

Niedrigenergiehäuser in Holzbauweise mit Nutzung der Holz-Sonne-Kopplung mit Holzpellets



Auftraggeber:	Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz
Auftragnehmer	Innovations- und Transferinstitut Bingen GmbH
Leiter:	Prof. Dr. Gunter Schaumann
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwanhäuser

Bingen, den 02. April 2001

.....
Dipl. Ing. (FH) J. Wirtz

.....
Dipl.-Ing. (FH) M. Schwanhäuser

.....
Prof. Dr. G. Schaumann

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Aufgabenstellung, Zielsetzung und Objektbeschreibung	3
3	Wärmebedarfsberechnung und Wärmeschutznachweis	4
4	Blower-Door-Messung	6
5	Thermografieuntersuchung	10
6	Betriebserfahrungen	20
7	Zusammenfassung	22
8	Anhang	24

2 Aufgabenstellung, Zielsetzung und Objektbeschreibung

Die Aufgabenstellung für das Pilotprojekt „Niedrigenergiehäuser in Holzbauweise mit Nutzung der Holz-Sonne-Kopplung mit Holzpellets“ war, den Nachweis zu erbringen, dass mit nachwachsenden Bau- und Dämmstoffen aus rheinland-pfälzischer Produktion, deren technische, energetische und baubiologische Eignung nachgewiesen werden kann.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung sind die Erkenntnisse zu den Fragen

1. Welche Energiekennwerte sind wirtschaftlich beim Bauen mit heimischen nachwachsenden Rohstoffen erreichbar?
2. Wie können regenerative Energien zur Deckung des Wärmebedarfs eingesetzt werden?
3. Welchen Anteil am Gesamtenergiebedarf kann die Solarthermie wirtschaftlich leisten?
4. Was leisten hochwärmegedämmte Außentüren und energieeffiziente Fenster im Hinblick auf den Dämmstandard?

in dem vorliegenden Bericht beantwortet. Der notwendige Nachweis für die technische Machbarkeit wird mit der Wärmebedarfsberechnung, einer Luftdichtigkeitsmessung und einer thermografischen Untersuchung erbracht. Die Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

3 Wärmebedarfsberechnung und Wärmeschutznachweis

Die Wärmeschutzverordnung zielt auf eine Begrenzung des Heizenergieverbrauches ab und definiert Anforderungen an die Begrenzung des Jahres-Heizwärmebedarfs von Gebäuden und an deren Dichtigkeit. Der Nachweis über die Einhaltung der genannten Anforderungen wird durch eine Wärmebedarfsberechnung geführt, deren Ergebnisse in einem Wärmeschutznachweis zusammengefasst dargestellt werden.

Bei Gebäuden mit normalen Innentemperaturen ist nachzuweisen, dass der vorhandene volumenbezogene Jahres-Heizwärmebedarf Q'_H oder der flächenbezogene Jahre-Heizwärmebedarf Q''_H kleiner bzw. gleich dem spezifischen zulässigen Jahres-Heizwärmebedarf (volumen- oder flächenbezogen) ist.

Der vorhandene Jahres-Heizwärmebedarf wird als eine Energiebilanz aus dem Transmissionswärmebedarf, dem Lüftungswärmebedarf sowie den internen und den solaren Gewinnen eines Gebäudes ermittelt. Die Brauchwarmwassergewinnung mittels einer Solaranlage gilt hierbei nicht als solarer Gewinn.

Die Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfes und die Aufstellung des Wärmeschutznachweises für das Haus der Familie Wagner wurde anhand der Gebäudeplanung des Architekturbüro Strobel von dem Ingenieurbüro Andreas Voigt durchgeführt.

Zur Bestimmung des Jahres-Heizwärmebedarfs wurden zunächst die relevanten Dach-, Wand-, Boden- und Fensterflächen ermittelt. Für diese Flächen wurde ein spezifischer k-Wert errechnet.

