilbericht</b> .....	<b>65</b>
7.1.1	Durchgeführte Untersuchungen .....	65
7.1.2	Ergebnisse .....	66
7.1.3	Bewertung der Ergebnisse aus Teilbericht 1.....	69
<b>7.2</b>	<b>Zweiter Teilbericht</b> .....	<b>70</b>
7.2.1	Durchgeführte Untersuchungen .....	70
7.2.2	Ergebnisse .....	70
7.2.3	Bewertung der Ergebnisse aus Teilbericht 2.....	72
<b>7.3</b>	<b>Dritter Teilbericht</b> .....	<b>73</b>
7.3.1	Durchgeführte Untersuchungen .....	73
7.3.2	Ergebnisse .....	73
7.3.3	Bewertung der Ergebnisse aus Teilbericht 3.....	75
<b>7.4</b>	<b>Gutachten der mikrobiologische Begleitanalyse</b> .....	<b>76</b>
7.4.1	Durchgeführte Untersuchungen am S-House .....	76
7.4.2	Ergebnisse .....	76
<b>7.5</b>	<b>Vergleichende Darstellung der Messergebnisse</b> .....	<b>78</b>
<b>7.6</b>	<b>Gutachten</b> .....	<b>79</b>
<b>7.7</b>	<b>Zusammenfassung der mikrobiologische Begleitanalyse</b> . 79	
<b>8</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>81</b>
<b>8.1</b>	<b>Fotodokumentation</b> .....	<b>81</b>

# 1 Kurzfassung

Das S-HOUSE ([www.s-house.at](http://www.s-house.at)) wurde von der Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) im Rahmen der Haus der Zukunft Programmlinie des bmvit als Demonstrationsprojekt für nachhaltiges Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen entwickelt und umgesetzt. Das zweigeschossige Büro- und Ausstellungsgebäude mit einer Grundfläche von 200 m<sup>2</sup> verbindet die Vorteile nachwachsender Baustoffe, wie Holz, Stroh und Flachs, mit denen der Passivhaustechnologie. Damit konnte der Ressourcen- und Energieverbrauch, ohne die Baukosten zu erhöhen, um den Faktor zehn verringert werden. Gleiche Funktionalität und besserer Nutzerkomfort sowie Rezyklierbarkeit der Baustoffe sind weitere Vorteile des S-HOUSE Konzeptes. Zur Überprüfung der Langzeitfunktionalität des Gebäudes wurde ein umfassendes Messprogramm durchgeführt. Das dafür entwickelte Messkonzept umfasst energietechnische und bauphysikalische Aspekte.

Das Verhalten der Wand-, Boden- und Deckenkonstruktionen wird durch die Abbildung der Temperatur- und Feuchteverläufe sowie der Wärmeflüsse dokumentiert. Mit der Integration von vier zusätzlichen Testboxen in der Dämmebene der Nordwand werden außer Stroh noch Hanf, Zellulose, Kork und Flachs als Dämmmaterialien im realen Einsatz untersucht.

Zusätzlich wurden mikrobiologische Untersuchungen des Dämmstoffes Stroh und der Raumlufte von der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Abnahme der Keimzahlen gegenüber den Keimzahlen im frischen Stroh, sowie geringe Keimzahlen der Raumlufte, was den Nachweis für trockene Konstruktionen und hohe Raumluftequalität erbringt.

Für die Visualisierung der Messergebnisse wurde von der GrAT (Gruppe Angepasste Technologien) eine technische Lösung für die grafische Aufbereitung und Darstellung der Messdaten entwickelt. Damit kann das Verhalten des Gebäudes und der eingebauten Prototypkonstruktionen laufend überwacht und ausgewertet werden.

Die Messergebnisse der Wärmedämmung zeigen, dass bei sorgfältig ausgeführter Dämmung durchaus die Messwerte der im Labor durchgeführten Messungen erreicht werden können. In der Praxis ist aber die Ausführung einer der wichtigsten Maßstäbe. Dem sollte im Rahmen einer Qualitätssicherung Rechnung getragen werden.

Im Wandbereich der Strohdämmung ist eine positive Entwicklung der Luftfeuchtigkeit feststellbar. Im Bodenbereich sollte die weitere Entwicklung genau beobachtet werden.

Im Bezug auf die Passivhaustauglichkeit kann festgehalten werden, dass die gemessenen Kennzahlen sehr gut, aber durch das spezielle Benutzungsprofil nur eingeschränkt auf andere Gebäude (insbesondere Wohngebäude) übertragbar sind. Aufgrund der hohen passiven Wärmeeinträge an der Südfassade bzw. auf Grund des funktionierenden Gesamtsystems sind allerdings auch bei anderen Nutzungsprofilen keine Probleme zu erwarten.

## 2 Das Gebäudekonzept

### 2.1 Allgemeine Informationen

Mit dem S-House wurde die Errichtung eines ökologischen Passivhauses aus nachwachsenden Rohstoffen realisiert. Entwickler und Bauherr ist die Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) im Projekt vertreten durch Dr. Robert Wimmer und DI Hannes Hohensinner. Als interdisziplinäre, wissenschaftliche Forschungsinstitution an der Technischen Universität Wien entwickelt die GrAT im Rahmen von nationalen und internationalen Projekten Lösungen in den thematischen Schwerpunkten nachhaltige Entwicklung, angepasste Technologien, nachwachsende Rohstoffe, Ecodesign, Produkt- und Dienstleistungssysteme, sowie Technologiegestaltung und Verbreitung. Mit dem S-House wurde ein „Faktor 10“ Demonstrationsgebäude errichtet, das einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung steht. Es hat international großes Medieninteresse hervorgerufen und wurde bereits vielfach ausgezeichnet.

Das S-HOUSE befindet sich im BÖZAT (Böheimkirchen Zentrum für Angepasste Technologie) in NÖ, das von der GrAT geleitet wird. Das ca. 2ha große Areal wird zu einem Themenpark für nachhaltige Technologieentwicklung ausgebaut. Einen wichtigen Bestandteil dieses Themenparks bildet das S-HOUSE.

### 2.2 Der Gebäudeaufbau

Das S-House verbindet moderne Architektur mit innovativen Konstruktionen. Auf einer Grundfläche von 200 m<sup>2</sup> wurde ein zweigeschossiges Gebäude errichtet. Für die Gebäudehülle kommt eine Holzplatten- Strohballen- Konstruktion zum Einsatz, die den hohen Qualitätsstandards für ein Passivhaus gerecht wird.

Der Wand-, Boden- und Deckenaufbau ist mittels Strohbällen gedämmt und weist einen U-Wert von 0,12 W/(m<sup>2</sup>K) auf. Zusätzlich wurden an der Nordwand Testboxen angebracht, welche die Möglichkeit bieten, auch andere Dämmstoffe zu untersuchen (siehe



Abb. 1: Nordwand – Strohdämmung und Testboxen

Abb. 1).

Durch die südseitige Glasfront kann die Sonnenenergie optimal genutzt werden (siehe Abb. 2).

Ausreichender Witterungsschutz und Beschattung werden durch eine freistehende Dachkonstruktion gewährleistet. Die Fundamente sind als ressourcensparende Punktfundamente ausgeführt.



Abb. 2: S-House Südfassade

## 2.3 Das Energiekonzept

Der Energiebedarf des Gebäudes ist durch die gute Qualität der Dämmung und die hohen passiven Gewinne äußerst gering.

Dieser niedrige Heizenergiebedarf wird mit einem eigens dafür entwickelten stückholzbefeuerten Speicherofen, der seine Energie an den Abluftstrang des Lüftungssystems abgibt, abgedeckt. Die Wärme wird über ein groß dimensioniertes Wärmerückgewinnungsregister an die Zuluft übertragen und im Gebäude verteilt. Das Lüftungssystem verfügt außerdem über einen Erdreichwärmetauscher, durch den – je nach Jahreszeit - die Außenluft vorgewärmt oder vorgekühlt werden kann.

Eine 10 m<sup>2</sup> große Kollektorfläche liefert Energie für die Bauchwarmwasserbereitung in einen 1000 Liter-Pufferspeicher.



Abb. 3: 10 m<sup>2</sup> Solarkollektoren auf dem Flachdach bzw. stückholzbefeuertes Speicherofen im Ausstellungsraum integriert.

### 3 Inhalte und Ziele des Projektes

Inhalte und Ziele des Projektes sind die messtechnischen Begleituntersuchungen des „S-House“, das als zweigeschossiges, in Strohballenbauweise konzipiertes, Passivhaus in Böheimkirchen errichtet wurde. Dabei liegt der Schwerpunkt in der Erfassung bauphysikalischer Parameter.

Aspekte wie das Lüftungsverhalten, die Raumtemperaturen oder der persönliche Umgang mit internen Lasten bzw. passivsolare Energieeinträge beeinflussen das Gebäudeverhalten bzw. den Energieverbrauch beträchtlich. Daher wird eine umfassende Untersuchung dieser Zusammenhänge angestrebt. Die energietechnische Evaluierung beinhaltet die Energiebilanzen über das gesamte Gebäude mit speziellem Fokus auf den Heizenergieverbrauch, den Warmwasserverbrauch, den Stromverbrauch für haustechnische Einrichtungen sowie für die EDV-Einrichtungen. Außerdem werden Komfortparameter wie Raumtemperatur, Raumfeuchte und CO<sub>2</sub>-Gehalt unter Berücksichtigung des tatsächlichen Klimas, welches durch Messung der Außentemperatur, der Außenfeuchte, der Windgeschwindigkeit und der solaren Einstrahlung festgehalten wird, analysiert.

Mit der Integration von vier zusätzlichen Testboxen in der Nordwand, werden außer Stroh noch vier weitere Dämmmaterialien im realen Einsatz untersucht und miteinander verglichen. Somit können für die gleichen Einflussparameter Aussagen über den Wärmestrom durch die Wand und die Feuchte- und Temperaturverläufe der unterschiedlichen Dämmstoffe gemacht werden.

Mit der Untersuchung des mikrobiologischen Verhaltens der Strohisolierung, als Aufgabenbereich der Universität für Bodenkultur (BOKU), soll eine verbesserte Aussage über die Praxistauglichkeit der Konstruktion erreicht werden.

Mit Hilfe der im S-House durchgeführten Messungen, welche die wichtigsten bauphysikalischen und raumklimatischen Größen erfassen, soll die Funktionstüchtigkeit der Baukonstruktionen und des Gebäudes dokumentiert und visualisiert, sowie das Langzeitverhalten der Baustoffe untersucht werden.

Folgende Funktionen soll das Messkonzept erfüllen:

- Überprüfung der Langzeitfunktionalität von Konstruktionen mit Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen
- Referenzwerte für Computersimulationsprogramme
- Erhebung und Verbreitung von Materialdaten von innovativen Baustoffen
- Daten zur Qualität des Passivhausraumklimas
- Energie- und Komfortparameter
- Online - Visualisierung als Demonstrationsobjekt

Die Messergebnisse sollen online in der Ausstellung verfügbar sein und die wesentlichen Parameter sollten auch über das Internet abgerufen werden können. Das verwendete Messsystem muss daher einerseits onlinefähig sein und andererseits internetfähiges Datenmaterial liefern. Ein kurzer Überblick des Ausstellungsconzeptes bzw. der Messdatendarstellung ist im Abschnitt 6 Visualisierung der Messdaten beschrieben.

Mit der Realisierung des Messkonzeptes im S-House soll umfassendes Datenmaterial über die eingesetzten Komponenten verfügbar gemacht werden, welches

eine wichtige Grundlage für eine effektive Verbreitung nachhaltiger Bautechnologien und Konstruktionen auf Basis nachwachsender Rohstoffe darstellt.

Die Daten werden in einer Datenbank abgelegt und können dann auch in anderen Projekten für unterschiedlichste Auswertungen und Vergleiche zusammengestellt werden.

## 4 Messtechnik

### 4.1 Messtechnisches Konzept

Das Ziel der Messung ist die Erfassung und Überprüfung folgender Parameter:

- Gesamtenergiebedarf für das Gebäude in kWh/(m<sup>2</sup> a)
- Gesamtheizenergiebedarf für das Gebäude in kWh/(m<sup>2</sup> a)
- Einhaltung der Grenzwerte für die Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte bzw. CO<sub>2</sub> Gehalt in beiden Etagen

Für die Erstellung geschlossener Energiebilanzen werden folgende thermische und elektrische Energieströme gemessen:

- Heizenergiebedarf des Gebäudes
- Warmwasserbedarf des Gebäudes
- Solarertrag des Kollektorfeldes
- Zentrale Energiezufuhr durch die Zusatzheizung (Holz)
- Elektrischer Stromverbrauch (zur Bestimmung der interne Lasten)

Eine getrennte Erfassung des elektrischen Energiebedarfes im Gebäude erfolgt für:

- Gesamtstromverbrauch
- Allgemeiner Technikstrom für Regelung, Pumpen, usw. (=Hilfsenergie)
- Strom für Lüftungsanlage
- Strom für EDV

Für die bauphysikalische Beurteilung werden folgende Messungen durchgeführt:

- Feuchte- und Temperaturverlauf innerhalb der eingesetzten Dämmmaterialien Flachs, Zellulose, Kork, Hanf und Stroh an unterschiedlichen Ebenen und Stellen des Gebäudes
- Wärmeströme durch die einzelnen Dämmmaterialien: Flachs, Zellulose, Kork, Hanf und Stroh

Der Aufbau der Testboxen ist im Kapitel Vermessung der Testboxen beschrieben

Des Weiteren werden folgende Klimadaten erfasst:

- Globalstrahlung auf die horizontale Ebene
- Außentemperatur
- Außenfeuchte
- Windgeschwindigkeit

Diese Daten sind nicht nur zur Beurteilung des Raumklimas und der Raumfeuchte von Relevanz, sie sollen in weiterer Folge auch für eine klimabereinigte Beurteilung des Heizbedarfs des Gebäudes herangezogen werden.

Die Anzahl der Messpunkte bzw. der Fühler wurde gegenüber dem Antrag um einige Datenpunkte erhöht (siehe Abb. 4: Messtechnikschema). Dadurch ist eine bessere Beschreibung des Gebäudeverhaltens möglich.

In Abb. 4 ist das energie- und lüftungstechnische Konzept dargestellt. Des Weiteren sind alle Messpunkte bzw. Messstellen schematisch eingetragen.

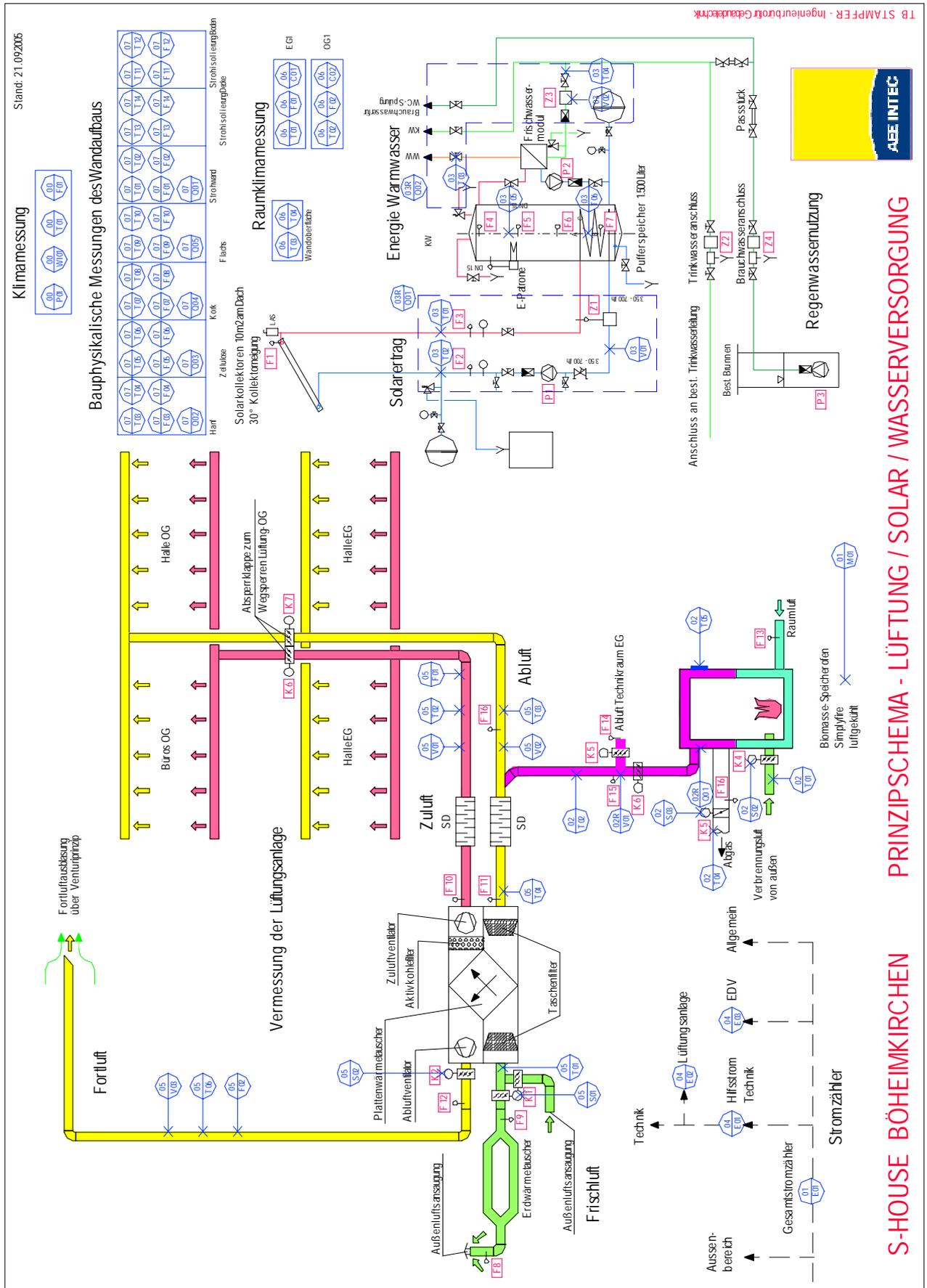


Abb. 4: Messtechnikschema Sensorik

Die nachfolgenden Tabellen geben einen genauen Überblick über die eingesetzten Sensoren bezüglich technischer Daten sowie des Einbauortes.

Tabelle 1: Messgeräte und Messgrößen

Messgerät	Messgröße	Einbauort Messgerät	Gerätetyp	Zusatz	Signal	Variablen Name SPS	Messbereich	Kenngroße
<b>Klimadaten</b>								
Pyranometer	Globalstrahlung	Dach	Kipp/Zone CM3	MU IPAQ-H	4..20mA	PYRO	0..2000W/m <sup>2</sup>	22,15µV/W*m <sup>-2</sup>
Temp.fühler	Außentemp.	unter Dach Nord- seite	EE21	Schutz	4..20mA	T_AUSSEN	-40..+60°C	
Feuchtefühler	Außenfeuchte	unter Dach Nord- seite	EE21		4..20mA	RH_AUSSEN	0..100% rH	
Anemometer	Windgeschwin- digkeit	Dach	Kriwan INT10		4..20mA	WIND	0..40m/s	
<b>Raumparameter</b>								
Temp.fühler	Raumtemp.	EG 1, Halle hinter Technikwand in 1,5m Höhe	EE80		0..10V	T_EG	0..50°C	
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	EG 1, Halle hinter Technikwand in 1,5m Höhe	EE80		0..10V	RH_EG	0..100% rH	
Temp.fühler	Raumtemp.	OG 1, Halle am Anfang der Holz- wand in 1,5m Hö- he	EE80		0..10V	T_OG	0..50°C	
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	OG 1, Halle am Anfang der Holz- wand in 1,5m Hö- he	EE80		0..10V	RH_OG	0..100% rH	

Messgerät	Messgröße	Einbauort Messgerät	Gerätetyp	Zusatz	Signal	Variablen Name SPS	Messbereich	Kenngroße
Temp.fühler	Wandoberflächentemp.	hinter Testbox Zellulose	PT1000 3L	MU IPAQ-H	4..20mA	T_WAND_ZELLU	0..50°C	
Temp.fühler	Wandoberflächentemp.	hinter Wandverbau	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_WAND_2	0..50°C	
<b>Wandzustände</b>								
Temp.fühler	Wandtemp.	Strohisolierung Nordwand Außenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_STROH_A	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Strohisolierung Nordwand Außenseite	EE06		0..1V	RH_STROH_A	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Strohisolierung Nordwand Innenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_STROH_I	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Strohisolierung Nordwand Innenseite	EE06		0..1V	RH_STROH_I	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox1 Hanf Außenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_HANF_A	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox1 Hanf Außenseite	EE06		0..1V	RH_HANF_A	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox1 Hanf Innenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_HANF_I	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox1 Hanf Innenseite	EE06		0..1V	RH_HANF_I	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox2 Zelle Außenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_ZELLU_A	-20..50°C	

Messgerät	Messgröße	Einbauort Messgerät	Gerätetyp	Zusatz	Signal	Variablen Name SPS	Messbereich	Kenngröße
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox2 Zellu Außenseite	EE06		0..1V	RH_ZELLU_A	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox2 Zellu In- nenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_ZELLU_I	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox2 Zellu In- nenseite	EE06		0..1V	RH_ZELLU_I	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox3 Kork Au- ßenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_KORK_A	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox3 Kork Au- ßenseite	EE06		0..1V	RH_KORK_A	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox3 Kork In- nenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_KORK_I	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox3 Kork In- nenseite	EE06		0..1V	RH_KORK_I	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox4 Flachs Au- ßenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_FLACHS_A	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox4 Flachs Au- ßenseite	EE06		0..1V	RH_FLACHS_A	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Testbox4 Flachs In- nenseite	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_FLACHS_I	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Testbox4 Flachs In- nenseite	EE06		0..1V	RH_FLACHS_I	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Boden	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_BODEN_1	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Boden	EE06		0..1V	RH_BODEN_1	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Boden	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_BODEN_2	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Boden	EE06		0..1V	RH_BODEN_2	0..100% rH	

Messgerät	Messgröße	Einbauort Messgerät	Gerätetyp	Zusatz	Signal	Variablen Name SPS	Messbereich	Kenngroße
Temp.fühler	Wandtemp.	Decke	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_DECKE_1	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Decke	EE06		0..1V	RH_DECKE_1	0..100% rH	
Temp.fühler	Wandtemp.	Decke	Pt100	MU Jumo T03	4..20mA	T_DECKE_2	-20..50°C	
Feuchtefühler	Wandfeuchte	Decke	EE06		0..1V	RH_DECKE_2	0..100% rH	
Wärmestromplatte	Wärmestrom	Strohisolierung Nordwandand In- nenseite	HFP01	MU IPAQ-H	4..20mA	Q_STROH	-50..50W/m <sup>2</sup>	59,3μV/W*m <sup>-2</sup>
Wärmestromplatte	Wärmestrom	Testbox1 Hanf In- nenseite	HFP01	MU IPAQ-H	4..20mA	Q_HANF	-50..50W/m <sup>2</sup>	60,0μV/W*m <sup>-2</sup>
Wärmestromplatte	Wärmestrom	Testbox2 Zellu In- nenseite	HFP01	MU IPAQ-H	4..20mA	Q_ZELLU	-50..50W/m <sup>2</sup>	61,1μV/W*m <sup>-2</sup>
Wärmestromplatte	Wärmestrom	Testbox3 Kork In- nenseite	HFP01	MU IPAQ-H	4..20mA	Q_KORK	-50..50W/m <sup>2</sup>	59,8μV/W*m <sup>-2</sup>
Wärmestromplatte	Wärmestrom	Testbox4 Flachs Innenseite	HFP01	MU IPAQ-H	4..20mA	Q_FLACHS	-50..50W/m <sup>2</sup>	61,6μV/W*m <sup>-2</sup>
<b>Endenergieinput- Systemgrenze Haus</b>								
E-Zähler	Elektrische E- nergie	Elektroraum/ Technikraum	1C17WT		Impulse/kWh	E_GES		getestet
<b>Wärmemengen im Kesselsystem</b>								
Temp.fühler	Temperatur von Kesselluftsystem	Technikraum	Pt100			T_KESSEL_ANSAU G		
Volumenstrom	Volumenstrom Kesselluftsystem					V_KESSEL_LUEFT		
Temp.fühler	Temperatur von Kesselluftsystem	Technikraum	Pt100			T_KESSEL_LUEFT		

Messgerät	Messgröße	Einbauort Messgerät	Gerätetyp	Zusatz	Signal	Variablen Name SPS	Messbereich	Kenngroße
Temp.fühler	Verbrennungs- Energie	Kessel Abgas	Pt100 3L	MU IPAQ-H	4..20mA	T_KESSEL_ABGAS	0..300°C	
Temp.fühler	Verbrennungs- Energie	Kessel Oberfläche	Pt100 Anlegesens- sor			T_KESSEL_OF		
<b>Wärmemengen im Wassersystem</b>								
Temp.fühler	Hydraulische E- nergie	Technikraum	Pt100 4L			T_SOLAR_VL		
Temp.fühler	Hydraulische E- nergie	Technikraum	Pt100 4L			T_SOLAR_RL		
Volumenstrom	Hydraulische E- nergie	Technikraum	Sensonic2	Verschraubt		VOL_SOLAR		
WMZ	Hydraulische E- nergie					Q_SOLAR		
Temp.fühler	Hydraulische E- nergie	Technikraum	Pt1000 3L Anlege- sensor			T_WW		
Temp.fühler	Hydraulische E- nergie	Technikraum	Pt1000 3L Ein- schraubensensor			T_KW		
Volumenstrom	Hydraulische E- nergie	Technikraum	Sensonic2	Verschraubt		VOL_WW		
WMZ						Q_WW		
Temp.fühler		Technikraum	Pt1000 3L			T_PUFFER_U		
Temp.fühler		Technikraum	Pt1000 3L			T_PUFFER_O		
<b>Elektrische Energien</b>								
E-Zähler	Elektrische E- nergie	Technikraum	NRZ NWWH5		Impulse/kWh	E_HILFSSTROM	1000Imp/kWh	

Messgerät	Messgröße	Einbauort Messgerät	Gerätetyp	Zusatz	Signal	Variablen Name SPS	Messbereich	Kenngroße
E-Zähler	Elektrische E- nergie	Technikraum	NRZ NWWH5		Impulse/kWh	E_LUEFTUNG	1000Imp/kWh	
E-Zähler	Elektrische E- nergie	Technikraum	sala burgess		Impulse/kWh	E_EDV	1000Imp/kWh	
<b>Lüftungsanlage</b>								
Temp.fühler	Kanalfühler	Nach EWT	Pt100			T_FRL		
Temp.fühler	Kanalfühler	Technikraum	EE16		4..20mA	T_ZUL	0..50°C	
Feuchtefühler	Kanalfühler	Technikraum	EE16		4..20mA	RH_ZUL	0..100% rH	
Geschwindigkeit	Kanalfühler	Technikraum	EE65		4..20mA	V_ZUL	0..10m/s	
Temp.fühler	Kanalfühler	Technikraum	Pt100			T_ABL		
Geschwindigkeit	Kanalfühler	Technikraum	EE65		4..20mA	V_ABL	0..10m/s	
Temp.fühler	Kanalfühler	Technikraum	Pt100			T_ABL_GEM		
Temp.fühler	Kanalfühler	Technikraum	EE16		4..20mA	T_FOL	0..50°C	
Feuchtefühler	Kanalfühler	Technikraum	EE16		4..20mA	RH_FOL	0..100% rH	
Geschwindigkeit	Kanalfühler	Technikraum	EE65		4..20mA	V_FOL	0..10m/s	
Kontakt	Klappenstellung	Technikraum				S_EWT		
Kontakt	Klappenstellung	Technikraum				S_FOL		

## Außenfühler

Für die Messung der Außentemperatur und Außenfeuchte wird ein E+E Electronic Messumformer EE21 FT6A21 verwendet.