Wärmeübertragende Gebäudehülle	k-Wert [W/m²K]
Dachflächen	0,19
Außenwände	0,22
Kellerwände	0,34
Bodenplatten	0,33
Fensterflächen	1,14

Eine genaue Aufstellung des Aufbaus der Flächen ist im Anhang unter Wärmebedarfsberechnung und Wärmeschutznachweis zu finden.

Ergebnis der Wärmebedarfsberechnung

Das Haus muss den Anforderungen nach der gültigen Wärmeschutzverordnung von 1994 zur Begrenzung des Jahres-Heizwärmebedarfs genügen. Die Grenzwerte sind abhängig von dem A/V – Verhältnis festgelegt.

Das Gebäude der Familie Wagner hat eine wärmeübertragende Umfassungsfläche von $A = 409,72 \text{ m}^2$ und ein beheiztes Bauwerksvolumen von $813,09 \text{ m}^3$. Daraus ergibt sich ein A/V – Verhältnis, das heißt das Verhältnis der Oberfläche zu dem Gebäudevolumen von $0,50 \text{ 1/m}$.

Nach der Wärmeschutzverordnung muss für ein Gebäude mit diesem A/V-Verhältnis ein Wert von unter $22,5 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ bezogen auf das Volumen bzw. $70,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bezogen auf die Fläche eingehalten werden. Um den Niedrigenergiehausstandart zu erzielen müssen diese Werte um 25% unterschritten werden.

Für den Jahres-Heizenergiebedarf Q_H wurden insgesamt $12.194,18 \text{ kWh/a}$ ermittelt. Vergleicht man die spezifischen Kennwerte mit den rechnerisch ermittelten Werten kommt man zu dem Ergebnis, das der Niedrigenergiehausstandart eingehalten wird.

Jahres-Heizwärmebedarf	Wärmeschutz-Verordnung 1994	NEH-Standard	Berechneter Jahres-Heizwärmebedarf
$Q'_H [\text{kWh/m}^3\text{a}]$	22,55	16,91	15,00
$Q''_H [\text{kWh/m}^2\text{a}]$	70,46	52,85	46,84

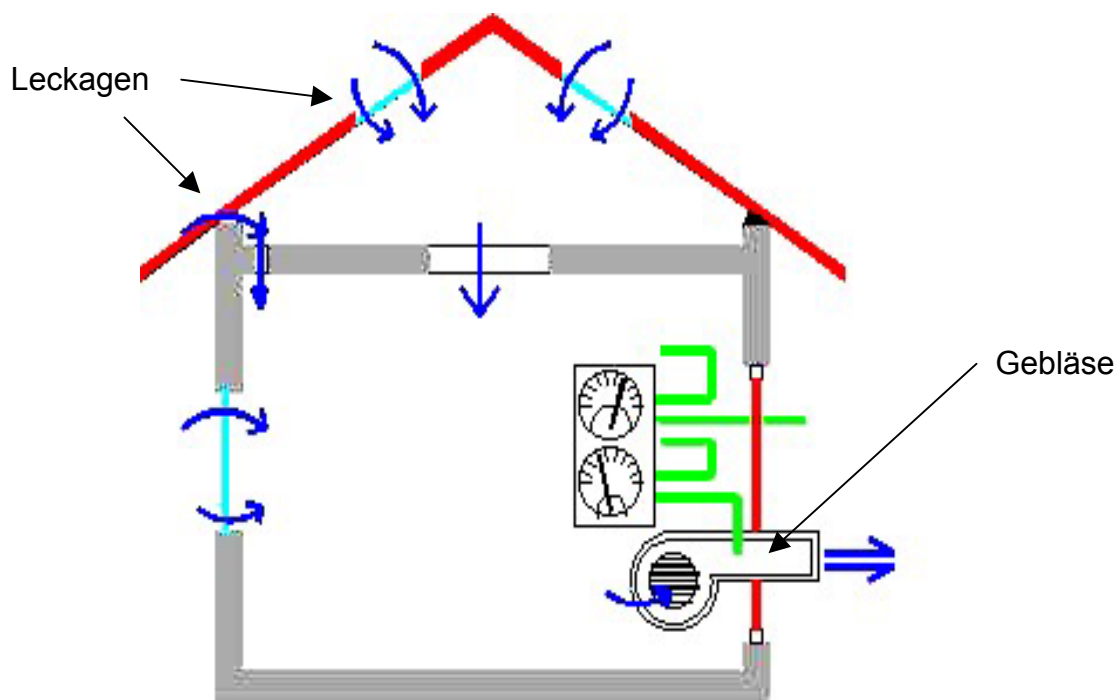
Mit dem gewählten Wandaufbau wird der Wert der Wärmeschutz-Verordnung 1994 um 33,5 % unterschritten.