Die technischen Daten des Messumformers sind in Abb. 5 dargestellt.

	Messsensor Feuchte	HC1000
	Arbeitsbereich Feuchte	0 bis 100% r.F.
	Genauigkeit Feuchte bei 20 °C	$\pm 2\%$ rF (0-90%) $\pm 3\%$ rF (90-100%)
	Messsensor Temperatur	Pt100 (Toleranz Klasse A)
	Messbereich Temperatur	-40°C bis 60 °C
	Genauigkeit Temperatur	siehe Datenblatt

Abb. 5: Außenfühler EE21 (E+E Elektronik, 2007)

## Pyranometer

Als Pyranometer wird ein CM3 von Kipp&Zonen verwendet.

Die technischen Daten dieses Messensors sind in Abb. 6 ersichtlich.

	Messbereich	0 bis 2000W/m <sup>2</sup>
	Linearitätsfehler	$\pm 2,5\%$ bei 1000W/ m <sup>2</sup>
	Steigungsfehler (bei direkter Einstrahlung)	$< \pm 25$ W/ m <sup>2</sup> (1000W/ m <sup>2</sup> )
	Betriebstemperatur	-40°C bis 80°C
	Langzeit-Stabilität	$< 1\%$ Veränderung/Jahr
	Spektraler Messbereich	305 bis 2800 nm
	Detektor	Silicon Photozelle

Abb. 6: Pyranometer CM3 (Kipp&Zonen, 2007)

## Wärmestromplatte

Für die Ermittlung des Wärmestromes in den Testboxen wird eine Wärmestromplatte Hukseflux HFP01 verwendet.

Die technischen Daten des Messumformers sind in Abb. 7 dargestellt.

	Messbereich	+50 bis - 50 W/m <sup>2</sup>
	Arbeitsbereich Temperatur	-30°C bis 70°C
	Thermische Beständigkeit	0,012 m2K/W
	Genauigkeit	$\pm 5\%$ bei 20°C
	Empfindlichkeit	ca. 60 $\mu$ V/Wm-2

Abb. 7: Wärmestromplatte Hukseflux HFP01 (Hukseflux, 2007)

## Feuchte-/Temperaturmessumformer; Testboxen

In den Testboxen wird ein E+E Elektronik Messumformer EE06 zur Messung von Temperatur und relativer Feuchte verwendet.

Die technischen Daten des Messumformers sind in Abb. 8 dargestellt.

	Messsensor Feuchte	E+E Typ HC101
	Messbereich Feuchte	0 bis 100% r.F.
	Genauigkeit Feuchte bei 20°C, 12VDC	±3% r.F. (0...95% r.F)
	Messsensor Temperatur aktiv	Pt100 (Toleranz Klasse A)
	Messbereich Temperatur	-40 bis 60°C
	Externer Messumformer außerhalb der Messbox	Pt100 in Dreileiterschaltung

Abb. 8: Messumformer Testboxen EE06 (E+E Electronic, 2007)

## Raumfühler

Als Raumfühler dient ein E+E Elektronik Messumformer EE80 zur Messung von Temperatur, relativer Feuchte und CO<sub>2</sub>- Gehalt.

Die technischen Daten des Messumformers sind in Abb. 9 dargestellt.

	Messsensor Feuchte	E+E Typ HC103
	Arbeitsbereich Feuchte	0 bis 90% rF
	Genauigkeit Feuchte bei 20 °C	±3% (30-70% rF) ±5% (10-90% rF)
	Genauigkeit Temperatur (20°C)	±0,3°C
	Messsensor CO <sub>2</sub>	E+E 2 Strahl Infrarotzelle
	Messbereich CO <sub>2</sub>	0 bis 2000ppm
	Genauigkeit (20 °C, 1013mbar)	< ± (50ppm + 2% v. Mw.)

Abb. 9: Raumfühler EE80 (E+E Elektronik, 2007)

## 4.2 Vermessung der Testboxen

Nachfolgend wird auf den Messaufbau innerhalb der Testboxen sowie auf den betrachteten Wand-, Boden- und Deckenaufbau eingegangen.

### Testboxen

Die Testboxen im Ausmaß von 100cm x 160cm x 50cm (Länge x Breite x Tiefe) sind so konzipiert, dass für alle Testdämmstoffe die gleichen Umgebungsbedingungen herrschen, die auch für die Strohwand gelten.

Als Testdämmstoffe wurden von der GrAT nach umfangreichen Untersuchungen die Dämmstoffe Flachs, Zellulose, Kork und Hanf ausgewählt.

In Abb. 10 ist die Anordnung der Testboxen an der Nordseite des Gebäudes dargestellt.

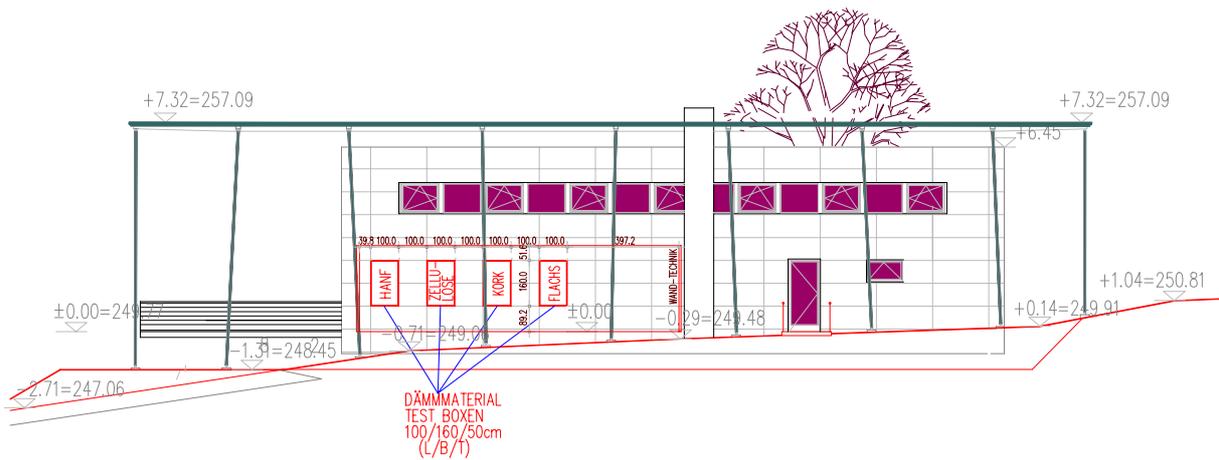


Abb. 10: Anordnung der Testboxen an der Nordwand

In Tabelle 2 sind die verwendeten Dämmmaterialien mit Angabe von Hersteller und Produktname (wenn vorhanden) angeführt.

Tabelle 2: Allgemeine Daten zu den eingesetzten Dämmmaterialien

Einbauort	Dämmmaterial	$\lambda$ lt. Hersteller [W/mK]	Dichte lt. Hersteller [kg/m <sup>3</sup> ]	Einbaudicke [cm]
Wand nord; Testbox 1	Hanf	0,04	ca.38	50
Wand nord; Testbox 2	Zellulose	0,041	55	50
Wand nord; Testbox 3	Kork	0,04	110	50
Wand nord; Testbox 4	Flachs	0,042	35	50
Wand nord- seitig	Stroh	0,0456	100-115	50

In Abb. 11 sind die Temperatur- und Feuchtfühler, sowie die Wärmestromplatte abgebildet, wie sie in den Testboxen integriert wurden.

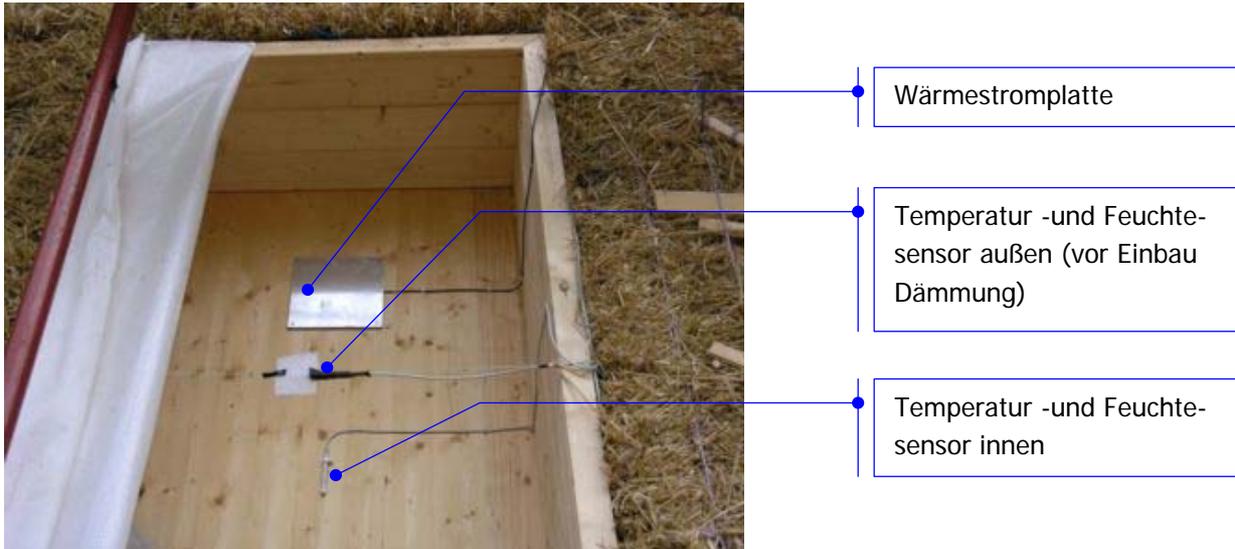


Abb. 11: Testbox innen mit Sensorik

### Wandaufbau

Die hinterlüftete Wandkonstruktion, in welche die Testboxen integriert sind, besteht aus den in Abb. 12 dargestellten Komponenten.

Zusätzlich ist die Einbaulage der verwendeten Temperatur- und Feuchtfühler, sowie der Wärmestromplatte ersichtlich. Der Lehmputz ist nur am Testaufbau für Stroh ausgeführt.

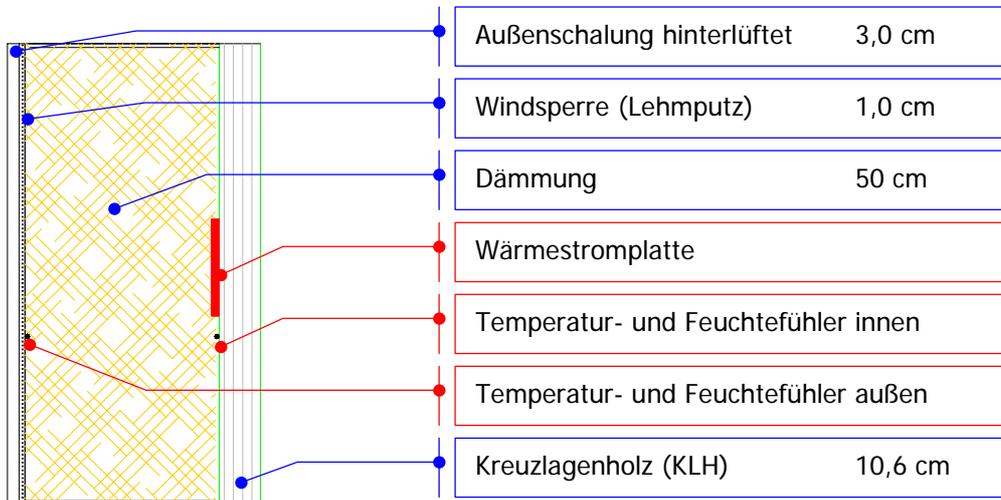


Abb. 12: Wandaufbau der Testboxen mit Einbaulage der Fühler

### Bodenaufbau

In Abb. 13 ist der Bodenaufbau (aufgeständerte Massivholzdecke) inklusive Einbaulage der Sensoren dargestellt. Der Boden wurde durch eine Kiesschüttung ausgewechselt.

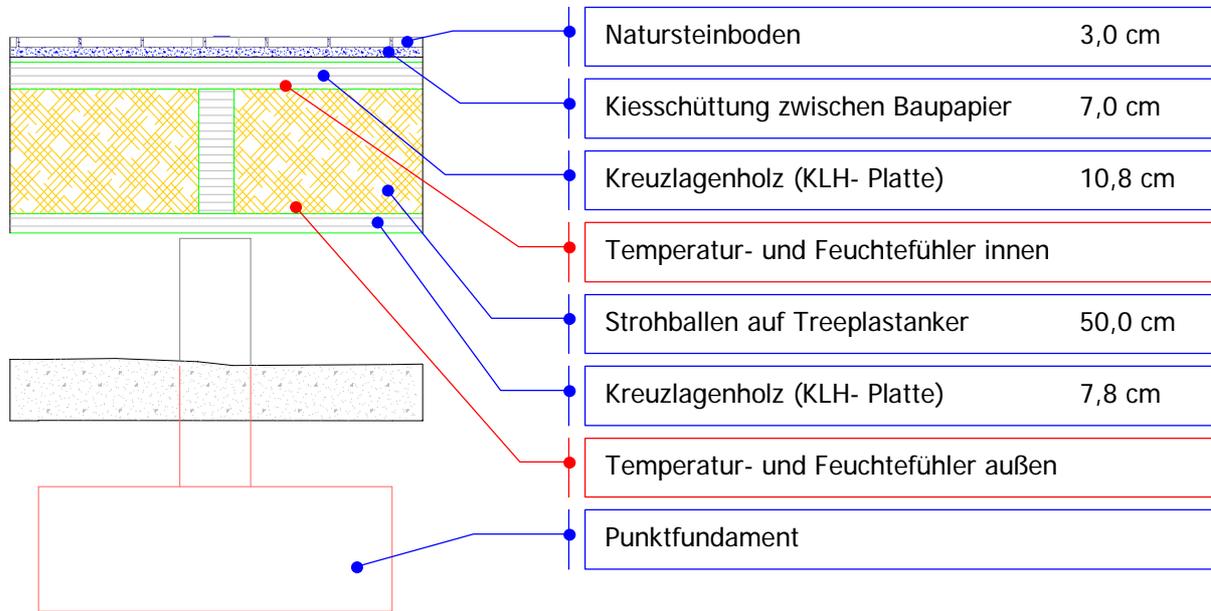


Abb. 13: Bodenaufbau mit Einbaulage der Sensoren

### Deckenaufbau

In Abb. 14 ist der Deckenaufbau mit Membran- Gründach inklusive Einbaulage der Sensoren dargestellt.

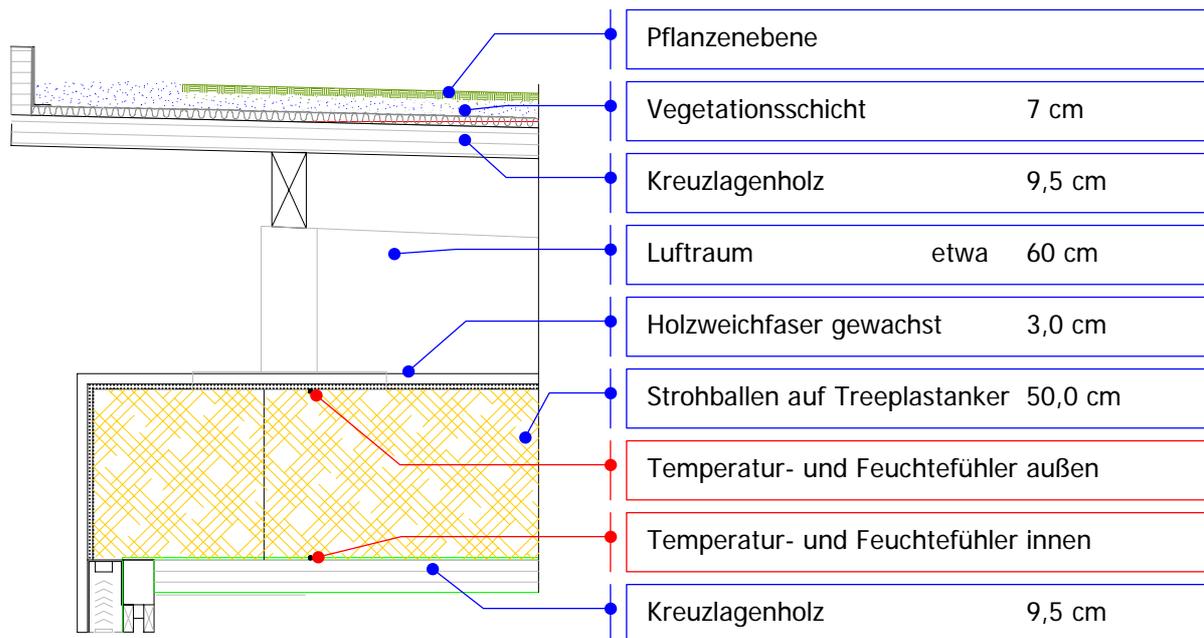


Abb. 14: Deckenaufbau mit Einbaulage der Sensoren

### Position der Raumfühler

In Abb. 15 sind die Einbauorte der Temperatur- und Feuchtefühler sowie die Position der Testboxen in einem Schnitt des Erdgeschosses eingetragen.

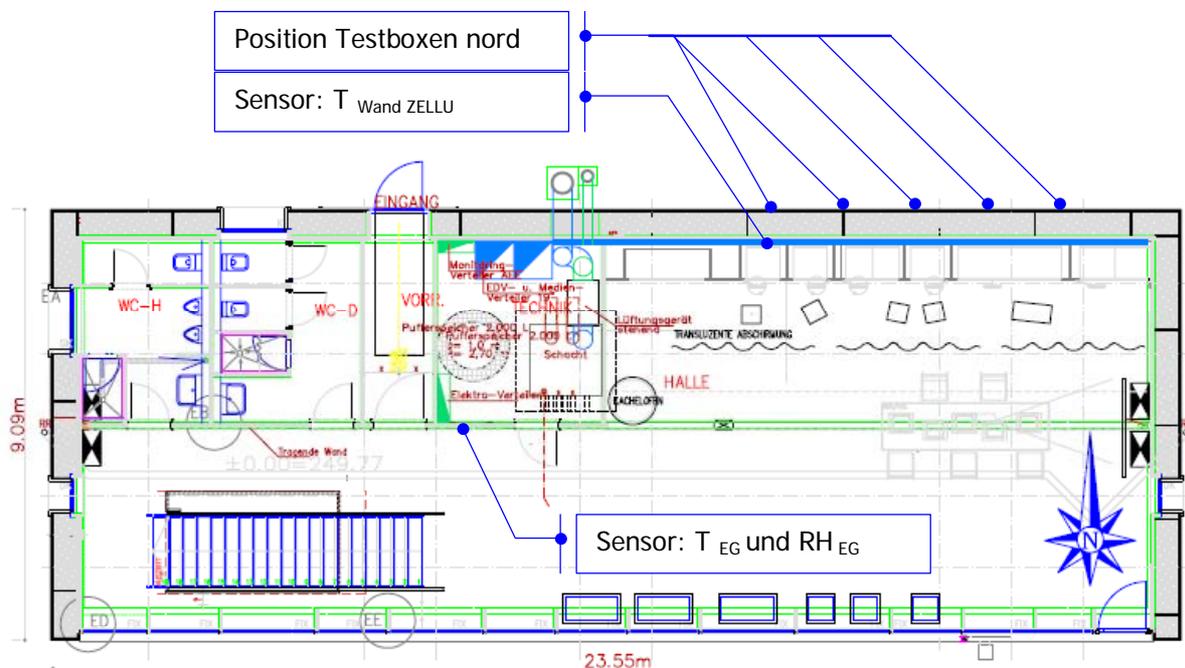


Abb. 15: Fühleranordnung Erdgeschoss S-House

### Außenklimaerfassung

Die Sensoren für die Außenklimabestimmung befinden sich unter dem Dach auf der Südseite des Gebäudes.

Zur Bestimmung des Außenklimas werden folgende Daten aufgezeichnet:

- Außentemperatur
- Außenfeuchte
- Globalstrahlung
- Windgeschwindigkeit

### 4.3 Schaffung der messtechnischen Infrastruktur

Die messtechnische Infrastruktur wurde im Rahmen des Baufortschrittes mit den Planern und den ausführenden Firmen koordiniert und beauftragt.

Als messtechnische Infrastruktur zählen die Verkabelung von den einzelnen Sensoren zur zentralen Datenerfassungseinheit und die Einbauteile zur Aufnahme der Sensoren in den hydraulischen Leitungen für die Warmwasserversorgung bzw. die Heizenergieversorgung.

Des weiteren war es notwendig, zur getrennten Erfassung einzelner elektrischer Verbraucher eine entsprechende getrennte Versorgungsleitung zu planen, die mit einem eigenen Subzähler gemessen werden kann. Dies gilt zum Beispiel für den Stromverbrauch der Lüftungsanlage oder der EDV-Anlage.

#### 4.4 Messdatenerfassung und -verarbeitung

Zur Erfassung der Messdaten wird ein SPS Datenloggersystem verwendet (siehe Abb. 16)



Abb. 16: Loggersystem AEE INTEC

Die analogen Sensoren werden im 200 ms Rhythmus abgefragt und als 15 min-Mittelwert 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 wird dieser Wert in einem eigenen Fehlerprotokoll abgespeichert.

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

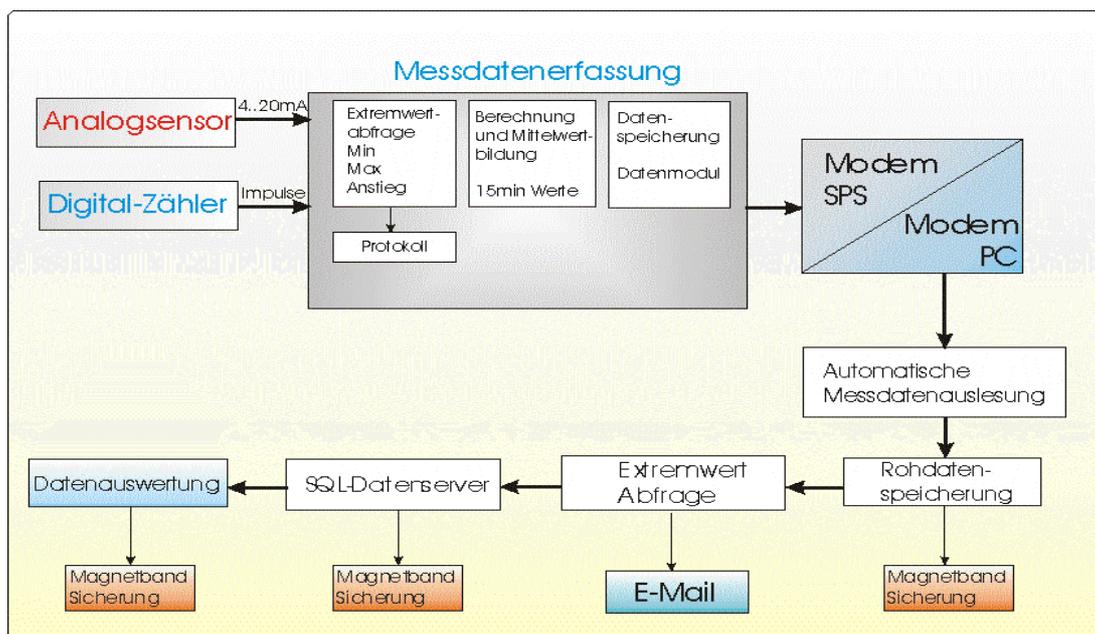


Abb. 17: Schema der Datenaufzeichnung und Weiterverarbeitung

Abb. 17 zeigt schematisch den Datenfluss vom Sensor über die Messdatenerfassung, die Datenübertragung, -speicherung, -analyse und schließlich die Auswertung.

## 5 Analyse der Messdaten

### 5.1 Einleitung

Im ersten Teil der Messdatenauswertung sind die erfassten Messwerte an den Dämmstofftestboxen dargestellt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden unterschiedliche Dämmstoffe (Stroh, Hanf, Zellulose, Kork und Flachs) aus nachwachsenden Rohstoffe miteinander verglichen. Unabhängig von den ermittelten Testwerten im Labor wurden realitätsnahe Messwerte im Langzeitversuch (Messzeitraum: 20 Monate) ermittelt und ausgewertet.

Der zweite Teil der Auswertung behandelt die Punkte Komfortparameter, Energiebedarf, sowie Lüftungseffizienz.

Das Gebäude wurde im Messzeitraum hauptsächlich für diverse Veranstaltungen wie Workshops, Ausstellungen bzw. als nicht ständig besetztes Büro genutzt, wodurch die erstellten Bilanzen nur einen bedingten Vergleich mit ähnlichen vermessenen Gebäuden zulassen.

Bei der Ermittlung von Komfortparameter wie Raumtemperatur, Raumfeuchte oder CO<sub>2</sub>- Gehalt der Luft, wurden bei der Auswertung jene Tage in Betracht gezogen, an denen das Gebäude voll besetzt und die Gebäudetechnik in Betrieb war. Die Untersuchung der Lüftungsanlage bezüglich Energieverbrauch, sowie die Ermittlung der Effizienz der Wärmerückgewinnung wurde ebenfalls nur anhand der tatsächlichen Betriebszeiten ermittelt.

### 5.2 Bauphysikalische Eignung Wandaufbauten

Nachfolgend werden die bauphysikalischen Eigenschaften der einzelnen Dämmmaterialien für ausgewählte Zeitintervalle untersucht und bewertet.

Von besonderem Interesse ist hier das Verhalten bei Wärmeeinwirkung (Wärmeschutz, Wärmestrom durch Bauteile), sowie das Verhalten bei Befeuchtung und Trocknung.

Mit den Untersuchungen soll nachgewiesen werden, ob und in welchem Ausmaß baulicher Wärmeschutz gewährleistet ist und ob Bauschäden aufgrund von Feuchtigkeitseinwirkungen möglich sind.

Die Verläufe folgender Messgrößen werden betrachtet:

- Temperaturen der Dämmmaterialien außen und innen
- Wärmestrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz
- Temperaturen an der Wandinnenseite des Erdgeschosses
- Raumtemperatur im Erdgeschoss
- Temperaturverläufe in Boden und Decke
- Absolute und relative Feuchte der Luft in den Testboxen außen und innen, Boden und Decke
- Austrocknungspotential der einzelnen Dämmmaterialien (Kondenswasserbildung)

Für nachfolgende Abbildungen steht die Bezeichnung „A“ für Außerhalb bez. „I“ für Innerhalb der Dämmung.

### 5.2.1 Temperaturverlauf Testboxen Schönwetterperiode

In Abb. 18 sind die einzelnen Temperaturverläufe der Dämmstoffe während einer sonnigen Periode im April 2007 dargestellt.

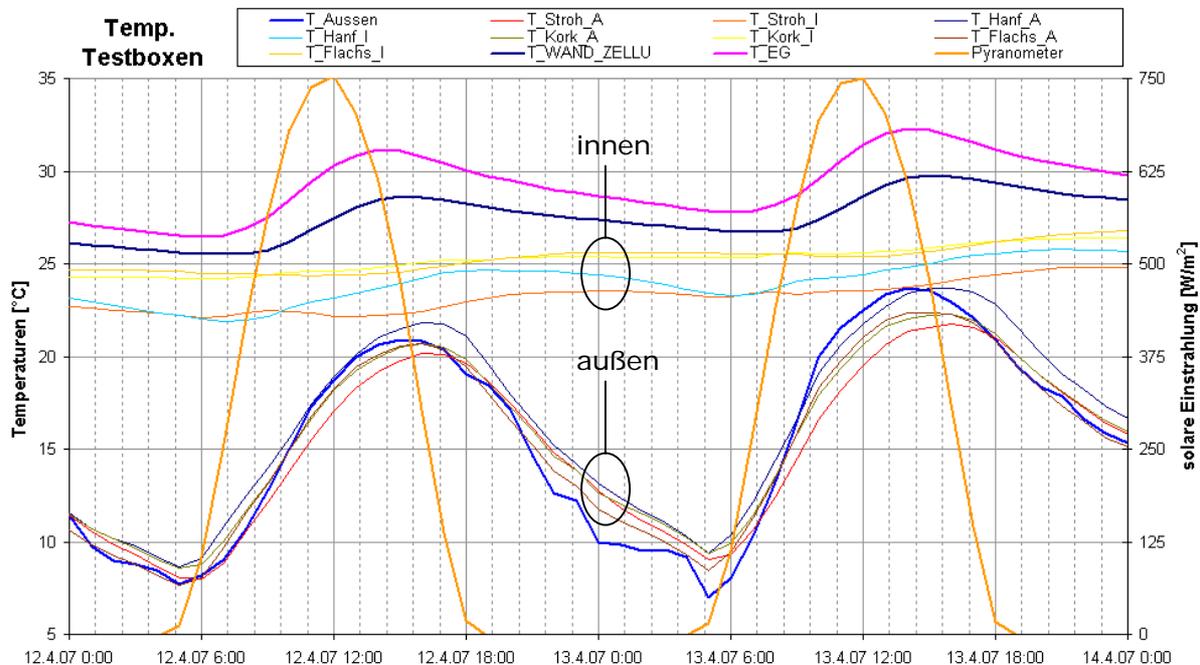


Abb. 18: Temperaturverlauf Schönwetterperiode

Man erkennt die Temperaturspitzen der Außentemperatur, sowie der Dämmung außen, die dem Maximum der Globalstrahlung aufgrund der thermischen Trägheit der Luft hinterher eilen.

Wegen der hinterlüfteten Fassade der Außenwand findet ein Ausgleich der Außentemperatur mit der Temperatur an der Dämmstoffaußenseite statt.

Aufgrund der Dämmeigenschaften der Baustoffe sind die Temperaturspitzen an der Dämmstoffinnenseite bereits weitgehend kompensiert. Es zeichnet sich lediglich ein leichter Anstieg der Temperatur in Abhängigkeit der Innertemperatur und der Außentemperatur ab. Die Welligkeit der Temperaturen  $T_{EG}$  (Erdgeschoss) und  $T_{WAND\_ZELLU}$  (Wandinnenseite Erdgeschoss, in Höhe der Testbox mit Zellulosedämmung) lassen sich durch Wärmetransportvorgänge erklären, welche ihren Ursprung an der Südseite des Hauses (passive solare Gewinne durch die Glasfassade) haben und bis nach hinten an die Innenseite der Nordwand wirken.

Um vor sommerlicher Überhitzung zu schützen, ist an der südseitigen Glasfassade eine außenliegende Verschattung angebracht. Die hohen Innenraumtemperaturen im Erdgeschoss (bis 32°C) in der betrachteten Messperiode sind entstanden, weil zu dieser Zeit das Gebäude unbenutzt und die Südfassade nicht verschattet war.

### 5.2.2 Temperaturverlauf Testboxen Schlechtwetterperiode

Vergleichend dazu zeigt Abb. 19 die Temperaturverläufe während einer regnerischen Periode im Februar 2007.

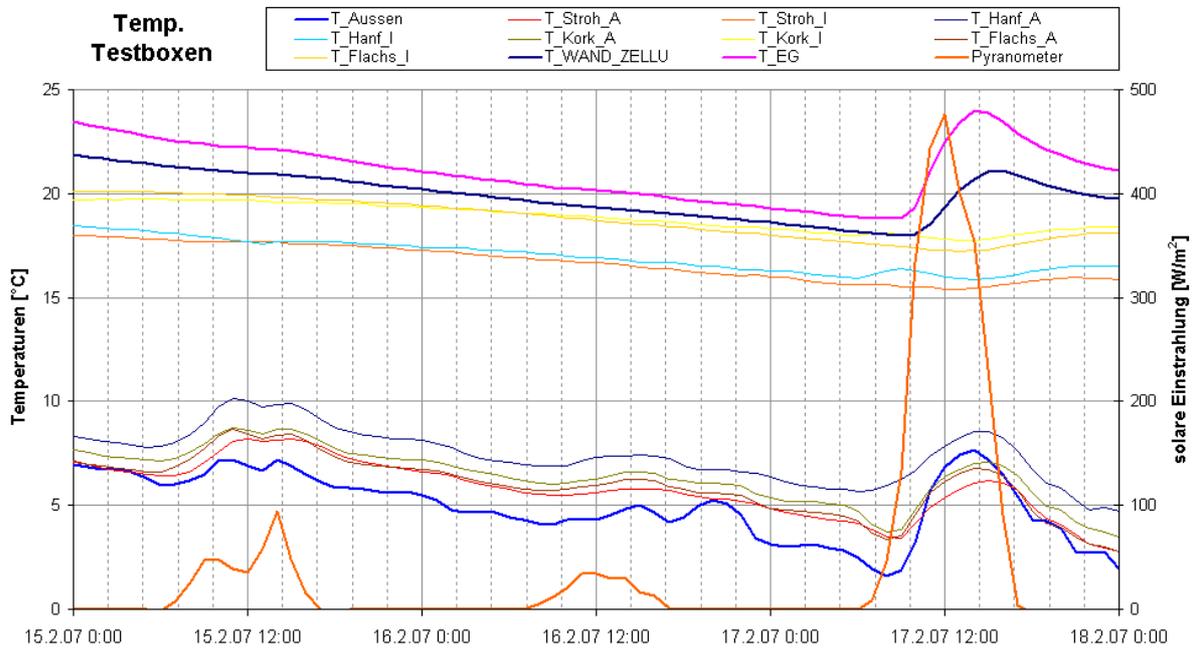


Abb. 19: Temperaturverlauf Stroh, Flachs, Kork Schlechtwetterperiode

Die Grafik verdeutlicht, welchen Einfluss die Globalstrahlungsleistung durch die Glasfläche der Südfassade auf die Raumtemperaturen hat.

An bewölkten oder regnerischen Tagen (15.02.2007 bis 16.02.2007) sind keine passiven solaren Gewinne im Raum zu erkennen, weshalb auch die Raumtemperaturen, wie auch die Temperaturen der Dämmung innen mit der Außentemperatur sinken.

Sobald ein Strahlungseintrag durch die Südfassade zu verzeichnen ist (Maximalwert am 17.02.2007, 12:00Uhr), steigen auch die Raumtemperaturen und erreichen durch die Trägheit des Gebäudes nach etwa 2,5 Stunden das Maximum auf Höhe des Raumsensors und nach etwa einer weiteren Stunde am hinteren Teil des Erdgeschosses an der Innenseite der Nordwand.

### 5.2.3 Temperaturverlauf Testboxen Winterfall

In Abb. 20 ist das Temperaturverhalten der Dämmmaterialien während einer kalten Periode im Januar 2007 dargestellt. Das Haus war anfangs unbenutzt und wurde erst ab dem 2. Tag aufgeheizt.

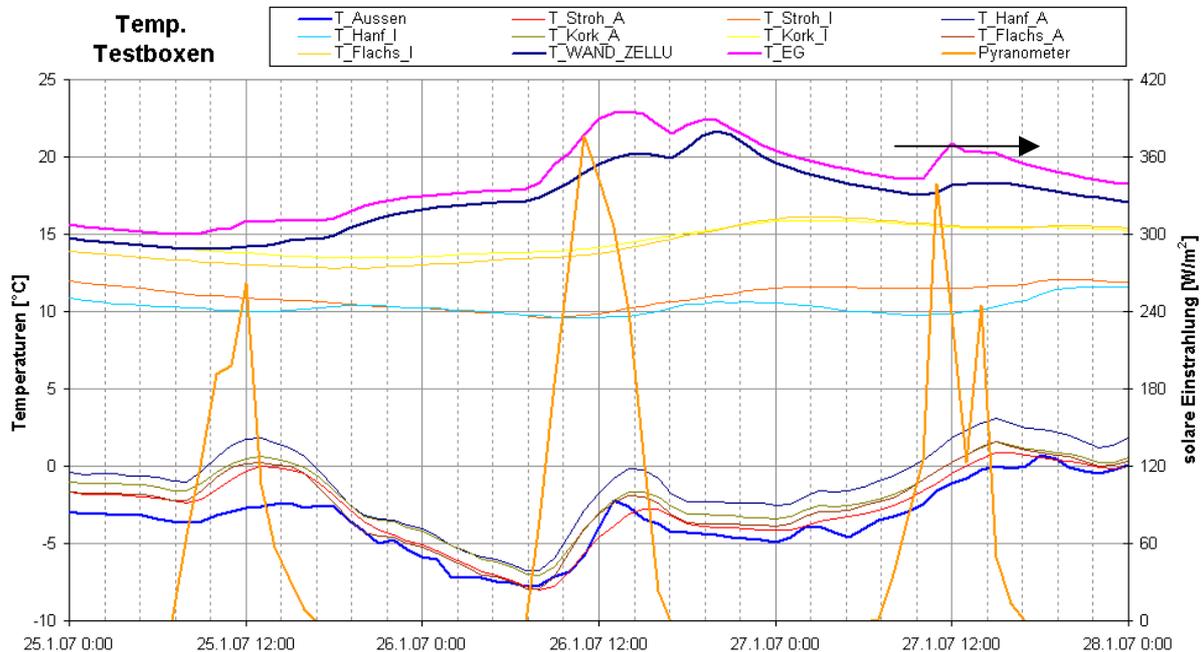


Abb. 20: Temperaturverhalten Winterfall

Gut ersichtlich ist, dass die Wandtemperatur an der Nordfassade T\_WAND\_ZELLU (dunkelblaue Kurve) nur ca. 2°C unter der Raumtemperatur T-EG liegt. Das bedeutet dass auch die warmen Wände zu einem guten Raumklima beitragen.

### 5.2.4 Wärmestrom Testboxen Winterfall

Zur Veranschaulichung der thermischen Leistungsfähigkeit der Dämmmaterialien sind in Abb. 21 die Wärmeströme durch die Wand (bzw. Testboxen) für denselben Betrachtungszeitraum wie in Abb. 20 dargestellt.

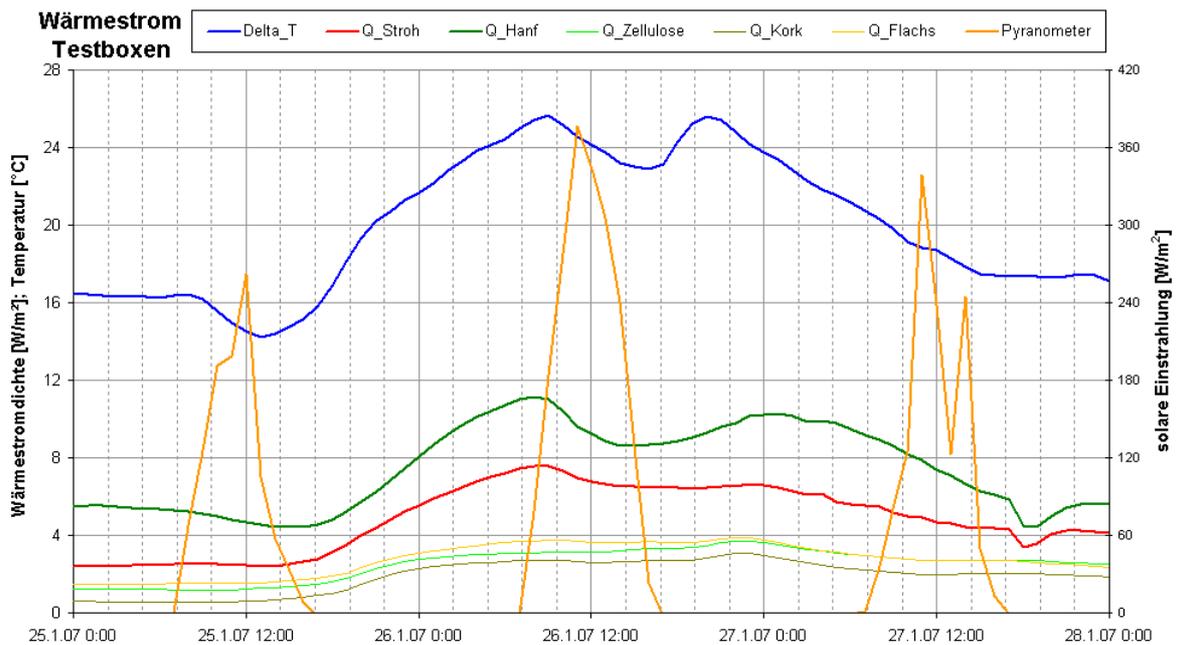


Abb. 21: Wärmeströme Winterfall

Die blaue Linie  $\Delta T$  stellt die Differenz von Außentemperatur und Wandinnentemperatur dar.  $\Delta T = T_{\text{Aussen}} - T_{\text{WAND\_ZELLU}}$

Es ist ersichtlich, dass die Wärmestromdichte (Wärmestrom durch die Wand je Flächeneinheit) dem Verlauf der Temperaturdifferenz mehr oder weniger gedämpft folgen. Zellulose, Kork und Flachs weisen einen niedrigeren Wärmestrom auf als Stroh und Hanf.

Zellulose, Kork und Flachs haben somit angesichts dieses Parameters die besseren Dämmeigenschaften. Im Laufe des Kapitels wird auf diesen Umstand noch näher eingegangen.

#### 5.2.5 Relative Feuchte Testboxen Winterfall

Einen weiteren Aspekt für die Bewertung der Dämmmaterialien liefert das Verhalten bei Befeuchtung.

Nachfolgende Abb. 22 zeigt den relativen Feuchtegehalt der Luft an der Außen- bzw. Innenseite der Dämmung für den Winterfall.

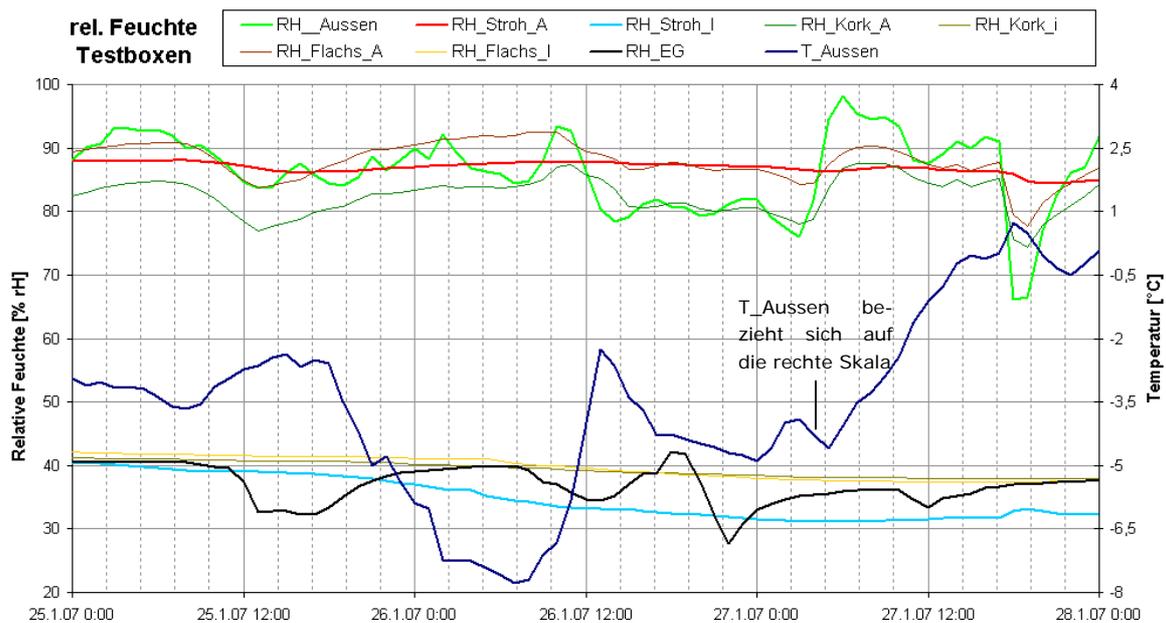


Abb. 22: Feuchteverhalten Winterfall

Bei sehr feuchten Außenbedingungen kann es also zu hohen Feuchtegehalten der äußeren Dämmschicht kommen. Eine damit einhergehende Durchfeuchtung des Baustoffes mindert dessen Wärmedurchlasswiderstand und beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Dämmmaterials und der Konstruktion. Dem entgegen wirkt bei dem betrachteten Wandaufbau die diffusionsoffene Konstruktion, wodurch Kondensation innerhalb der Wand verhindert werden soll. Bei Stroh ist zusätzlich an der Außenwand eine Lehmschicht als Verputz aufgetragen, die zum einen als Windschutz, bzw. Brandschutz dient und zum anderen auf Grund der hohen Sorptionsfähigkeit von Lehm Feuchtigkeitsspitzen kompensiert.

Das Feuchteverhalten wird an anderer Stelle noch ausführlicher behandelt bzw. bewertet.

### 5.2.6 Wärmestromdichte in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz

Bei vorgegebener Bauteildicke und Temperaturdifferenz  $\Delta T$  wird die Wärmestromdichte  $q$  (Wärmestrom je Flächeneinheit) ausschließlich von der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  des Baustoffes bestimmt.

Der Zusammenhang ist nahezu linear, da die Wärmeleitfähigkeit in den Temperatur- und Druckbereichen innerhalb der Bautechnik eine näherungsweise konstante Stoffeigenschaft ist. Real ist sie allerdings von weiteren Faktoren wie etwa dem Feuchtegehalt oder der Rohdichte des Materials abhängig.

Folgende Messergebnisse wurden in diesem Zusammenhang ermittelt (siehe Abb. 23).

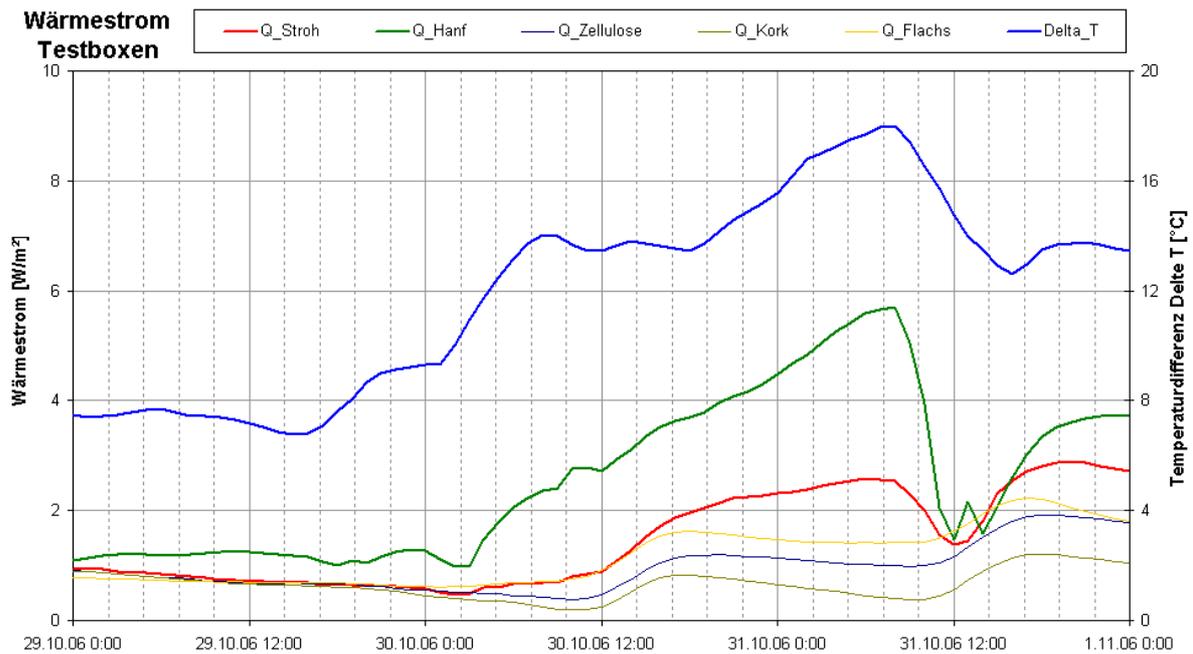


Abb. 23: Wärmeströme in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz Delta T

Der Anstieg der Temperaturdifferenz Delta T bewirkt eine Potentialdifferenz, die überhaupt erst einen Wärmefluss ermöglicht. Ändert sich die Temperaturdifferenz, so ändert sich auch der Wärmestrom.

Bei hohen Temperaturdifferenzen von  $\Delta T > 10\text{K}$ , wie in Abb. 23 dargestellt, sind die Schwankungen bei Stroh und Hanf stärker ausgeprägt, als bei den übrigen Dämmstoffen.

Als mögliche Ursache für dieses Verhalten kommen Konvektionsverluste innerhalb des Dämmmaterials in Frage. Diese können durch Hohlräume verursacht werden, die groß genug sind, dass sich eine Luftwalze bilden kann (Naturkonvektion).

Eine Besichtigung des Testaufbaus vor Ort hat diese Annahme bestätigt. Bei den Testaufbauten von Zellulose, Kork und Flachs konnte eine saubere Ausführung des Einbaus der Dämmstoffe festgestellt werden.

Im Gegensatz dazu wurden beim Hanf Mängel beim Einbau festgestellt. Das heißt diese Ergebnisse lassen keinen Rückschluss auf die Materialeigenschaften von Hanf zu, sondern sind das Ergebnis einer mangelhaften Ausführung. Es ist ein Hinweis darauf wie wichtig die Qualitätskontrolle in diesem Bereich ist.

Abb. 24 soll veranschaulichen, weshalb die gemessenen und gerechneten Werte für Hanf innerhalb dieser Arbeit als nicht aussagekräftig anzusehen sind.



Abb. 24: Unzulässiger Messaufbau Testbox Hanf

Beim Stroh liegt der Betrag der Wärmestromdichte und in weiterer Folge der Betrag der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  im Mittel über den Beträgen von Zellulose, Kork und Flachs.

Beim Versuchsaufbau für Stroh ist zu bemerken, dass dieser nicht wie die anderen Aufbauten in einer Testbox untergebracht wurde, sondern der Messaufbau erfolgte im realen Wandaufbau. Das heißt im konkreten das etwaige Einflüsse wie z.B. eine Zugwirkung an der Innenseite der Dämmebene oder mögliche Wärmebrücken nicht ausgeschlossen werden können. Eine nachträgliche Prüfung auf Mängel war daher nicht mehr möglich. Die gemessenen Werte für Stroh sind daher nicht als repräsentativ für das gesamte Gebäude sondern nur für die betrachtete Messstelle anzusehen.

Als repräsentative Temperaturdifferenz Delta T in [K] über den gesamten Wandaufbau wurde die Differenz zwischen der Außentemperatur  $T_{\text{Aussen}}$  und der Temperatur  $T_{\text{WAND\_ZELLU}}$  an der Innenseite der Nordwand gewählt.

$$\Delta T = T_{\text{Aussen}} - T_{\text{WAND\_ZELLU}}$$

Die Besichtigung der Testboxen vor Ort hat gezeigt, dass sich in der Testbox von Hanf große Lufteinschlüsse befinden. Aufgrund von Naturkonvektion ist ein Ansteigen des Wärmestromes ab einer gewissen Temperaturdifferenz Delta T möglich und denkbar:

Damit sich überhaupt eine Luftwalze ausbilden kann, ist thermische Energie erforderlich. Die Temperaturdifferenz wirkt als Antrieb und ab einem bestimmten Betrag (10K), wird die Bewegung der Luftwalze initiiert.

### 5.2.7 Temperaturabhängigkeit des Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten

Mit Hilfe einer Regressionsanalyse wurde die Temperaturabhängigkeit aufgezeigt und statistisch auf Signifikanz geprüft. Um einen aussagekräftigen Wert für den gesuchten Zusammenhang zu erhalten, wurde aus Wochenmittelwerten über ein gesamtes Messjahr ein einzelner Mittelwert gebildet. Die Wochenmittelwerte wiederum waren nur dann gültig, wenn das Kriterium  $\Delta T > 7\text{K}$  erfüllt war.

Die Mittelwertbildung über einen längeren Zeitraum ist eine zulässige Vorgehensweise, um instationäres Verhalten (in diesem Fall die Trägheit der Wand) auszugleichen. Das Kriterium für Delta T sollte verhindern, dass durch eine Umkehrung des Wärmestromes die Wochenmittelwerte verfälscht werden.

In Abb. 25 ist das Ergebnis dieser Betrachtung dargestellt.