4 Blower-Door-Messung

Durch die Messung der Luftdichtigkeit von Gebäuden, dem sogenannten "Blower-Door-Test" können Leakagestellen in der Gebäudehülle lokalisiert werden.

Die Ermittlung des nach DIN 4108 –7 einzuhaltenden Richtwertes war ebenfalls Inhalt der wissenschaftlichen Begleitung bei der Realisierung dieses Objektes.

Durchgeführt wird der „Blower-Door-Test“ mit Hilfe eines elektrischen Gebläses, welches im Regelfall anstelle der Eingangstür in den Türrahmen eingepasst wird. Das Gebläse erzeugt im Inneren des Gebäudes einen Über- oder Unterdruck, sodaß aufgrund der Druckdifferenz zwischen Innen und Außen an den Leckagen der Luftdichtigkeitshülle ein Luftzug verursacht wird. Der Luftzug kann von Luftgeschwindigkeitsmeßsonden gemessen oder durch künstlichen Nebel sichtbar gemacht werden. Die Leakagestellen können nun lokalisiert werden.



„Blower-Door-Messung“ (Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München)

Die Bestimmung der Luftdichtheit von Gebäuden erfolgt nach ISO 9972. Durch die Messung des von dem Gebläse geförderten Volumenstroms bei unterschiedlichen Druckdifferenzen zwischen Innen und Außen wird die Luftwechselzahl n_{50} ermittelt.

Nach DIN V 4108 Teil 7 und der Wärmeschutzverordnung darf die Luftwechselzahl bei Gebäuden ohne Lüftungsanlagen den Kennwert 3 und bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen den Kennwert 1,5 nicht überschreiten.

Messung am Gebäude Wagner

Bei dem Wohngebäude der Familie Wagner wurde am 22. Mai 2000 eine Blower-Door-Messung in der oben beschriebenen Art durchgeführt.

Bei dem Gebäude ist der folgende Wandaufbau für die Messung relevant. Die Außenhülle besteht aus einem Holzständerwerk welches mit einer Hanfdämmung ausgefacht ist. Die Luftdichtigkeitsebene der Wände besteht aus zwei Lagen Pappe. Im Dachbereich ist innen eine Dampfbremsfolie als Luftdichtigkeitsebene angebracht. Die Messung wurde in dem folgend beschriebenen Bauzustand durchgeführt. Die innere Bekleidung aus Gipsfaserplatten war zum größten Teil angebracht. Im Kellerbereich waren die Porotonwände, bis auf den Treppenhausbereich zum Nachbarhaus, verputzt.

Die Haustür (wurde zur Messung entfernt) sowie die Dachfenster waren eingebaut.



Haustür Wagner



„Blower-Door“

Relevantes Luftvolumen: 665 +/-10 m³

Meßbedingungen:	Innentemperatur	15°C
	Außentemperatur	15°C

Meßbereich	Differenzdruck	50 Pa
------------	----------------	-------

Messung 1 (Unterdruck)

Volumenstrom:	2198	+/- 121	m ³ /h
Luftwechselzahl n50	3.30	+/- 0,19	1/h
Eff. Leakagefläche:	1099	+/- 60	cm ²

Messung 2 (Überdruck)

Volumenstrom:	2060	+/- 116	m ³ /h
Luftwechselzahl n50	3.10	+/- 0,18	1/h
Eff. Leakagefläche:	1030	+/- 58	cm ²

Ergebniss: Der Richtwert nach DIN 4108 – 7 von n₅₀ kleiner 3,0 1/h für Gebäude ohne Lüftungsanlage ist **nicht** eingehalten.