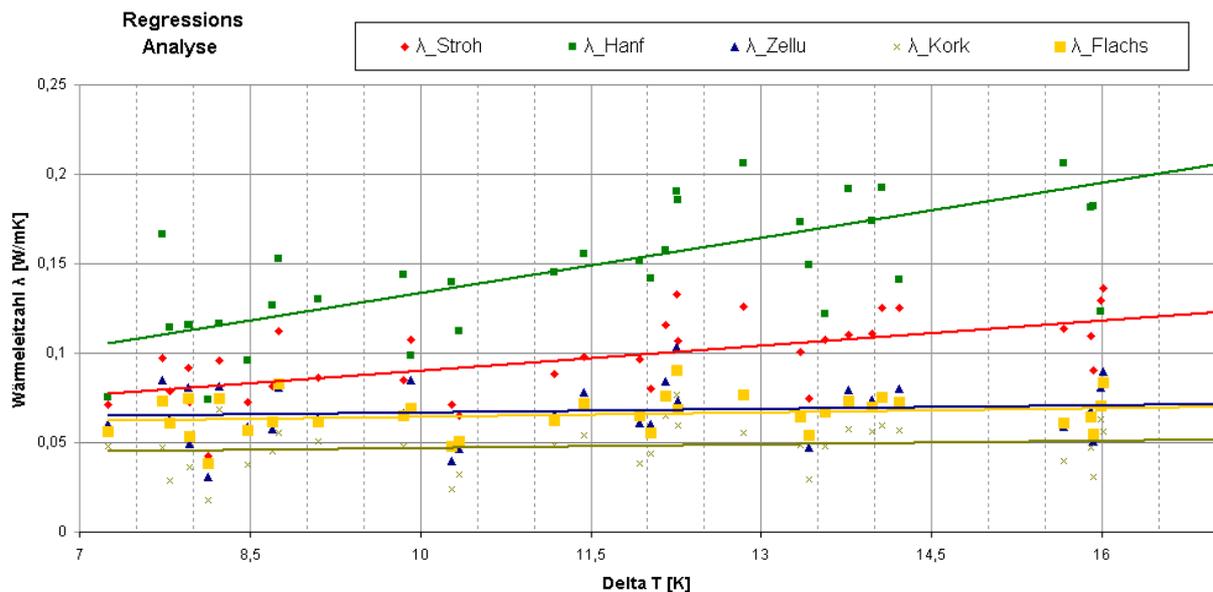


Abb. 25: Wärmeleitfähigkeitskoeffizient  $\lambda$  in Abhängigkeit von Delta T

Mit ausreichender statistischer Genauigkeit lässt sich ein Trend der Abhängigkeiten nachweisen.

Während Zellulose, Kork und Flachs einen nahezu konstanten  $\lambda$ -Wert beibehalten, steigen die Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten von Stroh und Hanf an.

Es ist im Falle von Hanf ersichtlich, welche Auswirkungen größere Lufteinschlüsse mit sich bringen. Denn obwohl der Dämmstoff eine hohe Dämmwirkung hat (vergleichbar mit Flachs), wird diese durch die Konvektionsverluste stark reduziert. Dieser Effekt ist materialunabhängig und könnte daher auch bei der Messstelle mit der Strohdämmung für das leichte Ansteigen des Lambda Wertes bei höheren Temperaturdifferenzen verantwortlich sein.

Die Regressionsanalyse zeigt auch, dass alle Dämmstoffe leicht erhöhte Werte aufweisen, wobei Kork die Herstellerangaben von  $\lambda=0,04$  W/mK unter speziellen Bedingungen (Temperaturdifferenzen  $>10$ K) nahezu erfüllen kann.

Zusätzlich wurde der Zusammenhang zwischen der Temperaturdifferenz  $T$  außen und  $T$  innen und der Temperaturdifferenz zwischen den äußeren und inneren Temperatursensoren im Deckenaufbau (Delta T Sensor) und Wandaufbau auf Signifikanz geprüft.

Durch Vergleich der unterschiedlichen Temperaturdifferenzen miteinander, sollte ein möglicher Unterschied zwischen dem Einbauort Wand und Einbauort Decke untersucht werden.

In Abb. 26 ist dieser Zusammenhang dargestellt.

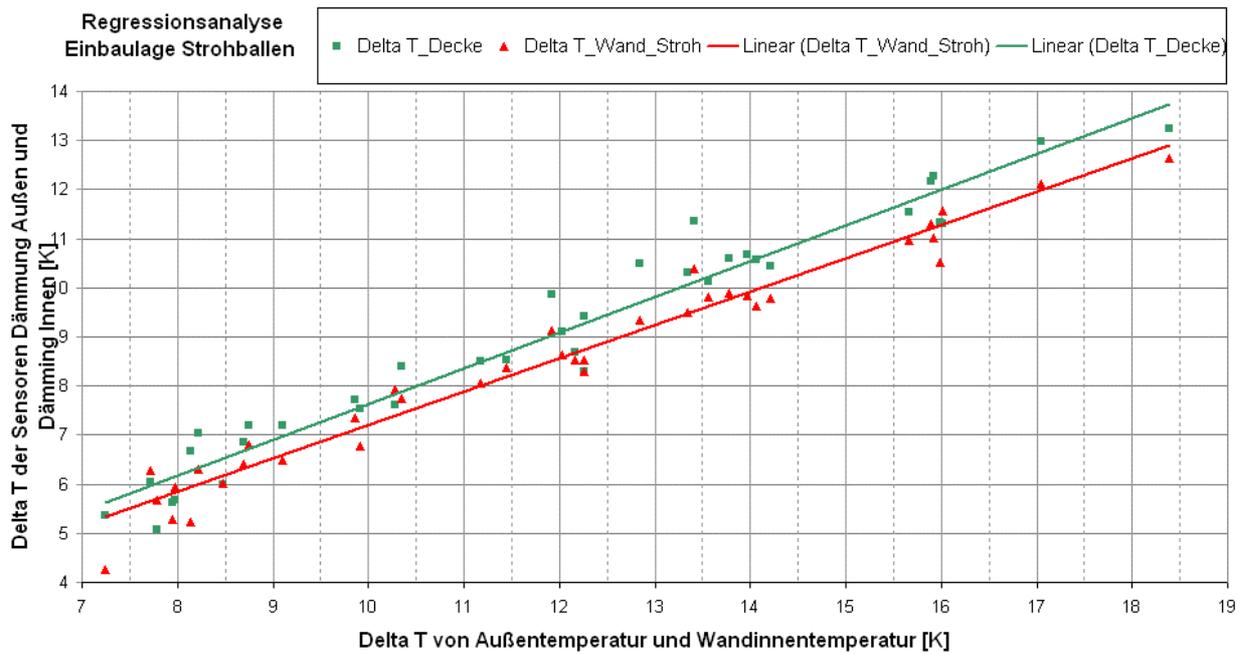


Abb. 26: Einfluss der Einbaulage auf das Dämmverhalten von Stroh

In der Abbildung kann man erkennen, dass im Deckenbereich die Differenztemperatur der beiden Sensoren (Dämmungsinnenseite und Dämmungsaußenseite) etwas höher liegt als an der Wand.

### 5.2.8 Temperaturverlauf Boden/Decke Sommerfall

Abb. 27 zeigt die Temperaturverläufe von Boden und Decke im Vergleich zur Außenlufttemperatur in einer warmen Periode im Juli 2006.

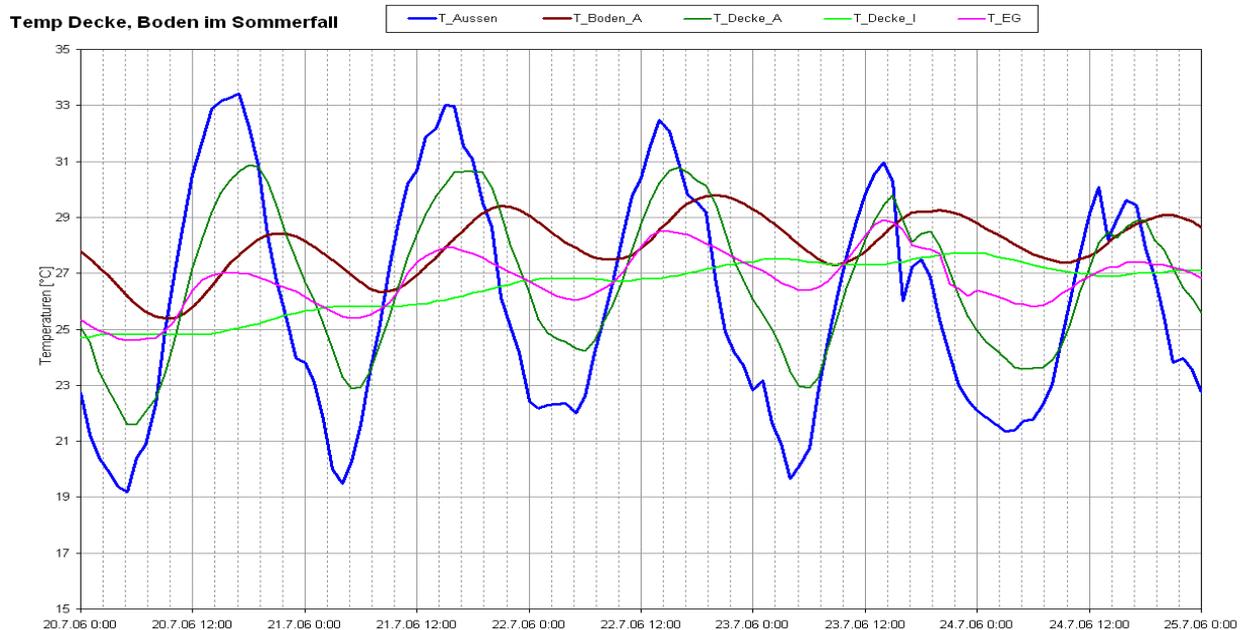


Abb. 27: Temperaturverlauf Boden/ Decke Sommerfall

Die Bodenplatte wurde auf Punktfundamente gestellt, somit findet unter der Bodenplatte ein Luftwechsel statt, wodurch sich auch die Temperaturen an der Unterseite des Bodenaufbaus angleichen. Die Abschwächung und zeitliche Verzögerung der Temperatur lässt sich auf die etwa 7,8cm starke KLH- Platte an der Unterseite des Bodenaufbaus (siehe Abb. 13) zurückführen.

Ähnlich verhält es sich an der Oberseite der Decke, doch aufgrund des höheren Luftwechsels in diesem Bereich, sowie aufgrund der relativ dünnen Deckenplatte (3cm), ist der Temperaturverlauf nahezu mit dem Temperaturverlauf der Außenluft identisch.

An der Deckeninnenseite hat sich die Temperatur wieder stabilisiert.

### 5.2.9 Temperaturverlauf Boden/Decke Winterfall

Abb. 28 zeigt die Temperaturverläufe von Boden und Decke im Vergleich zur Außentemperatur in einer kühlen Periode im Dezember 2007.

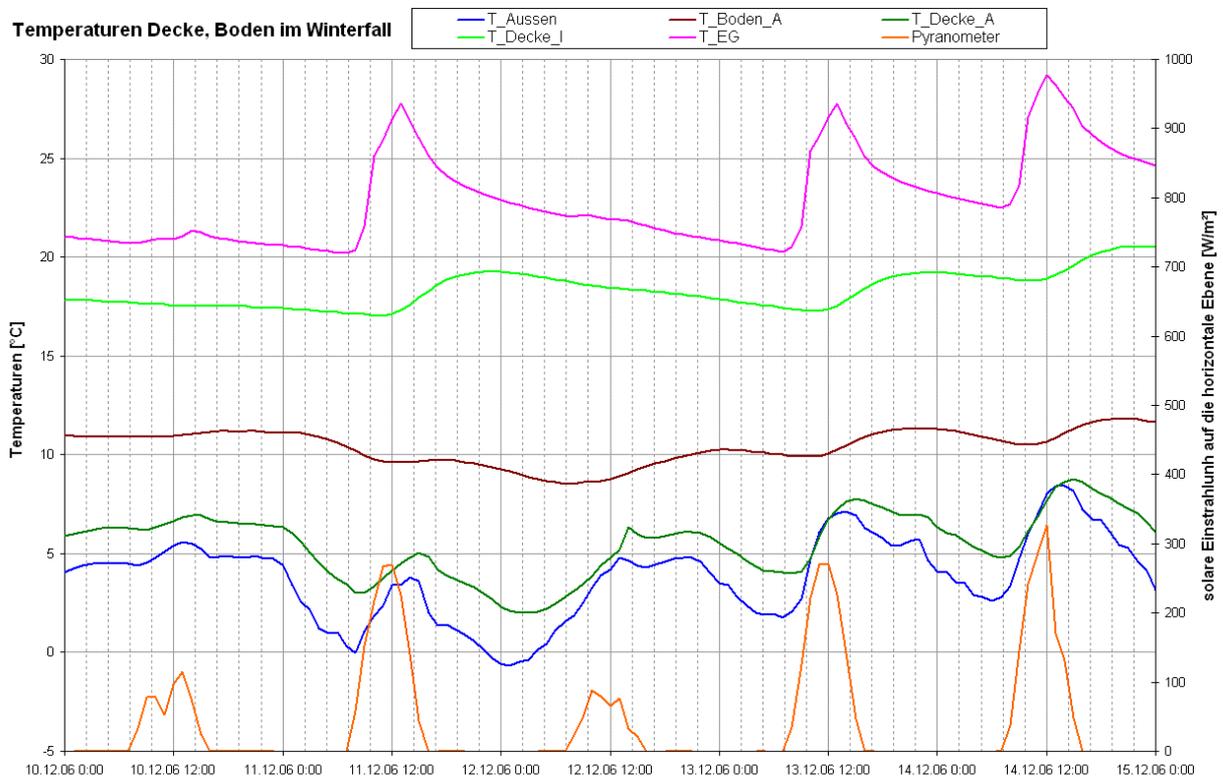


Abb. 28: Temperaturverlauf Boden/ Decke Winterfall

Die Temperaturen an der Außenseite von Boden und Decke zeigen dasselbe Verhalten wie im Sommerfall.

Positiv zu erwähnen ist, dass durch die Konstruktion der unterlüfteten Bodenplatte ein Teil der nach außen abgeführten Energie vom Gebäude in der darunter liegenden Schüttung bzw. innerhalb der Luftschicht gespeichert bleibt und der Luftwechsel nicht ausreicht, um die Unterseite des Gebäudes bis auf die Außentemperatur abzukühlen.

Die drei Temperaturspitzen im Erdgeschoss zeigen sehr anschaulich das Ausmaß des passiv- solaren Energieeintrages durch die Südfassade. Bei einer maximalen solaren Globalstrahlungsleistung von ca. 900-1000W/m<sup>2</sup> auf die senkrechte Glasfassade (300W/m<sup>2</sup> auf die horizontale Ebene) im Winter ist eine deutliche Beeinflussung der Innenraumtemperaturen festzustellen.

### 5.2.10 Relative Feuchte Testboxen Sommerfall

Da Hanf aus bereits erwähnten Gründen keine repräsentativen Werte liefert und Zellulose nahezu das gleiche Verhalten zeigt wie Flachs, wird aus Gründen der Übersichtlichkeit auf deren Darstellung in den nachfolgenden Diagrammen verzichtet.

Abb. 29 zeigt den Verlauf der relativen Feuchte in den Testboxen während einer sonnigen Periode im Juli 2006.

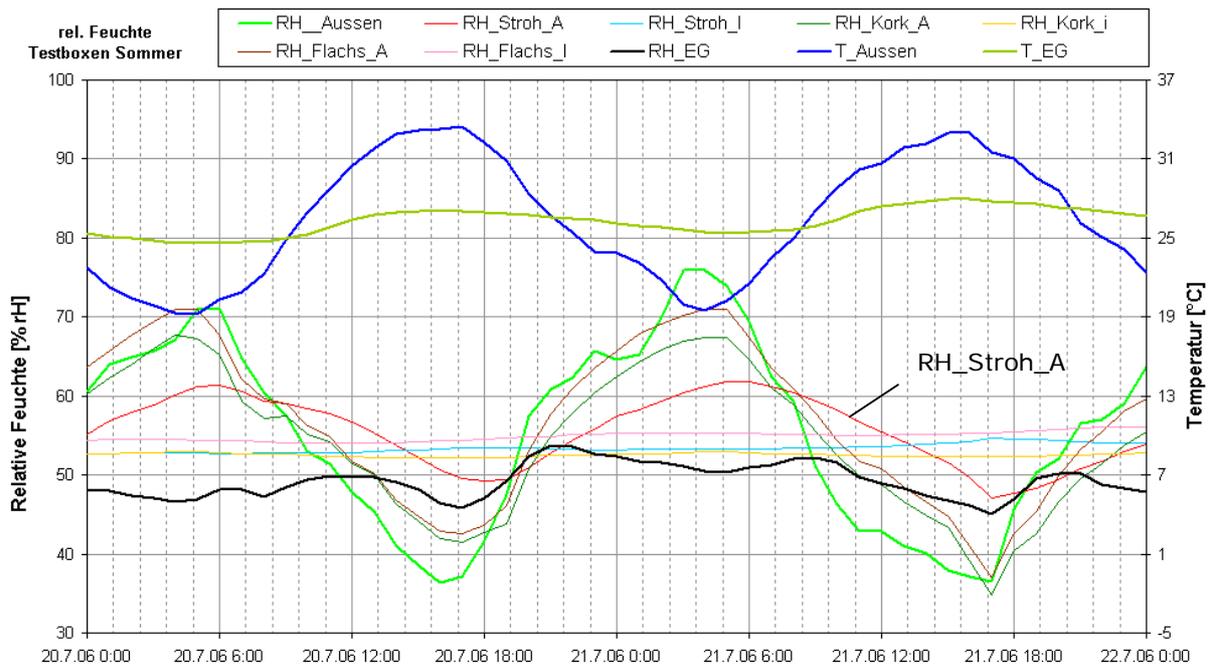


Abb. 29: Relative Feuchte Testboxen Sommerfall

Die relative Feuchte nimmt linear mit steigender Temperatur ab, wobei sich im Außenbereich der Testboxen der Verlauf mit dem der Außenfeuchte deckt. Auffallend ist der gedämpfte Verlauf der Kurve RH\_Stroh\_A (rote Linie) der im Gegensatz zu den anderen Aufbauten noch mit einem Lehmputz versehen ist. Der Lehmputz dürfte auch für die ausgleichende Wirkung verantwortlich sein.

An der Innenseite hat sich die relative Feuchte bereits auf Werte stabilisiert, wie sie auch im Erdgeschoss vorherrschen und bleibt aufgrund der nahezu konstanten Temperatur an der Innenseite der Dämmung ebenfalls konstant.

Die erkennbare Schwankung der Innenfeuchte kann durch den Betrieb der Lüftungsanlage oder durch den Eintrag innerer Lasten hervorgerufen werden. Mit Werten zwischen 45% und 55% rel. Feuchte bei Temperaturen um die 26°C liegt man sehr gut innerhalb des Behaglichkeitsbereiches lt. ÖNORM EN 13779.

Im Sommerfall ist die Problematik durch Kondensation nicht in dem Ausmaß gegeben, wie während der Heizperiode.

Ein Kondensationsproblem tritt dann auf, wenn die relative Feuchte einen Wert von 100% erreicht bzw. wenn mehr Wasserdampf durch den Wandaufbau gelangt, als dem Sättigungsdruck der Temperatur innerhalb des Wandaufbaus (vor der Dampfsperre) entspricht.

### 5.2.11 Relative Feuchte Testboxen Winterfall

Abb. 30 zeigt den Verlauf der relativen Feuchte in den Testboxen für Stroh, Kork und Flachs während einer kühlen Periode im Januar 2007.

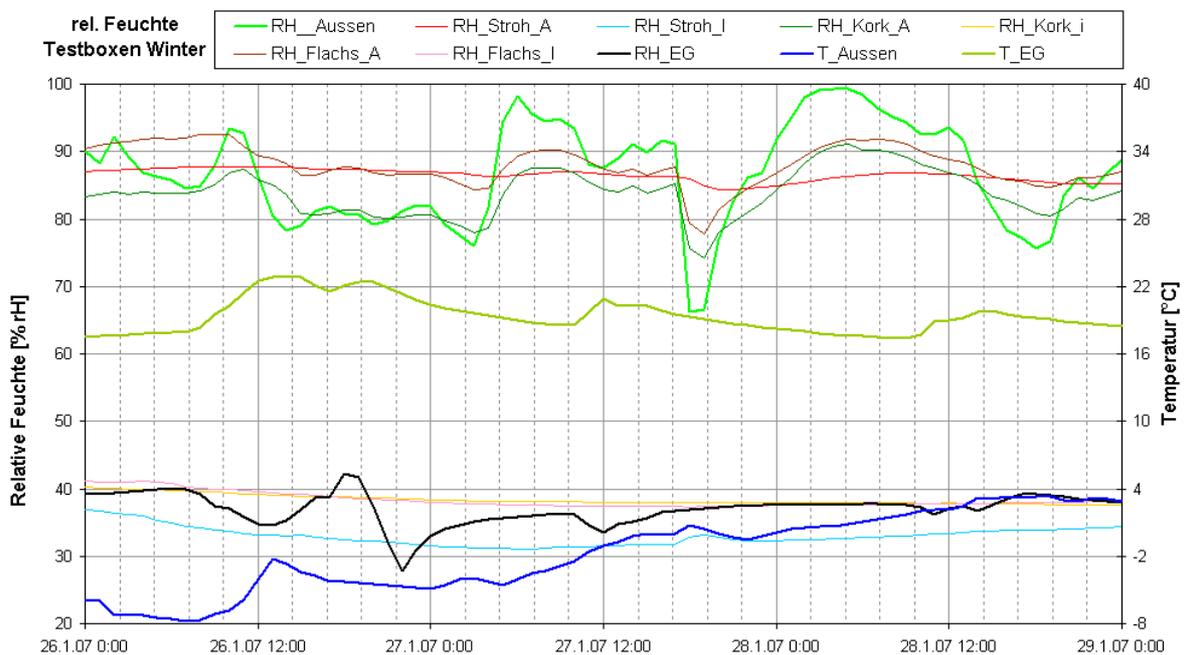


Abb. 30: Relative Feuchte Testboxen Winterfall

Bei tiefen Temperaturen sinkt der Sättigungsdampfdruck der Luft, d.h. es kann weniger Wasserdampf von der Luft aufgenommen werden.

Auch für den Winterfall lässt sich sehr gut die ausgleichende Wirkung des Lehmverputzes an der Außenseite der Strohdämmung erkennen.

Innerhalb der betrachteten Messperiode konnten keine Probleme durch Kondensation festgestellt werden.

### 5.2.12 Absolute Feuchte Testboxen Winterfall

Abb. 31 zeigt den Verlauf der absoluten Feuchte von Stroh, Flachs und Kork über denselben Betrachtungszeitraum (kühle Periode im Januar 2007).

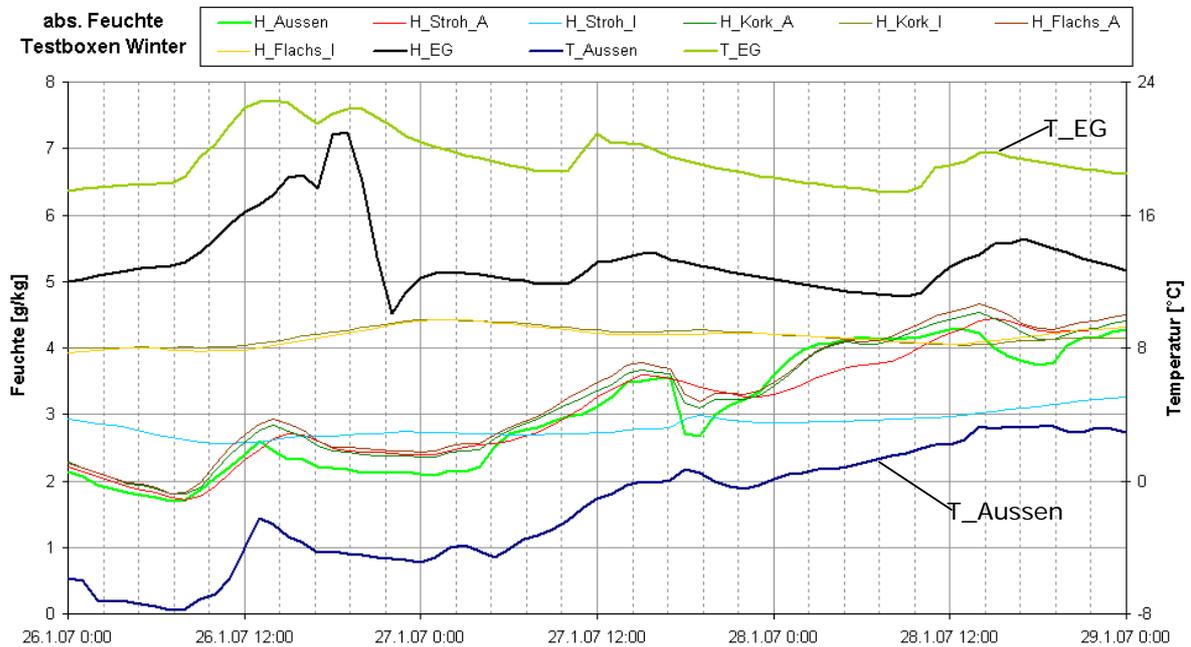


Abb. 31: Absolute Feuchte Stroh, Flachs, Kork Winterfall

Im Falle von Stroh kann man erkennen, dass der Konzentrationsausgleich von innen (hohe Konzentration an absoluter Feuchte) nach außen (geringere Konzentration) sehr viel schneller erfolgt als bei Kork und Flachs. Der Wasserdampfdiffusionswiderstand von Stroh ist demzufolge sehr gering. Über die kapillare Leitung von Wasser innerhalb des Strohballens lässt diese Messung allerdings keine Rückschlüsse zu.

Die sprunghafte Verringerung des Feuchtegehaltes im Erdgeschoss lässt sich auf den Betrieb der Lüftungsanlage zurückführen. Man erkennt deutlich den Anstieg der absoluten Feuchte bis auf einen Wert von etwa 7g/kg (wahrscheinlich aufgrund erhöhter Personenanzahl im Raum). Durch das Erhöhen der Luftwechselzahl bei niedrigen Außentemperaturen wird sehr rasch Feuchtigkeit über den Abluftstrom nach außen transportiert.

### 5.2.13 Relative Feuchte Boden/Decke- Jahresverlauf

Abb. 32 zeigt den Verlauf von Stundenmittelwerten der relativen Feuchte in Boden und Decke (stroh- gedämmt) während eines gesamten Messjahres (Mai 2006 bis Mai 2007).