Interpretation:

Nach DIN V 4108 und der Wärmeschutzverordnung § 4 darf der Luftwechsel bei Gebäuden ohne Lüftungsanlage den Kennwert von 3,0 1/h nicht überschreiten. Nach den ermittelten Meßwerten (3,3 und 3,1) konnte die geforderte Gebäudedichtheit nicht erreicht werden.

Als Undichtigkeitsstellen konnten unterschiedliche Bereiche lokalisiert werden. Insbesondere im Bereich der Systemverbindungs Löcher in der Nähe der Fenster sowie dem Fensterunterbau und dem Anschluß an die Wandelemente sind Undichtigkeiten erkennbar. Daraufhin wurde die Bauweise der Anschlußstücke optimiert und diese Schwachstellen behoben.



Anbindung der Fenster an die Wandelemente

Im Wandbereich sind Undichtigkeiten bei der Wellpappe-Schalung und der Eckenkonstruktion aufgetreten. Eine weitere wesentliche Verlustquelle ist die Stoßfuge zwischen der Holzkonstruktion und den Kellerwänden.



Eckkonstruktion des Holzrahmenbauweise

Neben den erwähnten Undichtigkeitsstellen an den Fenster, den Ecken und der Stoßfuge wurde ein wesentlicher Anteil der Undichtigkeit durch die noch unverputzte Wand im Bereich des Kelleraufganges verursacht.

Durch Optimierung der konstruktiven Schwachpunkte, die durch den Blower-Door-Test erkannt wurden und Fertigstellung der Putzhaut wurde die notwendige Luftdichtigkeit erreicht und die vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten.

Durch den Blower-Door-Test wurden in einer frühen Bauphase verschiedene Schwachstellen erkannt und beseitigt. Darüberhinaus konnte festgestellt werden das mit der Holzrahmenbauweise die geforderten Grenzwerte zur Luftdichtigkeit eingehalten werden können.

5 Thermografieuntersuchung

Die thermografische Untersuchung, bei welcher Orte mit erhöhten Wärmeverlusten sichtbar gemacht werden können, erfolgt nach „Inbetriebnahme“ des Gebäudes.

Bei dem Objekt handelt es sich um ein Reihenhaus mit drei Einheiten von denen zum Zeitpunkt der Messung zwei Häuser bewohnt sind.

Messtag: 16. Februar 2001

Messbedingungen: Außentemperatur -2°C
Räume beheizt (teilweise)
Windstill
kein Niederschlag

Messzeit: 7:00 Uhr - 8:00 Uhr

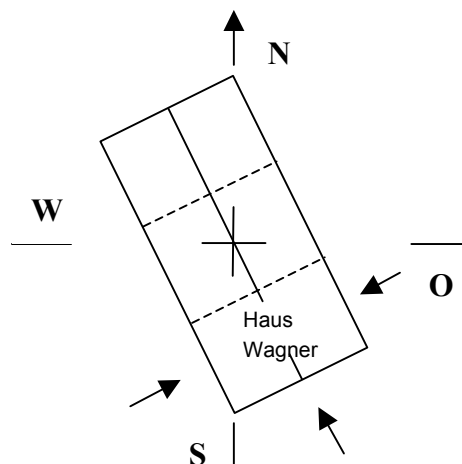
Parallel zu den Aufnahmen mit einer Thermografiekamera wurden Aufnahmen mit einer Digitalkamera angefertigt.

Die Detailaufnahmen sind mit Pfeilen ($\longrightarrow$) und einem roten Rahmen ($\square$) markiert und nummeriert. Entsprechende Erläuterungen finden sich unmittelbar unter den Abbildungen.