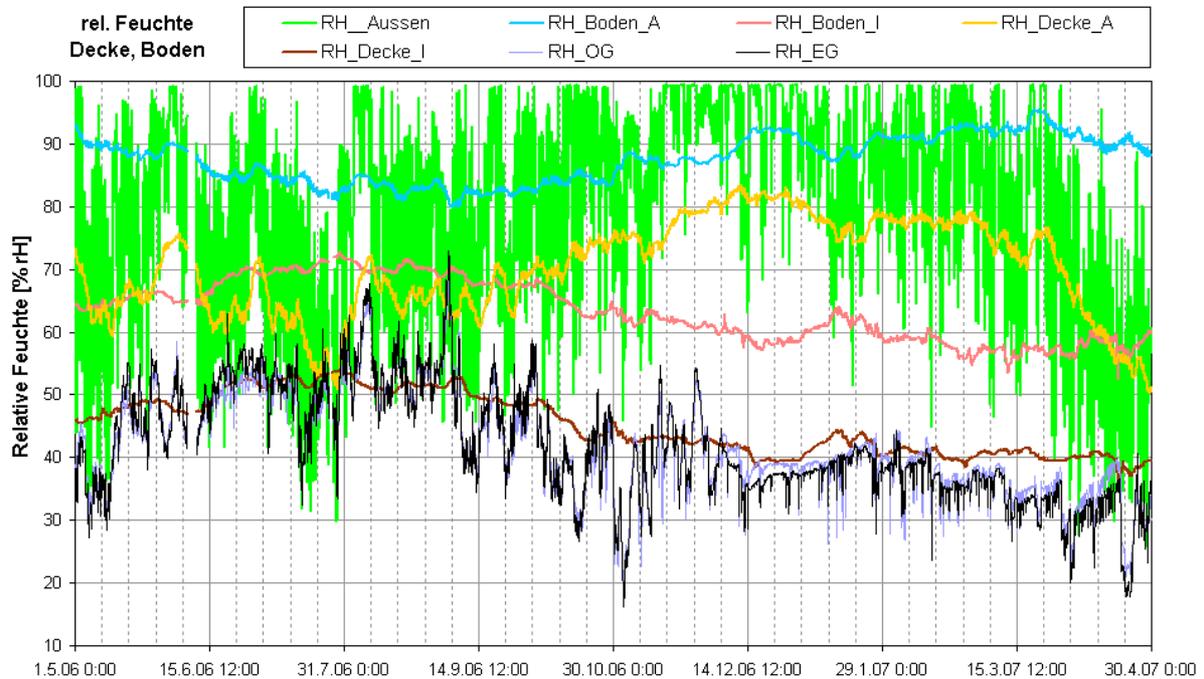


Abb. 32: Jahresverlauf der Relativen Feuchte in Boden und Decke

Eine relative Feuchte 100% sagt aus, dass Sättigungsdruck erreicht ist und dass sich überschüssiger Wasserdampf in Form von Nebel niederschlägt.

In Abb. 32 erkennt man, dass auch bei hohen Außenluftfeuchten sowohl im Boden, als auch im Deckenbereich keine Gefahr durch Kondensation gegeben ist.

### 5.2.14 Kondensationspotential innerhalb des Wandaufbaus

Abb. 33 zeigt den Jahresverlauf der relativen Feuchte der Außenluft sowie der relativen Feuchte an der Außenseite der Testboxen.

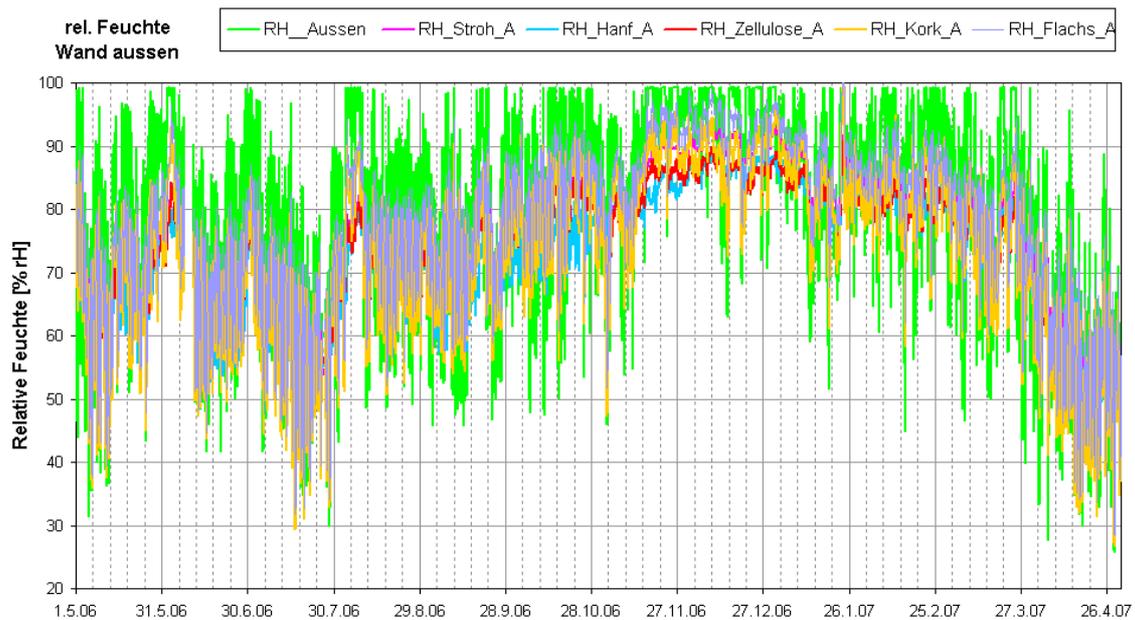


Abb. 33: Jahresverlauf der relativen Feuchte an der Außenseite der Testboxen

Die Feuchte der Dämmmaterialien an der Außenseite des Wandaufbaus ändert sich nahezu ohne zeitliche Verzögerung mit der Außenfeuchte, wobei eine konstante Differenz über den Jahresverlauf zu erkennen ist.

An kritischen, sehr feuchten Tagen im Herbst und Winter liegt die relative Feuchte an der Außenseite der Testboxen an vereinzelt Tagen über 95%, wodurch es zu Kondensationserscheinungen kommen kann.

In Abb. 34 ist der Jahresverlauf der relativen Feuchte der Außenluft sowie der relativen Feuchte an der Innenseite der Testboxen dargestellt.

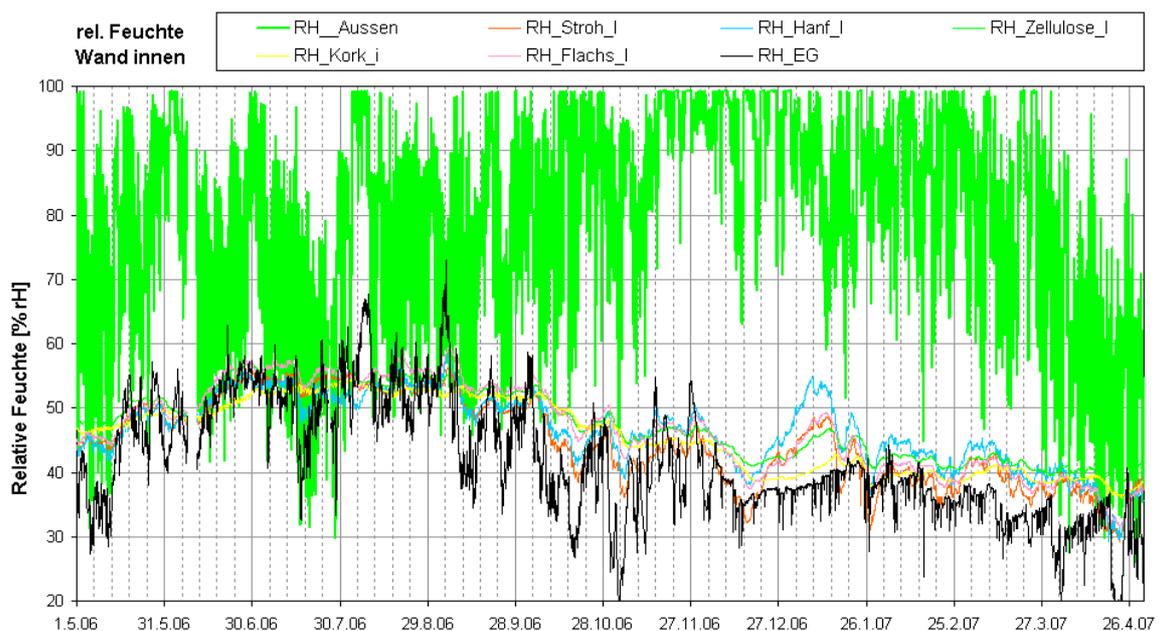


Abb. 34: Jahresverlauf der relativen Feuchte an der Innenseite der Testboxen

Die relative Feuchte an der Innenseite der Testboxen unterliegt im Jahresverlauf Schwankungen zwischen 30% und 55%.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass bei dieser Ausführung des Wandaufbaus mit Stroh als Dämmmaterial, es nur an vereinzelten Tagen zu Kondensation kommen kann und diese am Wahrscheinlichsten an der Dämmstoffaußenseite auftritt.

### 5.2.15 Austrocknungspotential der einzelnen Dämmmaterialien

Um eine Aussage des Austrocknungspotentials treffen zu können, wurden Monatsmittelwerte der Verläufe der absoluten Feuchte über einen Messzeitraum von Dezember 2005 bis November 2007 ermittelt.

Abb. 35 zeigt diese Verläufe als Mittelwert zwischen der absoluten Feuchte der Testboxen außen und innen.

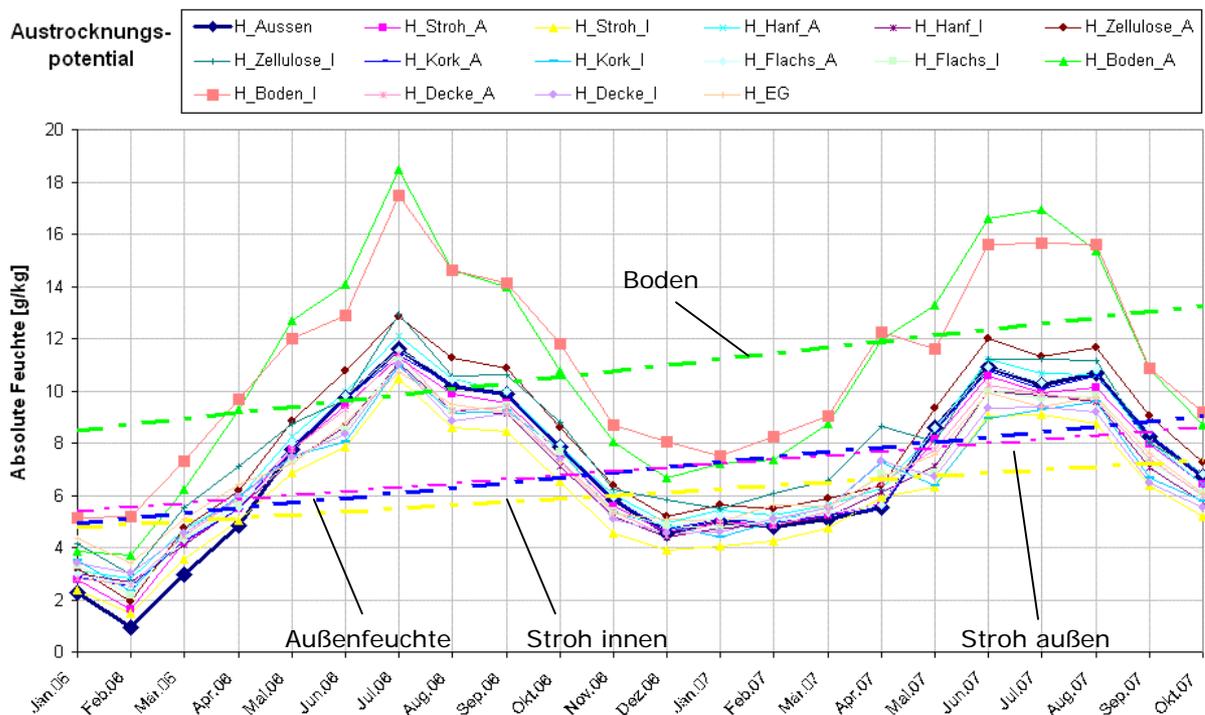


Abb. 35: Feuchteverhalten im Langzeitversuch

Ganz Allgemein ist ersichtlich, dass die absolute Feuchte in den Testboxen, sowie im Gebäude selbst stark von den Außenbedingungen beeinflusst wird.

Wenn man die Trendlinie der absoluten Feuchte der Außenluft (blaue Strichpunkt-gerade Außenluft) als Ausgangskurve für die weiteren Linien hernimmt, so erkennt man, dass die Trendlinie für den absoluten Feuchtegehalt der Luft in der Strohdämmung der Wand flacher verläuft. Das heißt das es einen Trend in Richtung Austrocknung gibt im Wandbereich (gelbe und rosa Strichpunkt-gerade).

Der Feuchtegehalt der Dämmung im Boden dagegen ist offensichtlich stärkerer Befeuchtung ausgesetzt, was auch eine zeitweise höhere Durchfeuchtung verursacht.

### 5.2.16 Wärmedurchgangskoeffizienten der Wandaubauten

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) bezeichnet den Wärmestrom, der durch eine Bauteilfläche von 1 m<sup>2</sup>, bei einem Temperaturunterschied von Delta T=1 Kelvin hindurchgeht. Zu berücksichtigen sind dabei Dicke, Material und Schichtaufbau des Materials. Je kleiner der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils ist, desto besser ist seine Wärmedämmung.

Um einen aussagekräftigen Wert für den Wärmedurchgangskoeffizienten zu erhalten, wurde aus Wochenmittelwerten über ein gesamtes Messjahr ein einzelner Mittelwert gebildet. Die Wochenmittelwerte wiederum waren nur dann gültig, wenn das Kriterium Delta T > 7K erfüllt war.

Die Mittelwertbildung über einen längeren Zeitraum ist notwendig, um instationäres Verhalten (in diesem Fall die Trägheit der Wand) auszugleichen. Die Berechnung mit 14-Tages Mittelwerten und demselben Kriterium für Delta T zeigte nur geringe Abweichungen ( $\pm 2,3\%$  bei Stroh;  $\pm 0,3\%$  bei Zellulose und Kork)

In Tabelle 3 sind die messtechnisch ermittelten Wochenmittelwerte ersichtlich.

Tabelle 3: Wärmedurchgangskoeffizienten U der unterschiedlichen Wandaufbauten

	U <sub>Stroh</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>Zellulose</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>Kork</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>Flachs</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Mittelwert	0,17	0,12	0,09	0,12

Wie man der Tabelle entnehmen kann, liegt die Messstelle von Stroh knapp über dem laut Planung geforderten Wert von 0,12 [W/m<sup>2</sup>K] für Wandaufbauten mit Passivhausstandard. Zellulose, Kork und Flachs zeigen Werte um den Grenzwert. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss allerdings berücksichtigt werden, dass die gemessenen Werte keine Prüfwerte darstellen, wie sie in diversen Prüflabors ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser Messungen stellen lediglich ein Abbild der jeweiligen Stelle des betrachteten Messaufbaus dar, der repräsentativ sein soll, jedoch nicht zwingend sein muss.

Speziell bei der Messung von Stroh muss man auch berücksichtigen, dass es sich bei der Messstelle nicht um eine Testbox handelt. Die Gesamtperformance des Gebäudes bei einer energetischen Betrachtung lässt insgesamt auf einen niedrigeren U-Wert für den Stroh- Wandaufbau schließen.

### 5.2.17 Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten des Wandaufbaus

Die spezifische Wärmeleitfähigkeit ist eine der wichtigsten Eigenschaften von Wärmedämmstoffen. Sie gibt an, welcher Wärmestrom bei einem Temperaturunterschied von  $\Delta T = 1$  K durch 1 m<sup>2</sup> einer 1 m dicken Schicht eines Stoffes strömt.

Die Wärmeleitfähigkeit eines Dämmstoffes wird u.a. vom Porenvolumen, der Porengröße, dem Gefügebau, der Rohdichte, der Temperatur, Feuchtigkeit und des Luftdruckes beeinflusst.

In folgender Tabelle 4 sind die über ein Jahr gemittelten Stundenmittelwerte der einzelnen Dämmmaterialien aufgelistet.

Tabelle 4: Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  der eingesetzten Materialien

	$\lambda_{\text{Stroh}}$ [W/mK]	$\lambda_{\text{Zellulose}}$ [W/mK]	$\lambda_{\text{Kork}}$ [W/mK]	$\lambda_{\text{Flachs}}$ [W/mK]
Mittelwert	0,10	0,07	0,05	0,07
Herstellerangabe bzw. Prüfwert	0,0404	0,041	0,04	0,042

Die gemessenen Werte stellen keine Prüfwerte, wie sie in den diversen Prüflabors ermittelt werden dar, sondern spiegeln nur Ergebnisse der Messstelle in dem gemessenen Aufbau wieder.

Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  wurden mittels Daten des bekannten Wandaufbaus, sowie der ermittelten U- Werte errechnet.

Kork erreicht in diesem Aufbau fast die Herstellerangabe. Obwohl die Zellulose sehr dicht gestopft ist liegt der gemessene Wert ebenso wie bei Flachs doch deutlich über der Herstellerangabe.

Der Wert für Stroh liegt mit  $\lambda=0,10$  [W/mK] deutlich über dem Wert, der aus dem Prüfbericht der Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien (Magistratsabteilung 39) hervorgeht.

Da bei dem Prüfverfahren nach ÖNORM ebenfalls Temperaturunterschiede zwischen der Innen- und Außenseite von mehr als 10K vorherrschten, lässt der in der Konstruktion gemessene höhere Wert auf eine Luftkonvektion schließen. Ursache dafür könnten durch mangelhaften Einbau hervorgerufene Luftspalte (z.B. Luftspalt zwischen Wand und Strohbällen oder unzureichend ausgestopfte Zwischenräumen) sein.

Das Ergebnis der MA39 lag bei einer Rohdichte von  $100 \text{ kg/m}^3$  des Strohbällens bei  $\lambda=0,0404$  [W/mK]. Der erhöhte Wert der Messung für Stroh kann, wie bereits oben erwähnt, durch größere Lufteinschlüsse aufgrund zu geringer Dichte des Dämmstoffes an der Messstelle zustande kommen.

### 5.3 Ergebnisse der ermittelten Dämmstoffeigenschaften

Die nachfolgenden Punkte fassen in einem groben Überblick die wichtigsten Ergebnisse zusammen:

- Die Untersuchung lieferte Ergebnisse für die Baustoffe Stroh, Zellulose, Kork, Hanf und Flachs.
- Der Gesamtfeuchtegehalt der Dämmungsebenen folgt nahezu konstant den Schwankungen der Außenfeuchte. Der Trend lässt erkennen, dass es im Bereich des Wandaufbaues zu einer Feuchtereduktion kommt und somit unkritisch ist. Im Bodenbereich ist eine leichte Tendenz zur Feuchteanreicherung erkennbar, diese Werte sollten auch weiterhin genau beobachtet werden.
- Die besten Dämmeigenschaften der bewerteten Materialien zeigte Kork, gefolgt von Zellulose und Flachs mit geringfügig schlechteren Wärmeleitfähigkeitswerten. Stroh bestätigte seine grundsätzliche Eignung als Dämmmaterial, lieferte aber in diesem Messaufbau nicht die Ergebnisse, die aufgrund des Gutachtens der MA39 zu erwarten waren.

Die Auswertung hat auch gezeigt, dass sich durch Hohlräume in der Dämmschicht die Dämmwirkung drastisch verschlechtert.

Vor allem bei komplizierten Anschlussdetails, wie Wand-Decke oder Decke-Boden ist daher auf eine saubere Ausführung zu achten, um die Wirkung eventuell vorhandener Wärmebrücken nicht zusätzlich zu verstärken.

#### 5.4 Bewertung der Behaglichkeitsfaktoren

Das S-House wird als Veranstaltungs- und Ausstellungsgebäude genutzt. Aufgrund dieses Nutzverhaltens wurden für die Betrachtung der Behaglichkeitsparameter jene Tage herangezogen, an denen sich Personen im Gebäude aufgehalten haben. Meistens war dies im Rahmen von diversen Veranstaltungen der Fall, mit einer Anwesenheitszahl zwischen 5 und 200 Personen. Dadurch konnte das Verhalten des Gebäudes bei minimaler sowie bei maximaler Belegung dargestellt werden.

Folgende behaglichkeitsrelevanten Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Temperaturen der Raumumschließungsflächen innen (vgl. Abb. 20 mit Erläuterung)
- Raumtemperaturen im Erdgeschoss und Obergeschoss
- Raumfeuchten im Erdgeschoss und Obergeschoss
- CO<sub>2</sub>- Gehalt im Erdgeschoss und Obergeschoss

In nachfolgender Tabelle 5 sind jene betrachteten Tage innerhalb des Messzeitraums eingetragen, an denen das Gebäude genutzt wurde bzw. sich Personen im Gebäude aufhielten.

Tabelle 5: Nutzerverhalten S-House

Zeitraum	Anzahl Personen
11.11.2005	21
10.03.2006	62
28.04.2006	20
12.05.2006	80
17.05.2006	30
26.05.2006	60
15.09.2006	15
16.09.2006	200
17.09-22.09.2006	20
24,25.10.2006	10
09.11.2006	42
29.11.2006	25
30.03.2007	100
23.04-04.05.2007	35
30.05.2007	55

### 5.4.1 Raumtemperaturen bei aktiver Nutzung des Gebäudes

Nachfolgende Abb. 36 zeigt die Raumtemperaturen im Erdgeschoss, sowie im Obergeschoss im Vergleich zu den Außentemperaturen an bewohnten Tagen innerhalb der Messperiode.

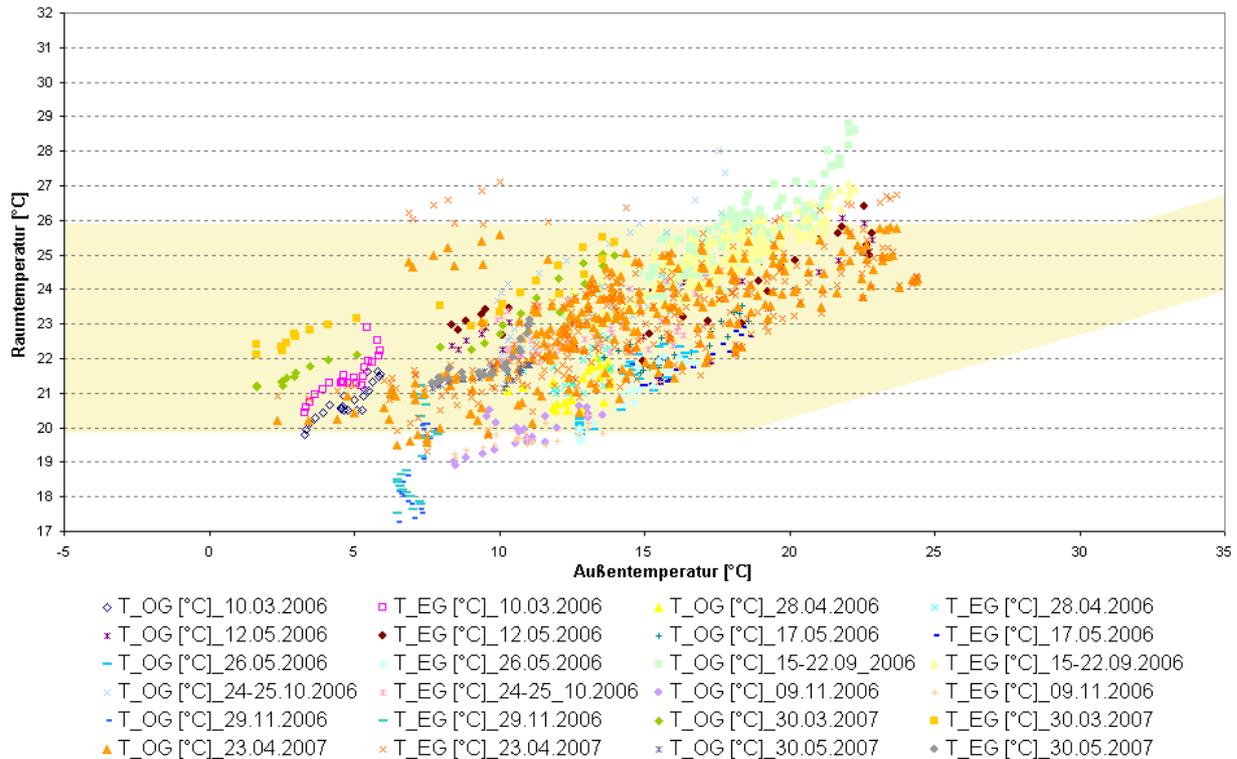


Abb. 36: S-House Stundenmittelwerte der Raumtemperaturen, bewohnt

Die gelb hinterlegte Fläche zeigt den Bereich behaglicher Raumtemperaturen.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sich die Temperaturen größtenteils innerhalb des Behaglichkeitsbereiches bewegen. Trotz teilweise hoher innerer Lasten (Personenanzahl) bleiben die Temperaturen bis auf einige Ausnahmen innerhalb des angenehm behaglichen Bereiches.

In Abb. 37 ist eine genaue Übersicht der Raumtemperaturen innerhalb der betrachteten Betriebsstunden des S-House dargestellt.

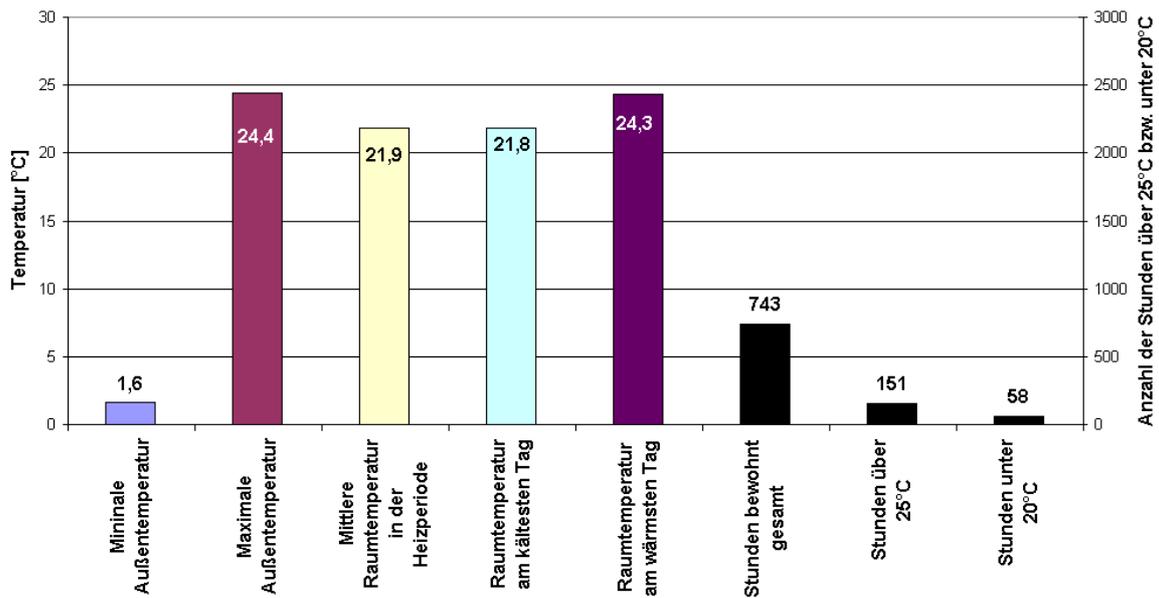


Abb. 37: Behaglichkeitsparameter Temperatur- S-House bewohnt

Man erkennt, dass es zu keinen Extremsituationen, weder im Bezug auf zu tiefe noch auf zu hohe Temperaturen innerhalb des betrachteten Zeitraums kommt.