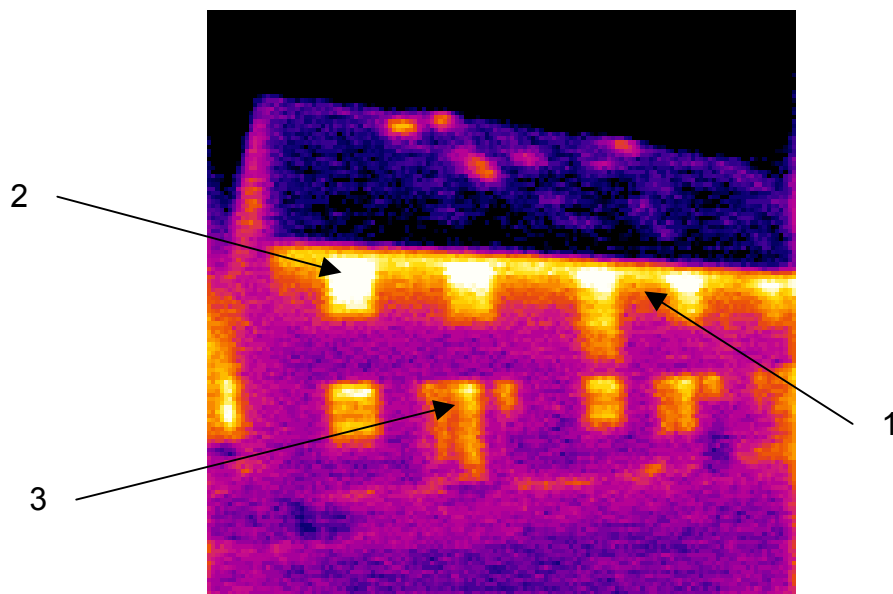
Der Giebel der Häuser verläuft von Nord-West nach Süd-Ost (siehe Lageplan). Auf der nach Süd – West ausgerichteten Dachseite sind thermische Solarkollektoren installiert.

Die Aufnahmen wurden von der nordöstlichen Seite (Eingangsbereich), der südöstlichen Seite (Giebelseite Wagner) und der südwestlichen Seite (Garten) gemacht.

Lageplan (nicht maßstabgetreu)



Gesamtansicht von Nord – Ost



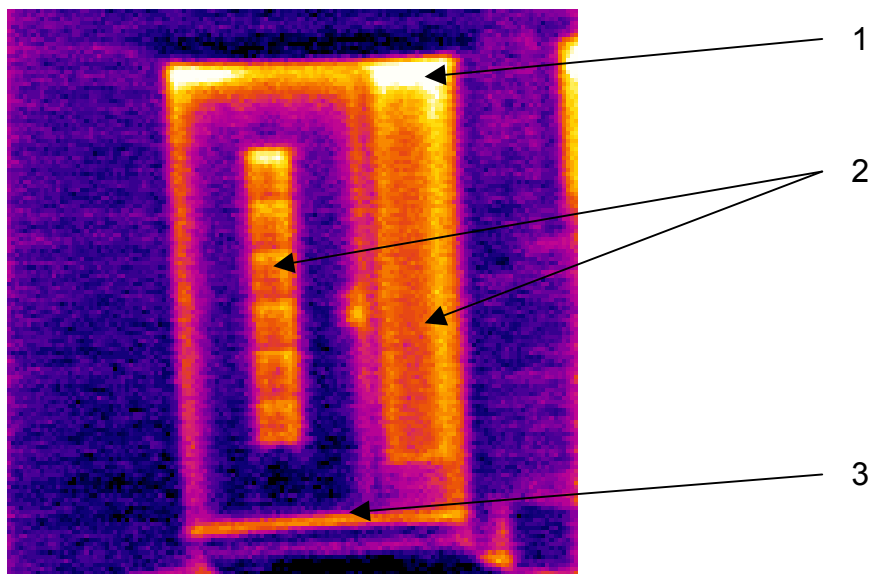
In der Gesamtansicht sind zahlreiche Erwärmungen zu erkennen die in Detailaufnahmen spezifiziert werden. Hier schon gut erkenntlich ist der Wärmestau unter dem Dachüberhang (1) der nicht zu vermeiden ist und keinen Hinweis auf eventuelle Mängel gibt, sowie die Abstrahlung der Fenster (2) und Türen (3).