### 5.4.2 Raumfeuchten bei aktiver Nutzung des Gebäudes

Nachfolgende Abb. 38 zeigt die Raumfeuchten im Erdgeschoss, sowie im Obergeschoss im Vergleich zu den Außentemperaturen an bewohnten Tagen innerhalb der Messperiode.

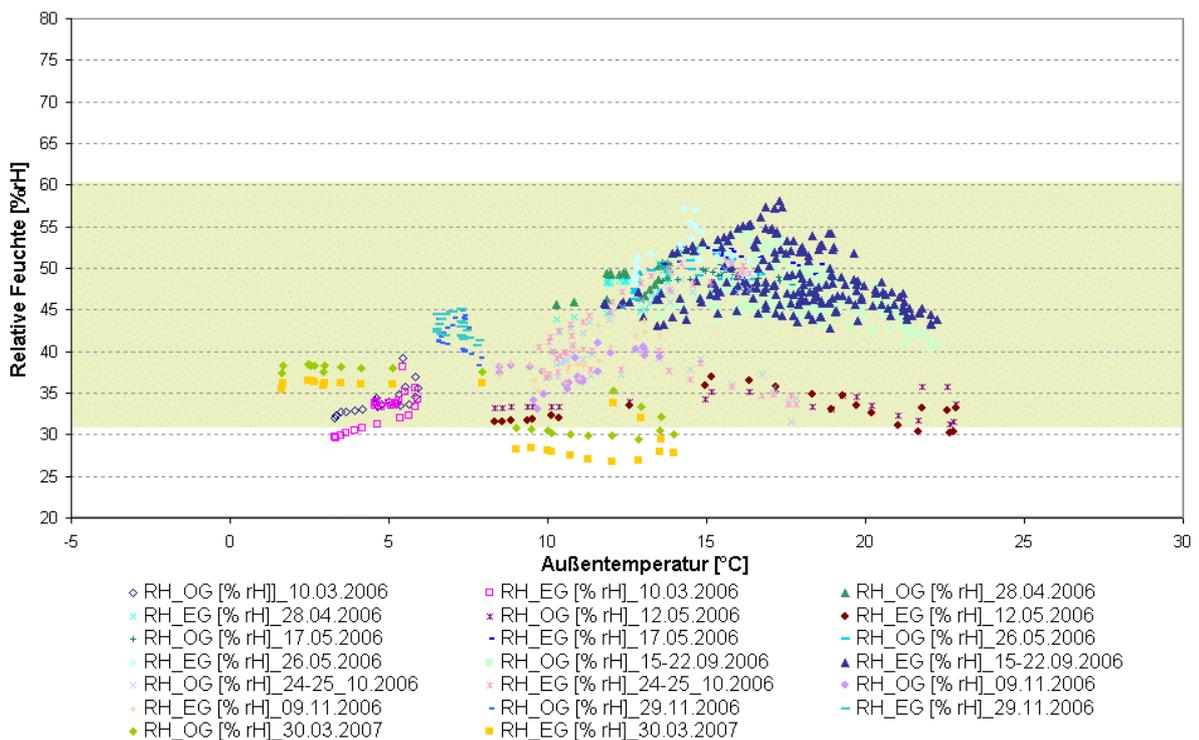


Abb. 38 S-House Stundenmittelwerte der Raumfeuchten, bewohnt

Die gelb hinterlegte Fläche zeigt den Bereich behaglicher Raumfeuchten gemäß ÖNORM EN 13779.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sich die relative Feuchte im Gebäude größtenteils innerhalb des Behaglichkeitsbereiches bewegt. Trotz teilweise hoher innerer Lasten (Personenanzahl) bleiben die Temperaturen in einem angenehmen Bereich.

Eine übersichtliche Darstellung der Behaglichkeitsfaktoren Temperatur und Feuchte zeigt das Behaglichkeitsfeld, welches in Abb. 39 dargestellt ist.

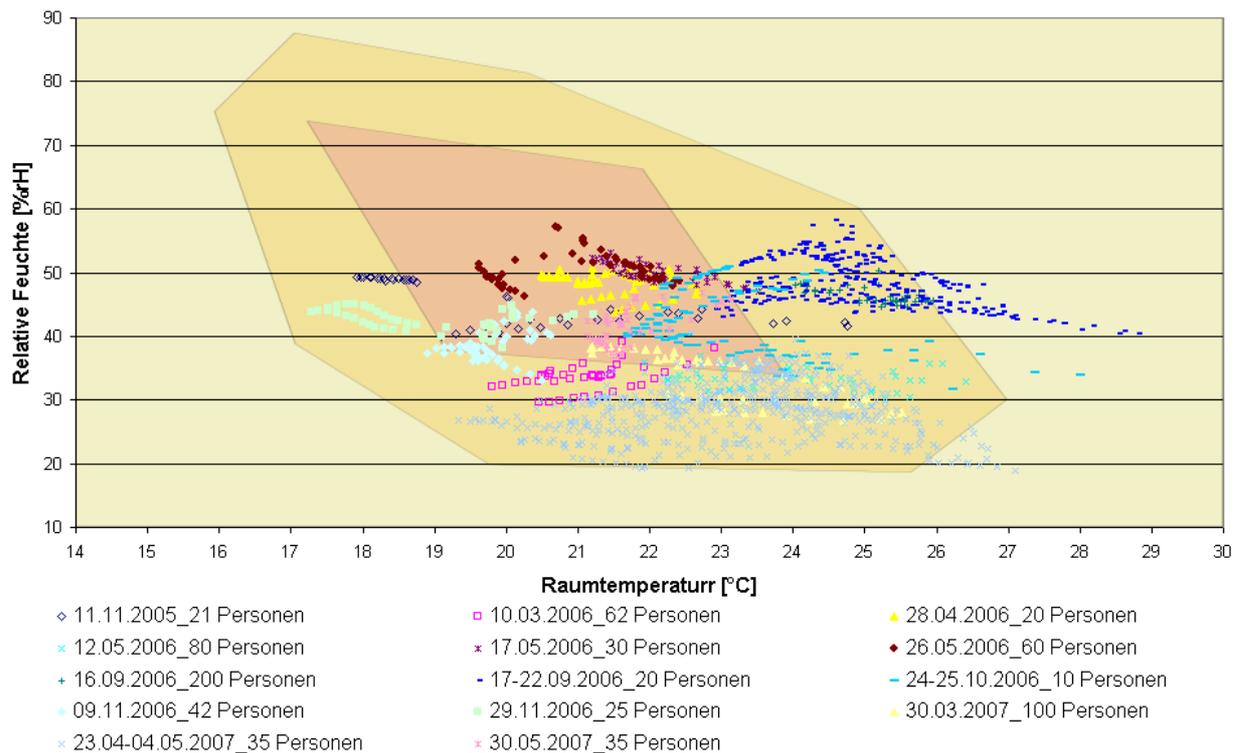


Abb. 39: Behaglichkeitsfeld- S-House Stundenmittelwerte

Aus der Abbildung kann man ablesen, dass sich Temperatur und Feuchte prinzipiell innerhalb des Behaglichkeitsfeldes bewegen, allerdings eine Tendenz in Richtung zu warmer und zu trockener Luft erkennbar ist.

Nachfolgende Abb. 40 soll veranschaulichen, welchen Einfluss der Betrieb der Lüftungsanlage bzw. der Luftwechsel auf das Innenraumklima hat.

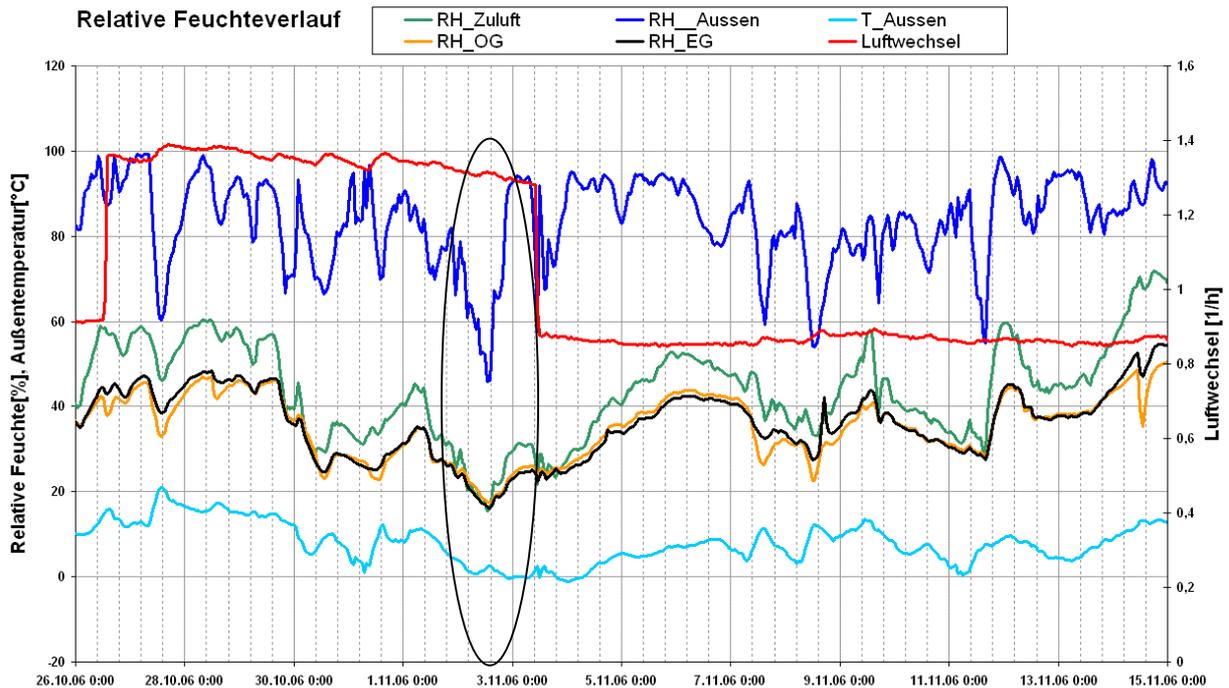


Abb. 40: Einfluss der Lüftungsanlage auf die Innenraumfeuchte

Wie in der obigen Darstellung zu erkennen ist, kann es bei ungünstigen Außenbedingungen (niedrige Außentemperatur, niedrige rel. Luftfeuchte der Außenluft) und bei gleichzeitig hohem Luftwechsel (wie oben markiert) zu sehr niedrigen, relativen Raumluftheuchten kommen.

Im Falle des S- House sollte der Luftwechsel, vor allem bei niedrigen Außentemperaturen, und bei kleineren Belegungszahlen niedriger gehalten werden.

Übliche Anhaltswerte für Passivhäuser sind Luftwechsel der Lüftungsanlage zwischen 0,3 und 0,4-fach.

### 5.4.3 CO<sub>2</sub>- Gehalt bei aktiver Nutzung des Gebäudes

Nachfolgende Abb. 41 zeigt den CO<sub>2</sub>- Gehalt im Erdgeschoss, sowie im Obergeschoss in Abhängigkeit der Personenanzahl im Gebäude.

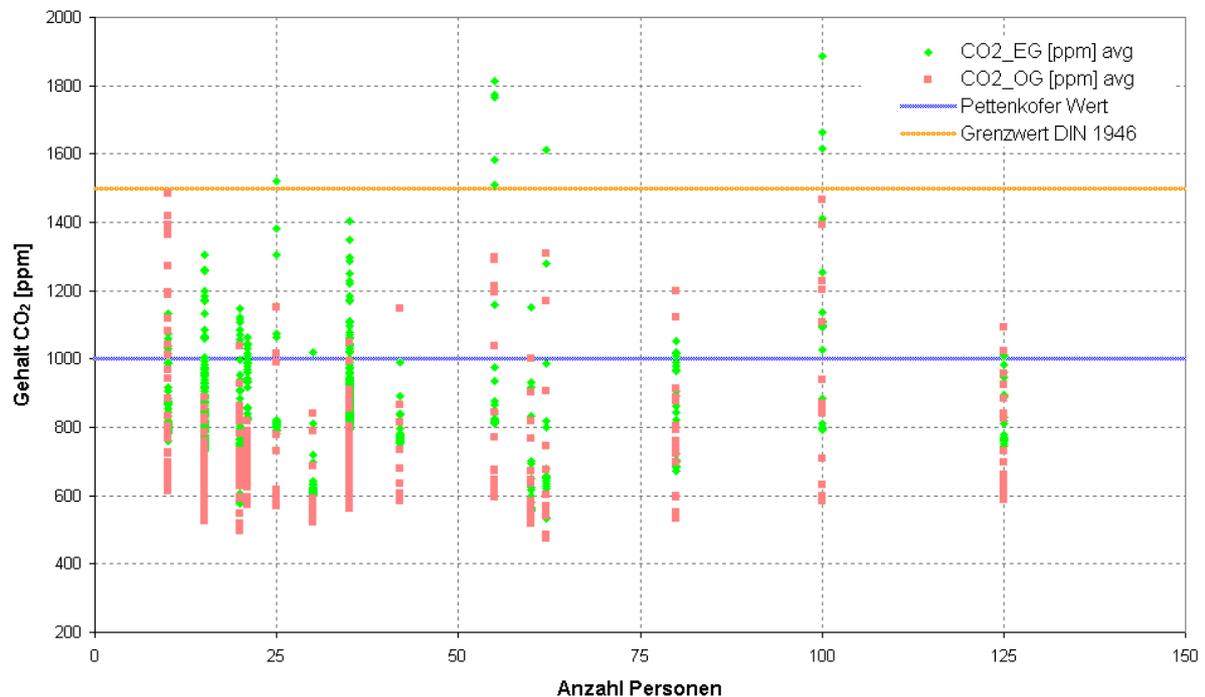


Abb. 41: S-House Stundenmittelwerte CO<sub>2</sub>- Gehalt, bewohnt

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 1000ppm bzw. 0,1Vol.-% stellt einen empfohlenen oberen Grenzwert dar, der auf Untersuchungen von Max von Pettenkofer zurückgeht.

DIN 1946, Teil 2 nennt eine maximale Konzentration von 0,15 Vol.-% .

Das Kohlendioxid selbst ist bei der Konzentration von 0,15 Vol.-% physiologisch und toxikologisch unbedenklich.

Bei kurzzeitig hoher Personenanzahl im Gebäude können die auftretenden CO<sub>2</sub>-Spitzen durch Steigerung des Luftwechsels der Lüftungsanlage effizient abgebaut werden (siehe Abb. 42).



Abb. 42: Einfluss des Luftwechsels auf den CO<sub>2</sub>- Gehalt des Gebäudes

Wie aus der Abb. 42 sehr deutlich zu erkennen ist, nimmt der CO<sub>2</sub>- Gehalt in der Raumluft bei Erhöhung des Luftwechsels rasch ab. Am besten ist das am 27.1.2007 zu erkennen. Am 29. 7.2007 wurde die Lüftungsanlage vorzeitig in die Grundstufe zurückgeschaltet, was ein langsames Abklingen des CO<sub>2</sub>- Gehaltes in der Luft zur Folge hat.

## 5.5 Bewertung des Energieverbrauchs

Aufgrund des unregelmäßigen Nutzverhaltens kann aus der nachfolgenden Energiebilanzierung für das S-House keine klare Aussage über die betrachteten Energiekennzahlen getroffen werden, sehr wohl jedoch lassen sich recht deutlich unterschiedliche Trends darstellen.

In Abb. 43 sind die monatlichen Stromverbräuche über einen Messzeitraum von 15 Monaten dargestellt.

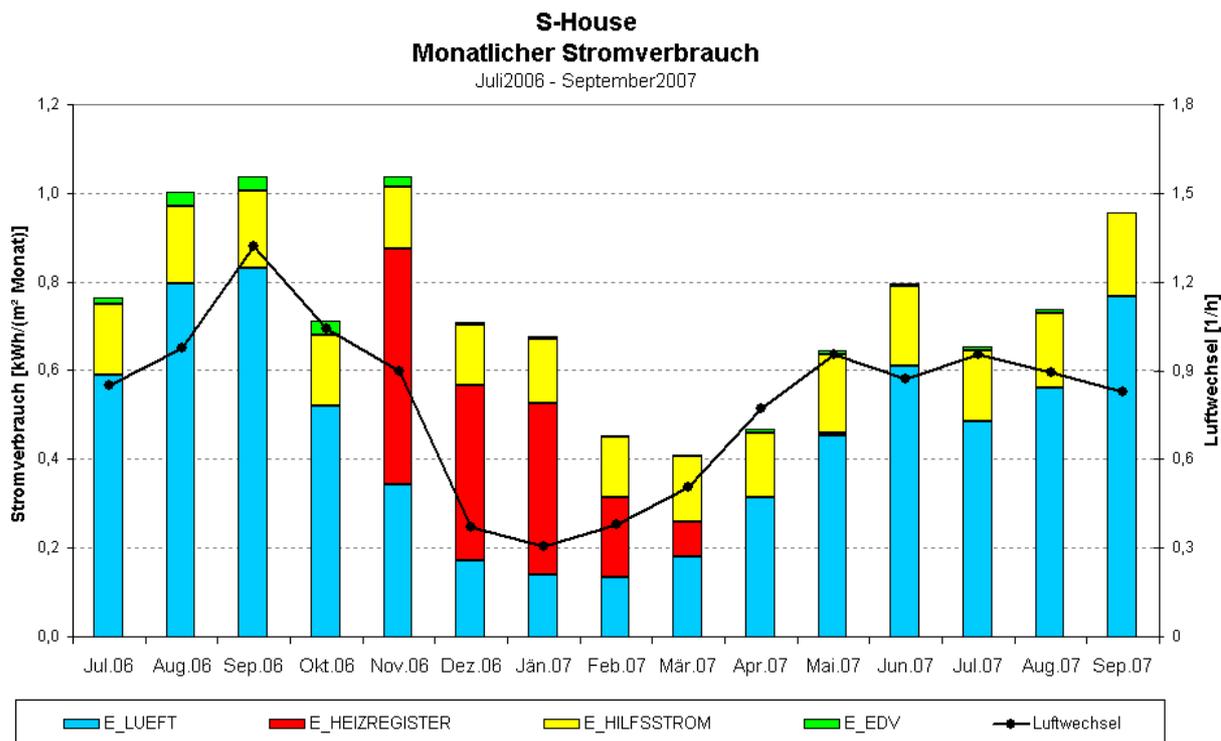


Abb. 43: S-House- Monatlicher Stromverbrauch

Diese Darstellung verdeutlicht sehr gut die Abhängigkeit des Stromverbrauchs (ohne Allgemeinstrom) vom Betrieb der Lüftungsanlage.

Das Gebäude sollte bei sachgemäßer Planung und unter Berücksichtigung behaglicher Auslegungskriterien mit Luftwechsel geringer 0,5-fach betrieben werden können. Tatsächlich war der Luftwechsel jedoch über lange Perioden darüber, was sowohl bezüglich Stromverbrauch als auch bezüglich Behaglichkeit (siehe Abb. 40) Nachteile mit sich bringt.

In Abb. 44 ist der monatliche Nutzenergiebedarf des S-House inklusive Allgemeinstrom dargestellt.

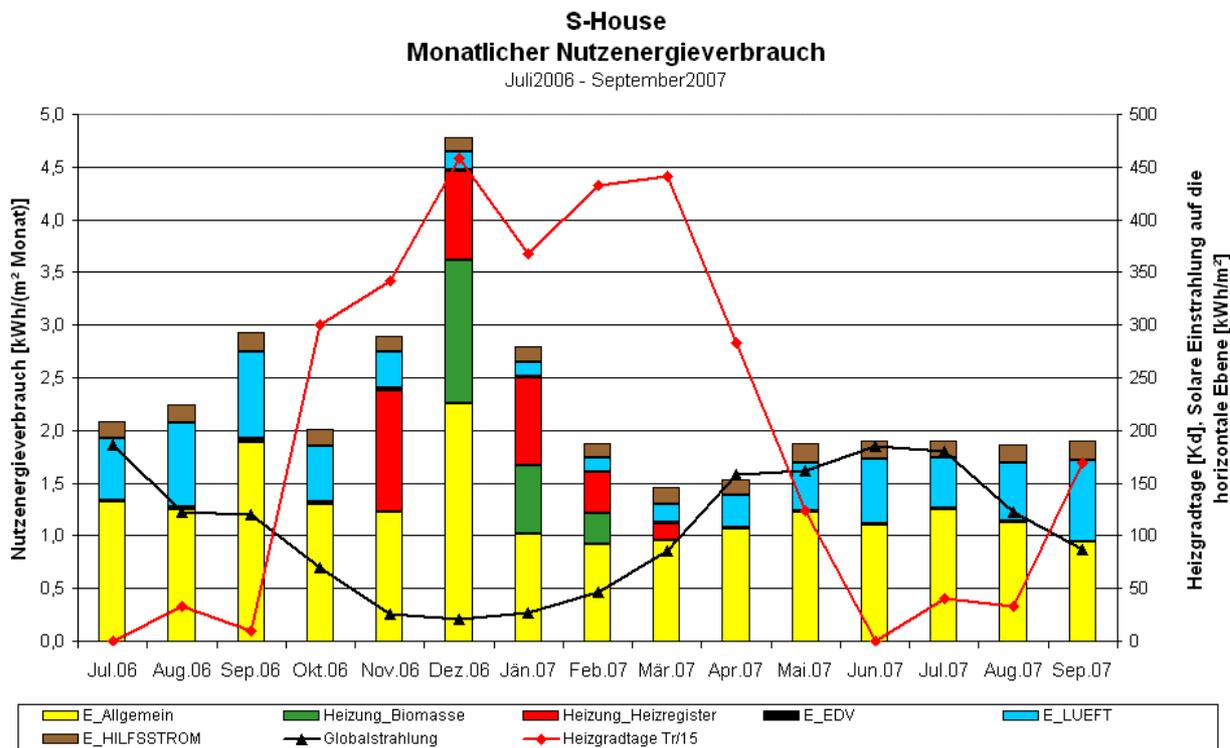


Abb. 44: S-House- Monatlicher Nutzenergieverbrauch

Der monatliche Nutzenergieverbrauch ist aufgrund des unregelmäßigen Nutzerverhaltens natürlich sehr gering, verglichen mit Passivhausgebäuden im Normalbetrieb.

Im Dezember 2006 kam es aufgrund von Bauarbeiten am Gelände außerhalb des S-House Gebäudes zu erhöhten Stromverbrauch des Allgemeinzählers E\_Allgemein (Licht, Schukosteckdosen, Server...). Den wesentlichen Anteil des Allgemeinstromverbrauchs machen die Server aus, welchen im 24 Stundenbetrieb 365 Tage im Jahr aktiv sind.

Während der Heizperiode wurde im betrachteten Zeitraum sowohl mit dem elektrischen Heizregister als auch mit dem Biomasse- Speicherofen geheizt.

In Abb. 45 ist die Analyse des End- und Primärenergieeinsatzes für das S-House innerhalb eines Jahres, ohne Berücksichtigung des sehr geringen Brauchwarmwasserverbrauchs, dargestellt.

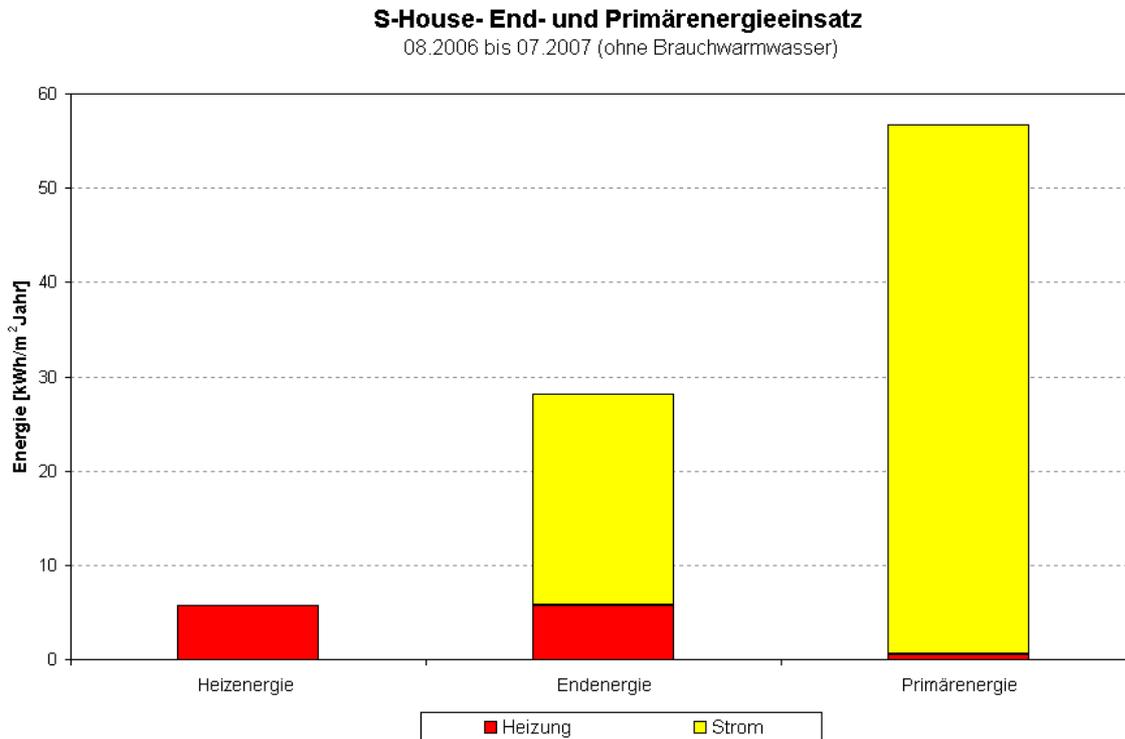


Abb. 45: S-House- End- und Primärenergieeinsatz

Diese sehr guten Messwerte des spezifischen Heizwärmebedarfs von 5,7 [kWh/(m<sup>2</sup> Nutzfläche und Jahr)], bzw. des spezifischen Endenergieenergieverbrauchs von ca. 28,2 [kWh/(m<sup>2</sup>a)] und des Primärenergieverbrauchs von 56,7 [kWh/(m<sup>2</sup>a)] spiegeln den Verbrauch bei Nutzung des Gebäudes als Veranstaltungs- und Ausstellungsobjekt wider.

Die Werte liegen weit unter den Passivhausgrenzwerten, ein Vergleich mit ähnlichen Gebäuden im Passivhausstandard ist allerdings aufgrund des unterschiedlichen Nutzungsverhaltens nur bedingt möglich.