Detailansicht der Eingangstür



Zu sehen ist die Eingangstür des Hauses von Familie Wagner.

Auf den Thermogrammen ist zu erkennen, daß sich im Bereich des Türstock (1) die Wärme staut. Wärmebrücken werden durch die Verglasung in der Tür (2) und am rechten Rand (2) verursacht. Im unteren Bereich der Tür (3) ist ebenfalls eine wärmere Zone zu erkennen.



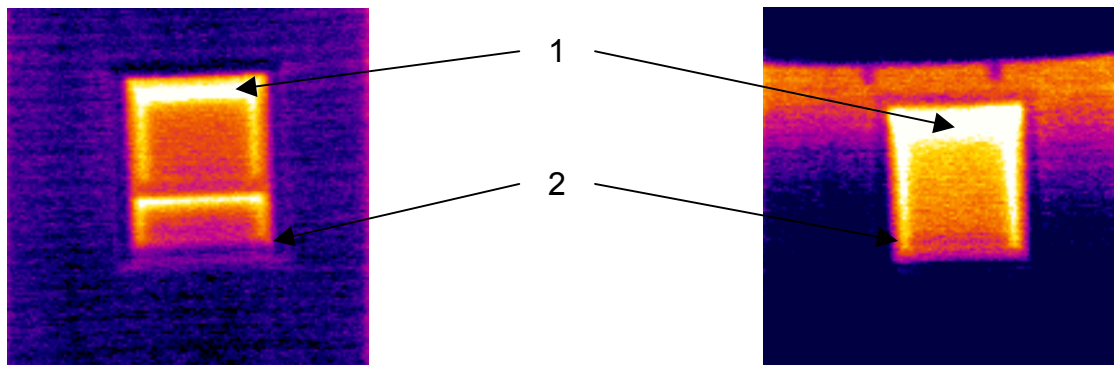
Detailansicht der Fenster



Von einigen Fenstern wurden Detailaufnahmen gemacht um die Qualität des Einbaus und der Fenster selbst zu überprüfen. In der Gesamtansicht sind die Fenster entsprechend markiert.