## 6 Visualisierung der Messdaten

Autor: Grat, DI Hannes Hohensinner, Philipp Lopaur

Zur Veranschaulichung der Funktionalität der überprüften Baustoffe und Konstruktionen im S-HOUSE wurde ein Konzept für deren Visualisierung ausgearbeitet und umgesetzt. Es dient vor allem der anschaulichen Darstellung der Messergebnisse für Experten. Durch ein kontinuierliches Monitoring kann das Verhalten des Gebäudes und der darin eingesetzten Materialien und Komponenten über den zeitlichen Verlauf z.B. eines Tages, einer Woche oder eines Jahres dargestellt und analysiert werden. Durch die Entwicklung einer sehr umfangreichen Lösung, die es ermöglicht alle gemessenen Werte über eine beliebige Zeitdauer darzustellen und auch miteinander zu vergleichen zu, steht ein effizientes Werkzeug Verfügung. Darüber hinaus wird das Visualisierungsprogramm auch dazu verwendet, um interessierten Personen die Vorteile der Passivhaustechnologie und der eingesetzten nachwachsenden Baustoffe zu demonstrieren.

### 6.1 Zielsetzungen und Anforderungen

Die Zielsetzung für die Visualisierung der Messergebnisse ist zum einen eine umfassende Darstellung aller verfügbaren Messdaten und zum anderen eine anschauliche und auch für Laien verständliche Darstellung der Werte. Außerdem soll die Bedienbarkeit der Oberfläche (Eingabemaske bzw. Pop-up Menüs) einfach und überschaubar sein. Wesentlich ist die Darstellungsmöglichkeit über beliebige Zeiträume. Daraus wurden die Anforderungen an die Software ermittelt und das Pflichtenheft erarbeitet.

Folgende Anforderungen wurden an die Software gestellt:

Das gleiche System soll nach Möglichkeit für den internen Gebrauch am

- Institut wie auch für die öffentliche Webseite und für die Ausstellung im S-House zu gebrauchen zu sein.
- Aufgrund der Umgebung in der die Webseite läuft kommt nur Perl mit CGI als Interface zum Webserver in Frage.
- Das System soll alle Sensoren untereinander gegenüberstellen können und diese Vergleiche in verschiedenen Zeitskalen anzeigen.
- Die Sensorwerte haben verschiedene Typen, so gibt es Temperatursensoren, Feuchtigkeitssensoren, Strahlungssensoren, Geschwindigkeitssensoren und weitere.
- Ein Vergleich der verschiedenen Typen soll untereinander möglich sein.
- Es sollen über die gewählten Zeiträume Extrem- und Durchschnittswerte ermittelt werden.
- Der Zeitraum der gesamten Aufzeichnung soll mehrere Jahre betragen.
- Es soll einfach sein das Design der Webseite zu ändern.

- Es soll einfach sein neue Sensoren hinzuzufügen oder umzubenennen.
- Es soll möglich sein fehlerhafte Sensoren zu erkennen und diese fehlerhaften Werte sollen nicht die Anzeige oder Durchschnittswerte stören.
- Fehlerhafte Sensoren werden durch Unter- oder Überschreiten eines Minimal- oder Maximalwertes erkannt. Bei einigen Sensoren z.B.: Temperatur ist das nicht möglich, da ein fehlerhafter Wert von 0 genau im gültigen Messbereich liegen kann

## 6.2 Programmiertechnische Lösung

Es kamen von Anfang an 3 Lösungsansätze in Betracht.

1. Eine komplett eigene Entwicklung mit eigener Visualisierung.
2. Einsatz des Tools „RRDtool“ <http://oss.oetiker.ch/rrdtool/> welches die gesamten Daten in einer eigenen RoundRobin Datenbank speichert und visualisiert.
3. wie 2. allerdings würde hier die RoundRobin Datenbank immer nur mit den Daten die gerade für die Abfrage benötigt werden gefüllt und nachher gelöscht, um mehr Geschwindigkeit zu erreichen.

Nachdem ein ausführlicher Test des Tools „RRDtool“ selbst bei 10 Jahren Daten von 200 simulierten Sensoren (d.h.:  $200 \times 4 \times 24 \times 365 \times 10 = 70000000$  Werte) keinerlei für Menschen merkliche Verzögerungen bei der Berechnung oder Visualisierung zeigte, begann die eigentliche Entwicklung mit dem Tool „RRDtool“.

## 6.3 Technische Beschreibung der Visualisierung

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Dateien, aus welchen sich das Visualisierungssystem zusammensetzt, beschrieben.

Die Visualisierung besteht aus folgenden Bereichen:

- Anzeige Programme
- Einlese Programme
- Konfigurations Dateien
- HTML Templates
- Sensordaten

Die Sensordaten durchlaufen folgende Stufen vom Sensor bis zur Visualisierung (siehe auch Abb. 46:):

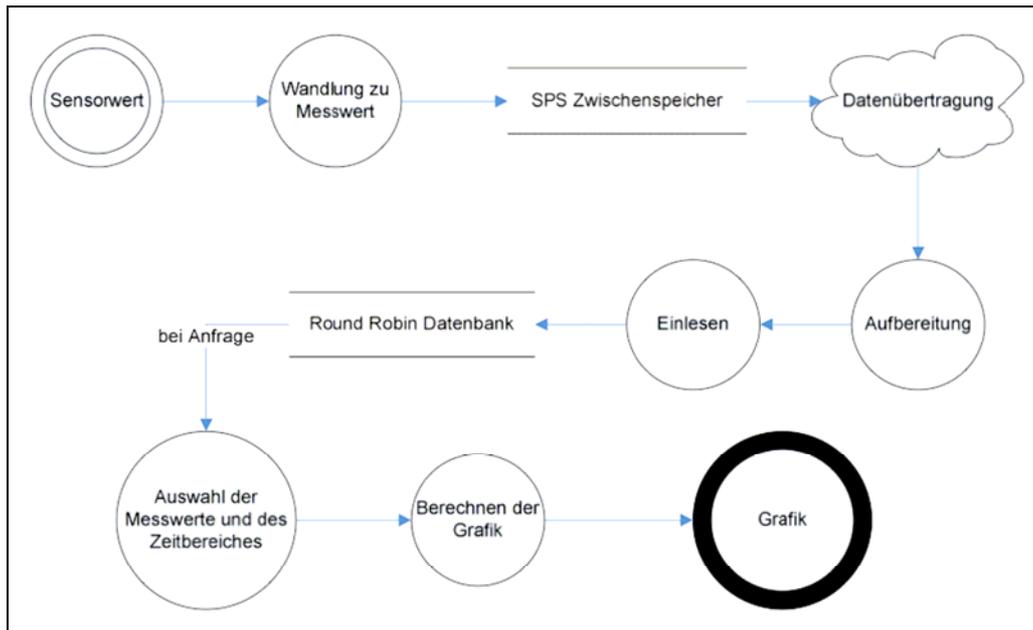


Abb. 47: Grafisches Schema Datenfluss

1. Sensor liefert Spannungs- oder Stromwert an Datenlogger
2. Datenlogger wandelt diese Analogwerte in ein Digitales Signal um und schreibt die Werte in die tägliche Messwerttabelle
3. Datenübertragung der täglichen Messwerttabelle zum Visualisierungsserver (derzeit via Modem, bzw. direkt)
4. Die Visualisierungssoftware liest die aktuelle Messwerttabelle- falls vorhanden-einmal täglich aus dem Datenverzeichnis.
5. Die Messwerte werden für RRDtool aufbereitet (Datum, Zahlenformate, Tabstops, Trennzeichen, Kopfzeile)
6. Die Messwerte werden in eine Round Robin Datenbank geladen. Es wird RRDtool verwendet. (<http://oss.oetiker.ch/rrdtool/>) Die Datenbankdatei wird beim ersten Einlesen erstellt. Die Parameter Minimum, Maximum und Limit einer Messgröße werden dabei aus einem Konfigurationsfile sensor\_beschreibung.ini gelesen. Die voreingestellte Größe der Round Robin Datenbank beträgt 10 Jahre, 4 Messwerte pro Stunde, pro Messwert. Fehlende oder außerhalb des Minimum oder Maximum Limits liegende Messwerte werden verworfen und in der Visualisierung auch als fehlend dargestellt. Es findet keine Interpolation zwischen den Messpunkten statt (wurde abgeschaltet)
7. Ein Besucher ruft Visualisierungsseite auf. Erfolgt eine Anfrage so werden wie vom Besucher gewünscht die entsprechenden Messwerte ausgewählt und pro Einheit gruppiert.
8. Übergabe der entsprechenden Parameter an die RRDtool Grafikeinheit.

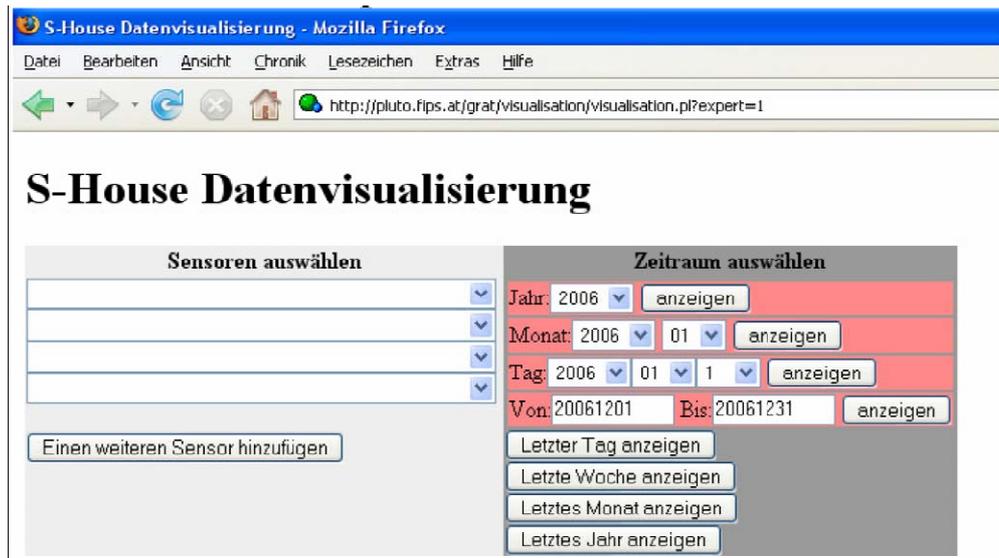


Abb. 48: Eingabemaske

Die RRDtool Grafikeinheit erzeugt, aufgerufen mit den richtigen Parametern, dann ein einzelnes Visualisierungsbild. Dieses Bild wird nicht gespeichert sondern gleich an den Webserver übergeben, der es wiederum an den Browser vom Benutzer schickt, der das Bild schlussendlich am Bildschirm anzeigt bekommt.

9. Anwendungsbeschreibung für den Besucher der Visualisierungswebseite. Ein Besuch auf der Visualisierungswebseite läuft wie folgt ab:
  - Aufrufen der Hauptseite - siehe Abb. 48
  - Auswahl der Sensoren - siehe Abb. 49
  - Auswählen des Zeitraumes, bzw. Eingabe eines Datums - siehe Abb. 50
  - Klicken auf „anzeigen“
  - Anzeige der Graphen - siehe Abb. 51

Im Folgenden werden einige Beispiele der Anwendung in Form von Screen-Shots (Abb. 55 bis 59) dargestellt.

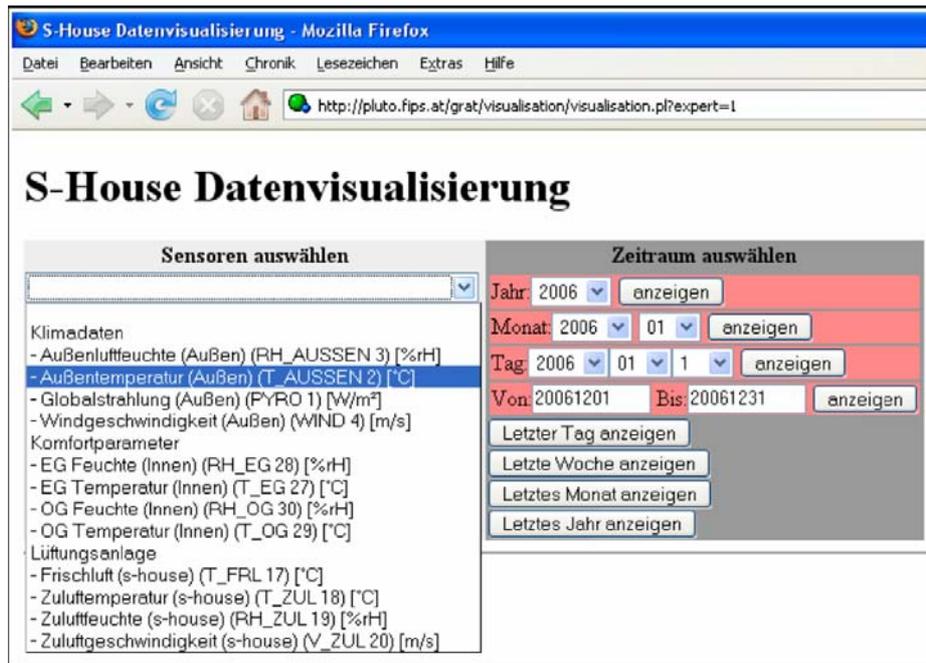


Abb. 49: Auswahl der Sensoren

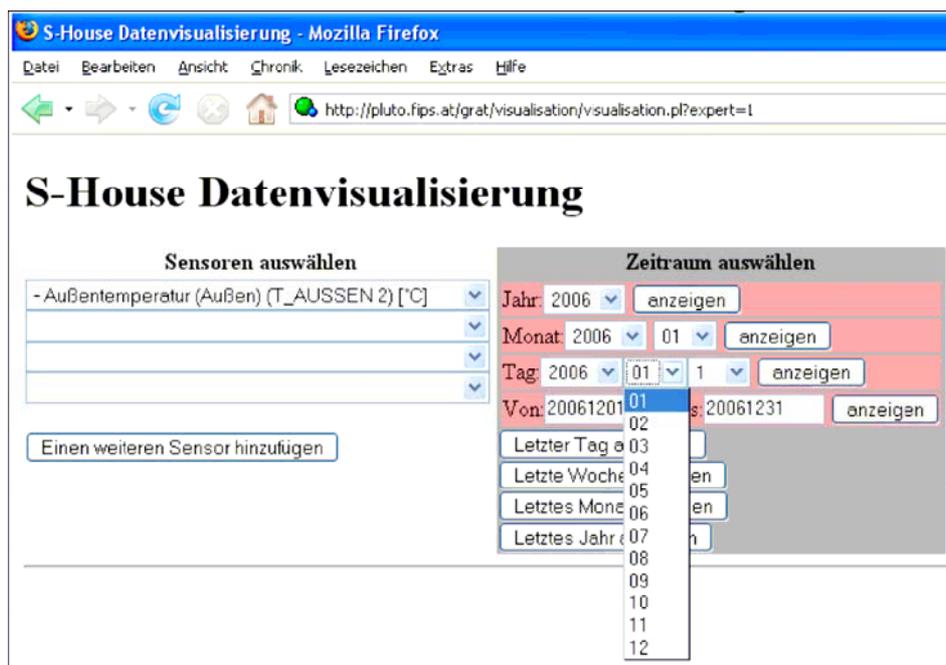


Abb. 50: Auswahl des Zeitraums

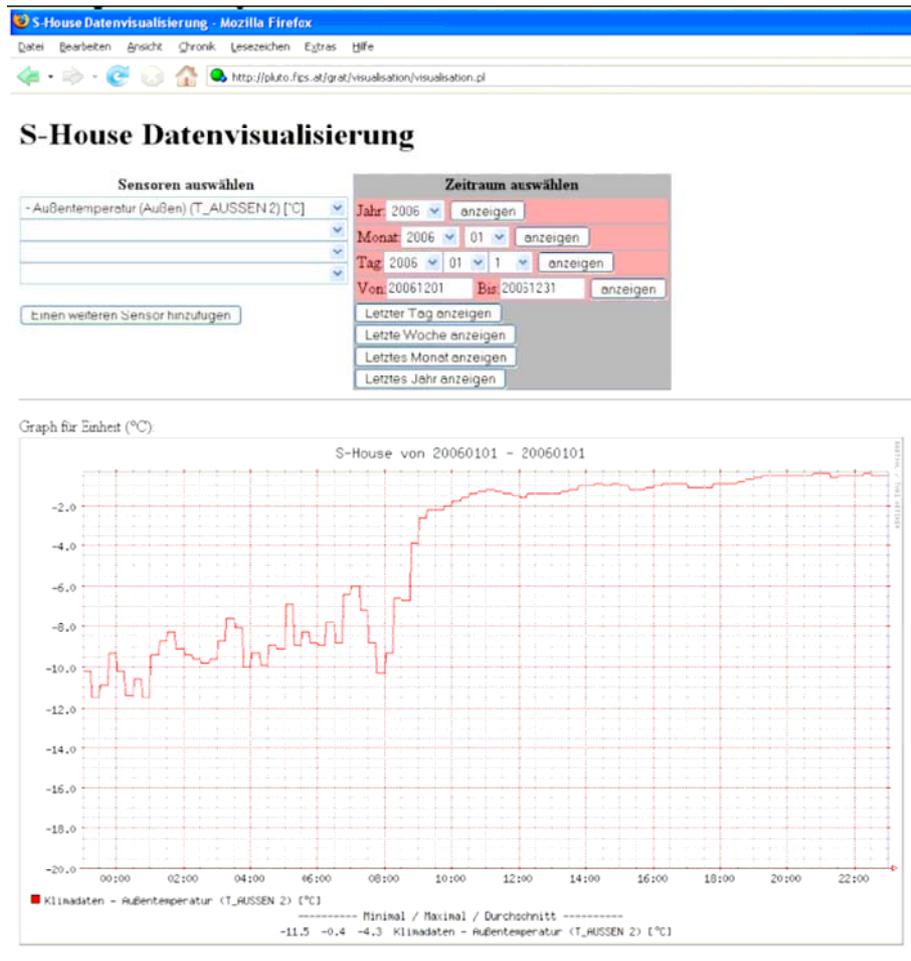


Abb. 51: Darstellung des Ergebnisses

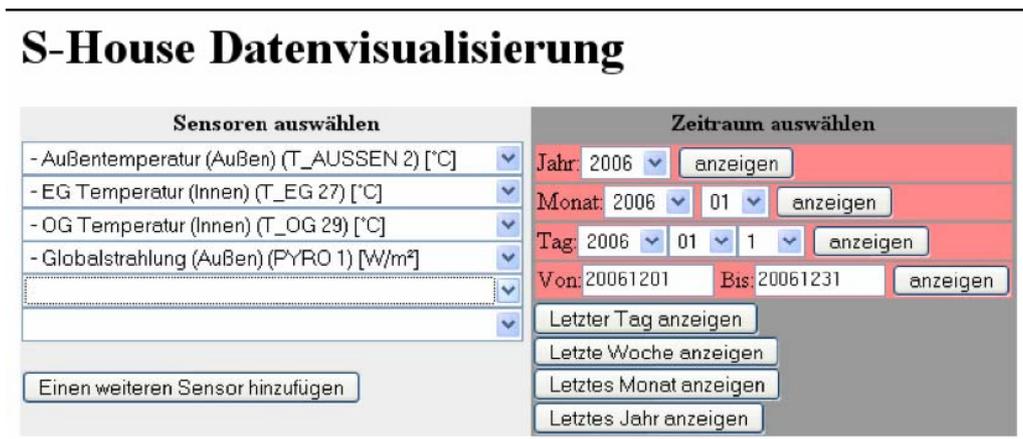


Abb. 52: Detailansicht der Sensorauswahl. Links: Sensor, Rechts: Zeiträume

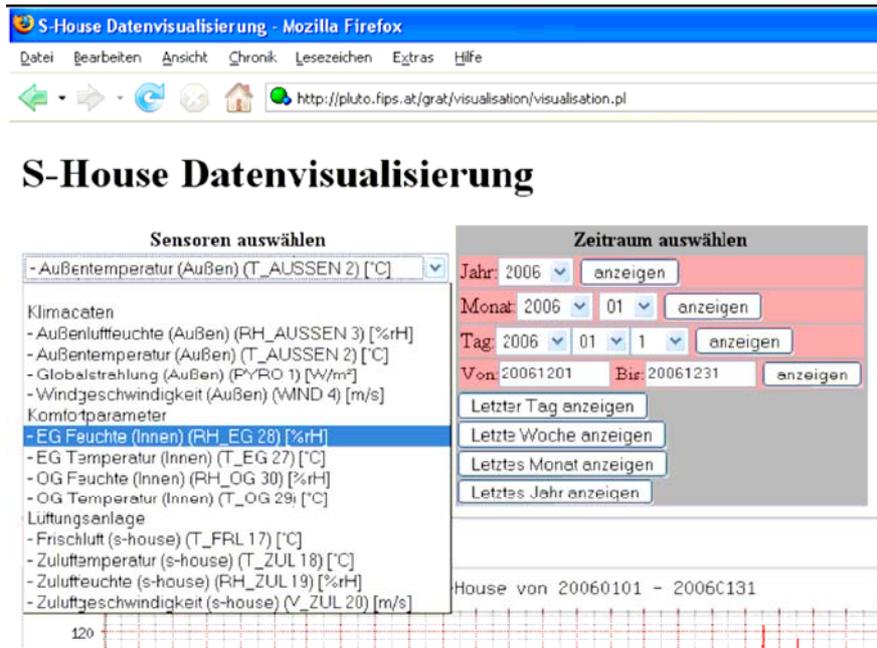


Abb. 53: Auswahl eines Sensors aus der Sensorliste

## S-House Datenvisualisierung



Abb. 54: Es ist auch möglich sehr viele Sensoren zu vergleichen. Die Farben reichen allerdings nur für 8 Messwerte pro Einheit.

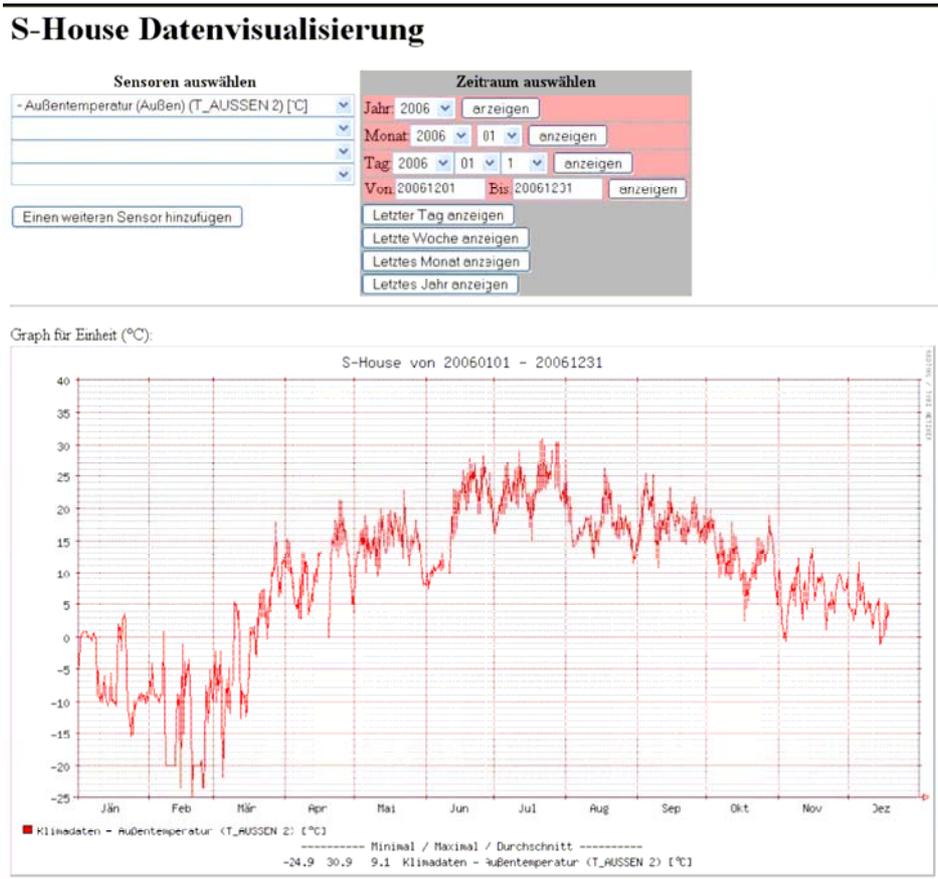


Abb. 55: Gesamte Anzeige im Browser mit einem Messwert, Zeitraum 1 Jahr

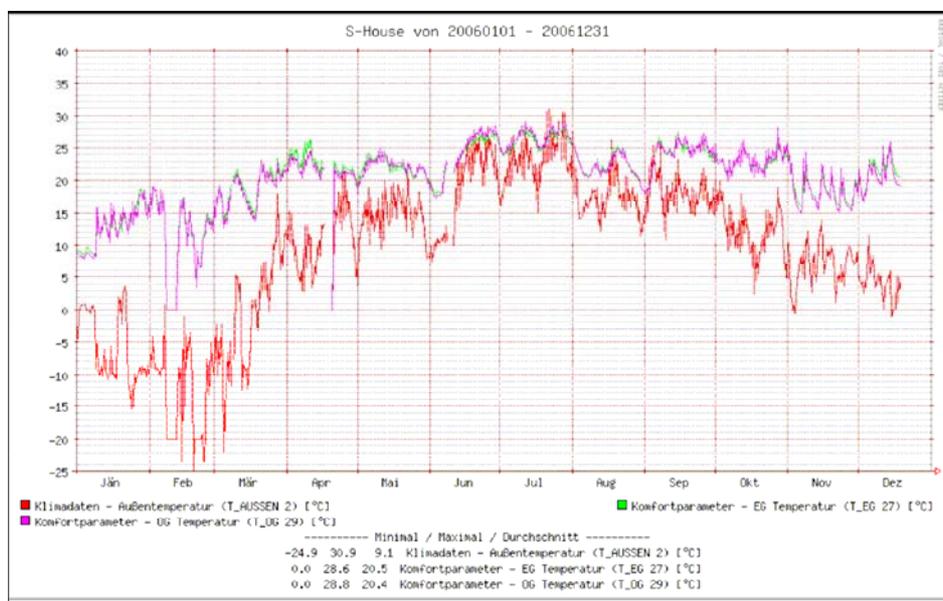


Abb. 56: Anzeige von mehreren Messwerten einer Einheit, Zeitraum 1 Jahr

## 7 Mikrobiologische Begleitanalysen

Von Univ. Doz. Dr. Katja Sterflinger

### 7.1 Erster Teilbericht

#### 7.1.1 Durchgeführte Untersuchungen

- Probennahme an 7 ausgewählten Probestellen (siehe Tabelle 6).
- Lebendkeimzahlbestimmung von Schimmelpilzen, xerophilen Pilzen und Actinomyzeten.
- Bestimmung von 11 Isolaten.
- Fluoreszenzmikroskopische Dokumentation des am Stroh vorhandenen Schimmelbefalls.
- Messung der Luftkeimzahlen.



Abb. 57: Probennahme am 25.10.2004; (A) Entnahme von Stroh mit steriler Schere, (B) Entlang der Nordfassade wurden 4 Proben entnommen, (C) Entnahmestelle am Messfühler für Probe Nr.7 Nord, (D) Luftkeimsammlung mit dem Sartorius MD8 im noch offenen Innenraum.

Tabelle 6: Probeentnahmestellen Teilbericht 1

Probe Nr.	Ausrichtung	Bemerkungen
1	Ostwand	Das Stroh an der Ostwand war zum Teil erheblich durchfeuchtet.
2	Nordwand, östlich	
3	Nordwand Mitte	
4	Nordwand, westlich	
5	Westwand	feuchte Oberfläche
6	freiliegender Strohballe im Haus	Entnahme der Probe mitten im Ballen.
7	Nordwand bei den Testflächen, am Messfühler (Abb.1C)	

### 7.1.2 Ergebnisse

- Lebendkeimzahlen

Tabelle 7: Lebendkeimzahlen (CFU = colony forming units) pro Gramm Stroh

Probe Nr.	Schimmelpilze CFU/g	xerophile Schimmelpilze CFU/g	Actinomyceten CFU/g
1 West	1036000	0	37000
2 Nord	475000	100000	175000
3 Nord	4836000	185000	0
4 Nord	480000	160000	0
5 Ost	1643000	2352000	616000
6 Strohballe	124000	62000	0
7 Nord	651000	310000	0

- Identifizierungen

Tabelle 8: Identifizierungen

Isolat Nr.*	Identifizierung	Bemerkungen
GRAT 1	Cladosporium cladosporioides	
GRAT 2	Hefe mit Myzelbildung	Identifizierung nur molekular möglich
GRAT 3	steriles Myzel	
GRAT 4	Alternaria tenuissima	
GRAT 5	steriles Myzel	
GRAT 6	Epicoccum nigrum	
GRAT 7	Ulocladium sp.	
GRAT 8	Exophiala sp.	
GRAT 9	Penicillium sp.	
GRAT 10	steriles Myzel	
GRAT 11	Aureobasidium pullulans	

\* Isolate werden in der ACBR- Stammsammlung aufgenommen und erhalten dann Sammlungskennungen.

- Mikroskopische Untersuchungen

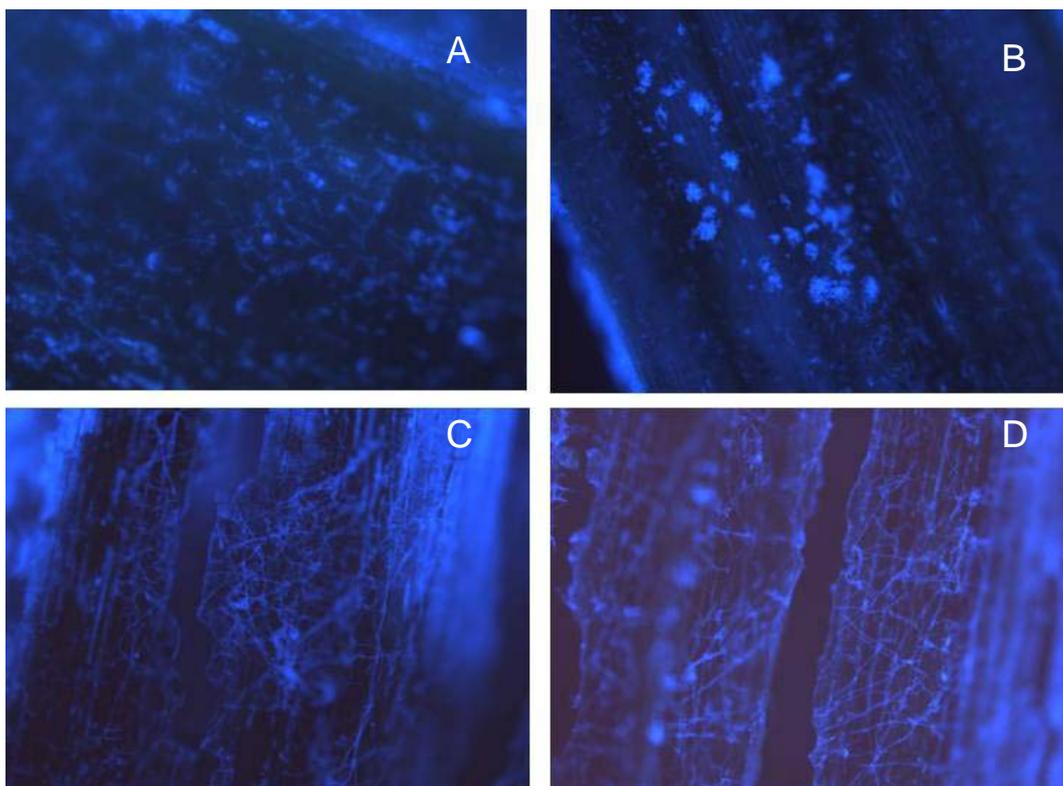


Abb. 58: Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen nach Färbung der Pilzstrukturen mit Calcofluor White (färbt die Chitinzellwände der Pilze). (A, B) Probe 1 West; (C, D) Probe 2 Nord.

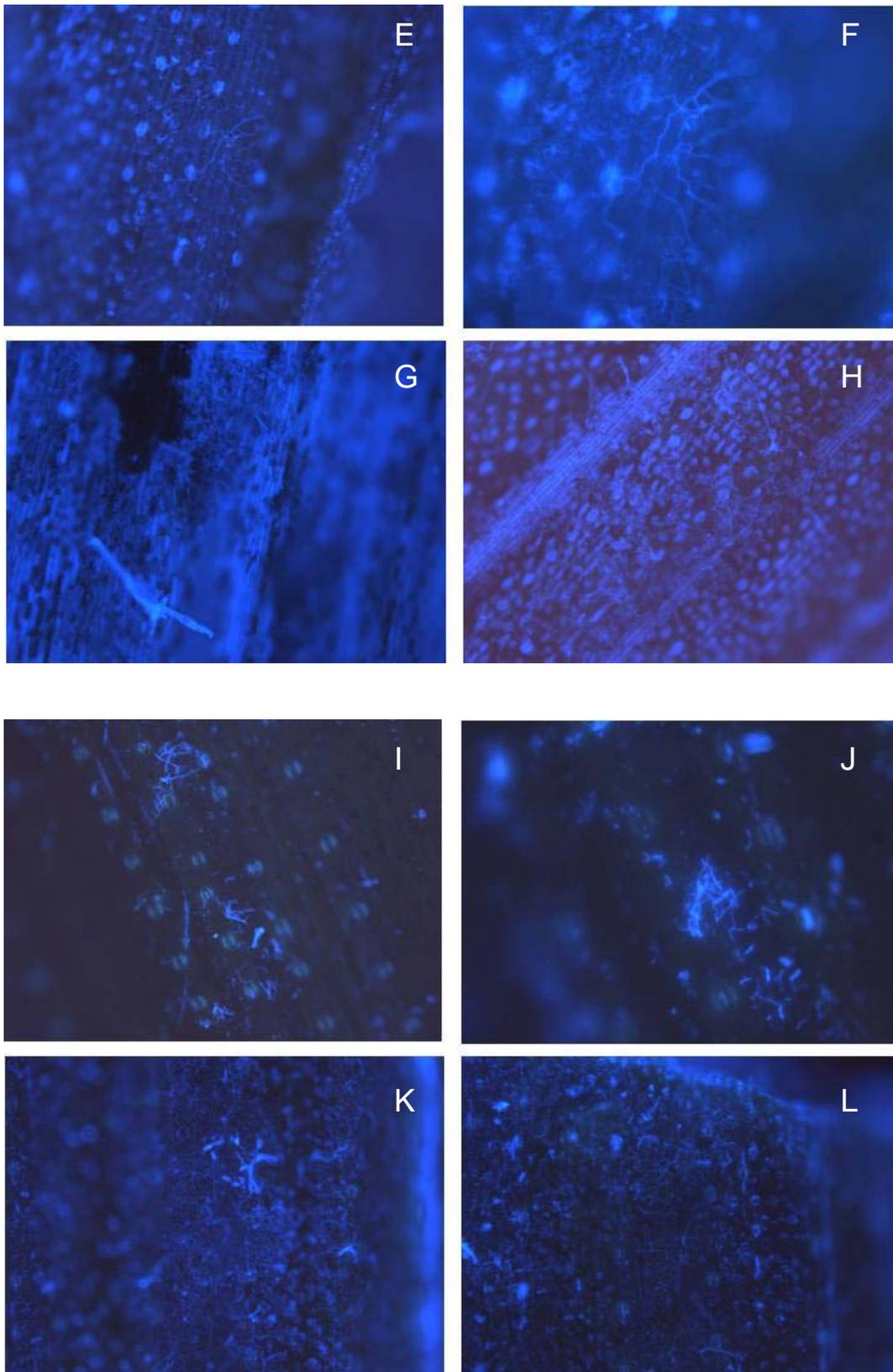


Abb. 59: (E, F) Probe 3 Nord; (G) Probe 4 Nord; (H) Probe 5 Ost; (I, J) Probe 6 Strohballen; (K, L) Probe 7 Nord.

- Luftkeimzahlen

Tabelle 9: Luftkeimzahlen (CFU=Colonie Forming Units) pro m<sup>3</sup> Luft

Probe Nr.	CFU/m <sup>3</sup>
1 Obergeschoss	6425
2 Parkplatz	32000

### 7.1.3 Bewertung der Ergebnisse aus Teilbericht 1

Die hier durchgeführten Untersuchungen dienen der Feststellung der zum Zeitpunkt des Einbaues im Stroh vorhandenen Pilzbesiedlung. Die Ergebnisse sind damit die Grundlage zur Bewertung der folgenden Untersuchungen.

Derzeit kann der vorhandene Pilzbewuchs sowohl von der vorhandenen Menge wie auch vom Artenspektrum her als für Stroh normal und durchschnittlich eingestuft werden.

## 7.2 Zweiter Teilbericht

### 7.2.1 Durchgeführte Untersuchungen

- Probennahme am 26.07.2005 an 6 ausgewählten Probestellen (siehe Tabelle 10).
- Lebendkeimzahlbestimmung von Schimmelpilzen
- Identifizierung der Schimmelpilzgattungen
- fluoreszenzmikroskopische Dokumentation des am Stroh vorhandenen Schimmelbefalls
- Messung der Luftkeimzahlen

Tabelle 10: Probeentnahmestellen Teilbericht 2

Probe Nr. Ifd. aus Teilbericht 1	Ausrichtung
8	Nordwand, westliche Testfläche, links
9	Nordwand, westliche Testfläche, rechts
10	Ost, Decke
11	Ost, Wand
12	West, Decke
13	West, Wand

### 7.2.2 Ergebnisse

- Lebendkeimzahlen

Tabelle 11: Lebendkeimzahlen (CFU = colony forming units) pro Gramm Stroh

Probe Nr.	Schimmelpilze CFU/g	xerophile Schimmelpilze CFU/g
8	13.120	24.600
9	20.250	400.000
10	46.250	175.250
11	11.750	56.000
12	90.090	330.000
13	263.500	200.000

- Identifizierungen

Tabelle 12: Identifizierungen

Probe Nr	Identifizierung
8	Cladosporium cladosporioides Penicillium sp. Alternaria alternata Aspergillus sp. steriles Myzel
9	Cladosporium cladosporioides Aspergillus sp. Penicillium sp. Penicillium sp. Alternaria sp. Alternaria alternata
10	Alternaria brassicicola Cladosporium cladosporioides Penicillium sp. Aureobasidium pullulans
11	Fusarium poae Trichoderma harzianum Cladosporium cucumerinum Penicillium sp. Alternaria sp. Cladosporium cladosporioides steriles Myzel
12	Alternaria alternata Penicillium sp. Penicillium sp.
13	Aspergillus sp. Penicillium sp. Cladosporium sp.

- Luftkeimzahlen

Tabelle 13: Luftkeimzahlen (CFU=Colonie Forming Units) pro m<sup>3</sup> Luft

Messpunkt	CFU/m <sup>3</sup>
Obergeschoss	520
Erdgeschoss	3200
Aussenluft Parkplatz	6940

### 7.2.3 Bewertung der Ergebnisse aus Teilbericht 2

Das Artenspektrum der im Stroh gefundenen Arten entspricht in etwa dem Artenspektrum der ersten Probenahme im Oktober 2004. Das bedeutet, dass alle Arten, die natürlicherweise im Stroh vorkommen, im verbauten Strohballen nach 9 Monaten noch lebensfähig sind. Die Keimzahlen lebensfähiger Schimmelpilze sind aber niedriger und unterliegen einer Schwankungsbreite von  $10^4$  bis  $10^5$  gegenüber  $10^5$  bis  $10^6$  bei der ersten Beprobung. Dabei ist vor allem ein Rückgang der Arten zu beobachten, die nicht xerotolerant (trockenheitstolerant) sind, während die Keimzahlen der xerotoleranten Pilze annähernd gleich bleiben.

Die fluoreszenzmikroskopische Untersuchung zeigt, dass die vegetativen Myzelien der Pilze in hoher Dichte auf dem Stroh nachweisbar sind. gegenüber den intakten Myzelien, die in Teilbericht I gezeigt sind, weisen die Myzelien jetzt starke Zeichen der Zersetzung auf.

Für eine Beurteilung der Ergebnisse im Sinne der Bewertung von unbehandeltem Stroh als Baustoff werden weitere Untersuchungen am verbauten Material notwendig sein. Vorläufig kann jedoch gesagt werden, dass eine deutliche Abnahme der Keimzahlen gegenüber den Keimzahlen im frischen Stroh zu bemerken und zunächst positiv zu beurteilen ist.

## 7.3 Dritter Teilbericht

### 7.3.1 Durchgeführte Untersuchungen

- Probennahme am 21.09.2006 an 6 ausgewählten Probestellen (siehe Tabelle 14).
- Lebendkeimzahlbestimmung von Schimmelpilzen
- Messung der Schimmelpilzbelastung in der Raumluft: Sartorius MD8, 50 l bei 30 l/min, Medien MEA, DG18, Inkubation bei 28°C 7 Tage.
- Identifizierung der Schimmelpilze nach Anderson et al., Klich, Pitt, Ellis.

Tabelle 14: Probeentnahmestellen Teilbericht 3

Probe Nr. lfd. aus Teilbericht 2	Ausrichtung
14	Nordwand, westliche Testfläche, links
15	Nordwand, westliche Testfläche, rechts
16	Ost, Decke
17	Ost, Wand
18	West, Decke
19	West, Wand

### 7.3.2 Ergebnisse

- Lebendkeimzahlen

Tabelle 15: Lebendkeimzahlen (CFU = colony forming units) pro Gramm Stroh

Probe Nr.	Schimmelpilze CFU/g MEA	xerophile Schimmelpilze CFU/g DG18
14	0	1.000
15	0	1.000
16	0	40.000
17	0	0
18	100	1.000
19	17.000	106.000

- Identifizierung

Tabelle 16: Identifizierung der Schimmelpilze

Probe Nr.	Identifizierung
14	Cladosporium cladosporioides Penicillium sp.
15	Cladosporium cladosporioides Aspergillus sp. Penicillium sp.
16	Cladosporium cladosporioides Penicillium sp.
17	/
18	Penicillium sp.
19	Aspergillus sp. Penicillium sp. Cladosporium sp. Fusarium sp.

- Luftkeimzahlen

Tabelle 17: Luftkeimzahlen (CFU = colony forming units) pro m<sup>3</sup> Luft

Messpunkt	CFU/m <sup>3</sup> MEA	CFU/m <sup>3</sup> DG18	Identifizierung
Obergeschoss	380	520	Cladosporium sp. (dominant) Penicillium sp. Aspergillus sp.
Erdgeschoss	640	660	Cladosporium sp. (dominant) Penicillium sp. Aspergillus sp.
Außenluft Park- platz	1930	1590	Cladosporium sp. (dominant) Penicillium sp. Aspergillus sp. Fusarium sp. Epicoccum sp. Alternaria sp.

### 7.3.3 Bewertung der Ergebnisse aus Teilbericht 3

Sowohl das Artenspektrum der im Stroh gefundenen Arten wie auch die Keimzahlen der lebensfähigen Schimmelpilze sind gegenüber den Messungen in 2003 und 2004 erheblich zurückgegangen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Lebensbedingungen für die Schimmelpilze in der Strohdämmung ungünstig sind und während der letzten 2 Jahre zur Abnahme der lebensfähigen Sporen und Myzelien geführt haben.

Die Luftkeimzahlen im Inneren des Gebäudes liegen weit unter denen der Außenluft und weisen keine Anzeichen für eine im Innenraum liegende Schimmelpilzquelle auf.

Die Verwendung des unbehandelten Stroh als Dämmmaterial unter den am „S-House“ gegebenen Bedingungen kann derzeit aus hygienischer Sicht als unbedenklich eingestuft werden.

## 7.4 Gutachten der mikrobiologische Begleitanalyse

### 7.4.1 Durchgeführte Untersuchungen am S-House

- Probennahme am 10.10.2007 an 7 ausgewählten Probestellen (siehe Tabelle 18).
- Lebendkeimzahlbestimmung von Schimmelpilzen
- Messung der Schimmelpilzbelastung in der Raumluft: Sartorius MD8, 100 l bei 30 l/min, Medien MEA, DG18, Inkubation bei 28°C 7 Tage.
- Identifizierung der Schimmelpilze nach Anderson et al. 1993, Klich 2002, Pitt 2000, Ellis 1971.

Tabelle 18: Probeentnahmestellen Schlussbericht

Probe Nr. lfd. aus Teilbericht 3	Ausrichtung
20	Nordwand, westliche Testfläche, links
21	Nordwand, westliche Testfläche, rechts
22	Ost, Decke
23	Ost, Wand
24	West, Decke
25	West, Wand
26	Decke Nord

### 7.4.2 Ergebnisse

- Lebendkeimzahlen

Tabelle 19: Lebendkeimzahlen (CFU = colony forming units) pro Gramm Stroh

Probe Nr.	Schimmelpilze CFU/g MEA	xerophile Schimmelpilze CFU/g DG18
20	0	2000
21	0	0
22	18.000	37.000
23	0	1000
24	55.000	54.000
25	15.000	7000
26	9000	8000

- Identifizierungen

Tabelle 20: Identifizierung

Probe Nr.	Identifizierung
20	Penicillium chrysogenum
21	/
22	Alternaria sp. Cladosporium cladosporioides Cladosporium herbarum Cladosporium sphaerospermum Penicillium sp. weisses steriles Myzel
23	Alternaria sp.
24	Cladosporium cladosporioides Fusarium sp. Penicillium sp. weisses steriles Myzel
25	Alternaria sp. Cladosporium cladosporioides weisses steriles Myzel
26	Alternaria sp. Cladosporium herbarum Penicillium sp.

- Luftkeimzahlen

Tabelle 21: Luftkeimzahlen (CFU=Colonie Forming Units) pro m<sup>3</sup> Luft

Messpunkt	CFU/m3 MEA	CFU/m3 DG18	Identifizierung
Obergeschoss 1	50	30	Cladosporium cladosporioides Cladosporium herbarum Penicillium sp. steriles Myzel
Obergeschoss 2	30	60	Cladosporium cladosporioides Cladosporium herbarum Penicillium sp.
Erdgeschoss 1	80	70	Alternaria sp. Cladosporium cladosporioides Cladosporium herbarum Epicoccum nigrum
Erdgeschoss 2	220	230	Alternaria sp. Cladosporium cladosporioides Cladosporium herbarum Fusarium sp. Penicillium sp.
Außenluft Park- platz	950	1350	Alternaria sp. Cladosporium cladosporioides Cladosporium herbarum Epicoccum nigrum Fusarium sp. Penicillium sp.

## 7.5 Vergleichende Darstellung der Messergebnisse

Tabelle 22: Vergleich der Lebendkeimzahlen pro Gramm Stroh

Probeentnahmestelle*	10/2004		07/2005		09/2006		10/2007	
	CFU/MEA	CFU/DG18	CFU/MEA	CFU/DG18	CFU/MEA	CFU/DG18	CFU/MEA	CFU/DG18
Nordwand, Testbox links	6,5x10 <sup>4</sup>	3,1x10 <sup>4</sup>	1,3x10 <sup>4</sup>	2,4x10 <sup>4</sup>	0	1x10 <sup>3</sup>	0	2x10 <sup>3</sup>
Nordwand, Testbox rechts	n.d.	n.d.	2x10 <sup>4</sup>	4x10 <sup>5</sup>	0	1x10 <sup>3</sup>	0	0
Ost, Decke	n.d.	n.d.	4,6x10 <sup>4</sup>	1,7x10 <sup>5</sup>	0	4x10 <sup>4</sup>	1,8x10 <sup>4</sup>	3,7x10 <sup>4</sup>
Ost, Wand	1,6x10 <sup>6</sup>	2,3x10 <sup>6</sup>	1,1x10 <sup>4</sup>	5,6x10 <sup>4</sup>	0	0	0	1x10 <sup>3</sup>
Nordwand mitte	4,8x10 <sup>6</sup>	1,8x10 <sup>6</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nordwand östlich	4,7x10 <sup>5</sup>	1x10 <sup>5</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nordwand westlich	4,8x10 <sup>5</sup>	1,6x10 <sup>5</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
West Decke			9x10 <sup>4</sup>	3,3x10 <sup>5</sup>	100	1x10 <sup>3</sup>	5,5x10 <sup>4</sup>	5,4x10 <sup>4</sup>
West, Wand	1x10 <sup>6</sup>	0	2,6x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>5</sup>	1,7x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>5</sup>	1,5x10 <sup>4</sup>	7x10 <sup>3</sup>
freier Strohhallen	1,2x10 <sup>5</sup>	6,2x10 <sup>4</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

\*Im Oktober 2004 befand sich das Haus im Rohbau, es war noch kein Lehm auf die Strohhallen aufgebracht, so dass Bereiche für die Beprobung zugänglich waren, die in 2005-2007 nicht mehr beprobt werden konnten.

- Luftkeimzahlen: Vergleich 2005-2007

Tabelle 23: Vergleich der Luftkeimzahlen in den Jahren 2005 – 2007

Messpunkt	07/2005	09/2006		10/2007	
	CFU/m <sup>3</sup> MEA	CFU/m <sup>3</sup> MEA	CFU/m <sup>3</sup> DG18	CFU/m <sup>3</sup> MEA	CFU/m <sup>3</sup> DG18
Obergeschoss 1	520	380	520	50	30
Obergeschoss 2	n.d.	n.d.	n.d.	30	60
Erdgeschoss 1	3200	640	660	80	70
Erdgeschoss 2	n.d.	n.d.	n.d.	220	230
Außenluft Parkplatz	6940	1930	1590	950	1350

\*Im Jahr 2004 befand sich das Haus im offenen Zustand, so dass die Messung der Innenraumbelastung noch nicht möglich war.)

Die Koloniebildenden Einheiten bei den Luftkeimzahlen können immer nur im Vergleich zu den am jeweiligen Messtag vorhandenen Sporenzahlen in der Außenluft interpretiert werden, ein direkter Vergleich der Jahre untereinander ist daher nur bedingt möglich.

## 7.6 Gutachten

Sowohl das Artenspektrum der im Stroh gefundenen Arten wie auch die Keimzahlen der lebensfähigen Schimmelpilze sind mit den Ergebnissen des Jahres 2006 vergleichbar. Ein leichter Anstieg der Keimzahlen gegenüber dem Jahr 2006 kann damit erklärt werden, dass die Luftkeime im Außenbereich zum Zeitpunkt der Probennahme ebenfalls höher waren als im Jahr 2006. Die Probenahme erfolgt nicht steril und die Proben werden durch eine für die Außenluft und deren Sporeneintrag frei zugängliche Schicht gezogen, so dass es dabei zur Kontamination der Proben mit Luftsporen kommt.

**Insgesamt kann festgehalten werden, dass die im Jahr 2004 im Stroh vorhandenen hohen Keimzahlen ( $10^5$  bis  $10^6$  lebensfähige Schimmelpilze/g Stroh) im Laufe der Jahre 2004 bis 2007 erheblich (auf 0 bis 104 lebensfähige Schimmelpilze/g Stroh) zurückgegangen sind (siehe Tabelle 22). Die Ergebnisse zeigen, dass die Lebensbedingungen für die Schimmelpilze in der Strohdämmung ungünstig sind und während der letzten 3 Jahre zur Abnahme der lebensfähigen Sporen und Myzelien geführt haben.**

Für die Bewertung einer Sporenbelastung in Wohn- und Arbeitsräumen gibt es derzeit keine gesetzlichen Normen oder Grenzwerte. Der Grund dafür liegt unter anderem darin, dass die Keimzahlen im Innenraum eines Gebäudes von den Keimzahlen der Außenluft abhängen, die wiederum starken witterungsbedingten und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Die Bewertung der Innenraumbelastung erfolgt demnach immer im Vergleich mit der Außenluft<sup>1</sup>.

**Die Luftkeimzahlen im Inneren des Gebäudes liegen, wie auch im Vorjahr (Tabelle 23), weit unter denen der Außenluft und weisen keine Anzeichen für eine im Innenraum oder in der Gebäudehülle liegende Schimmelpilzquelle auf. Die Anzahl der Sporen im Innenraum ist als niedrig bis mittel einzustufen; es besteht daher keine Gesundheitsgefährdung.**

## 7.7 Zusammenfassung der mikrobiologische Begleitanalyse

In dem unbehandelten Stroh, das als Dämmmaterial am S-House verwendet wurde, kam es im Zeitraum 2004 bis 2007 zu einer erheblichen Abnahme der lebensfähigen Schimmelpilze, die natürlicherweise im Stroh vorhanden sind. Es konnte im Laufe der Messungen kein Hinweis darauf gefunden werden, dass es im Innenraum des Gebäudes zu einem durch das Dämmmaterial bedingten Anstieg der Schimmelpilzsporen kommt. Aus diesem Grunde kann das verwendete Dämmmaterial aus hygienischer Sicht als unbedenklich eingestuft werden.

---

<sup>1</sup> gemäß UBA (2005) Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2951.pdf>

Diese Beurteilung gilt vorbehaltlich eines eintretenden Wasserschadens, da eine Durchnässung des Dämmmaterials zu einem erneuten Anstieg der Schimmelpilze führen könnte.

## 8 Anhang

### 8.1 Fotodokumentation



Abb. 60: S-House Ansichten Errichtung



Abb. 61: S-House Ansichten (NO, O, SO)



Abb. 62: S-House Ansichten Dach



Abb. 63: S-House Ansichten (S, SW, N)



Abb. 64: S- House Ansichten Innen