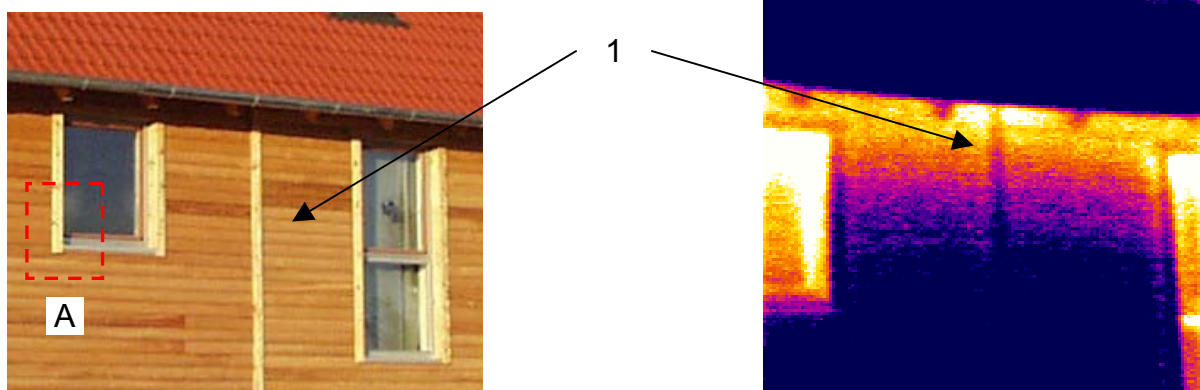
Fenster A

Fenster B



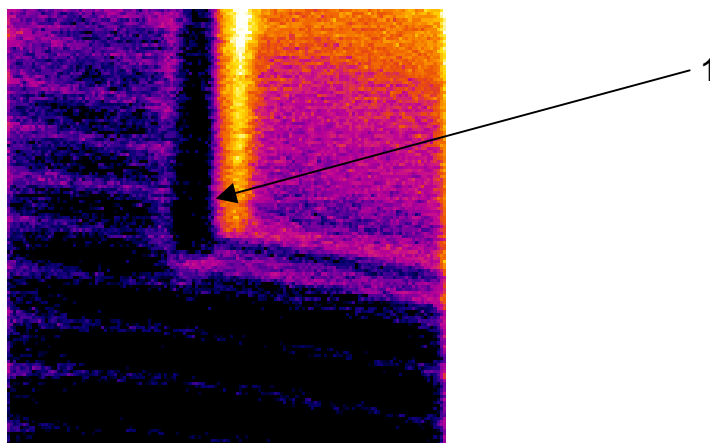
Bei beiden Fenstern ist lediglich im oberen Bereich ein Wärmestau (1) zu erkennen der wiederum nicht zu vermeiden ist. Die Fensterrahmen (2) weisen keine ungewöhnlichen Wärmebrücken auf.

Detailansicht der Fenster/Gebäudetrennfuge



Zu sehen ist ein Ausschnitt aus der Nord-Ost Fassade. Die Gebäudetrennfuge (1) ist als dunkle Linie gut zu erkennen. Dieser Bereich ist kälter als die übrige Fassade. Der rechts und links von der Fuge liegende hellere Teil unterhalb der Traufe ist wahrscheinlich auf geringfügige Mängel bei der Ausführung der Wärmedämmung in diesem Bereich zwischen den Gebäuden zurückzuführen.

Der Ausschnitt A zeigt die untere Kante des Fensters. Gut zu erkennen ist die außen liegende doppelte Holzverschalung (1) die dunkler d.h. kälter dargestellt ist. Eine Wärmeübertragung durch den Fensterrahmen ist nur in sehr geringem Maße zu erkennen.

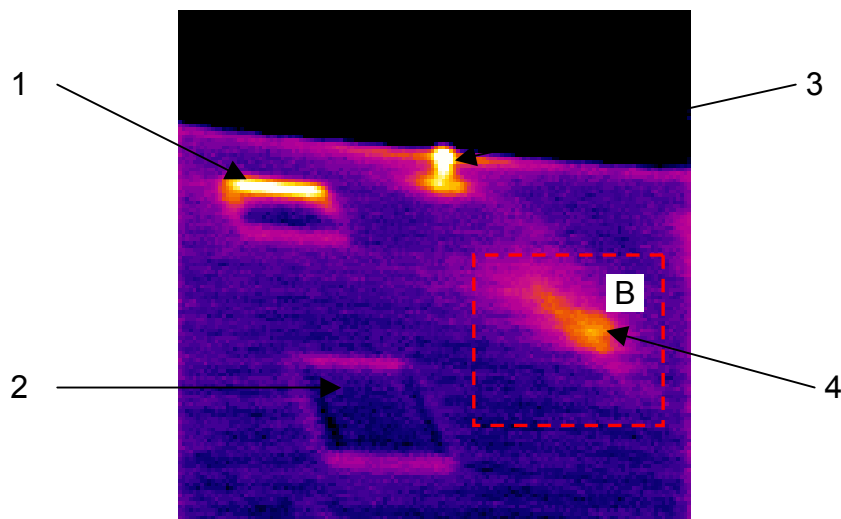


Ausschnitt A

Detailansicht des Nord-Ost Daches



Aus dem oben gekennzeichneten Ausschnitt A wurde ein Detail fokussiert, das gegenüber der umliegenden Dachfläche eine höhere Temperatur aufweist.

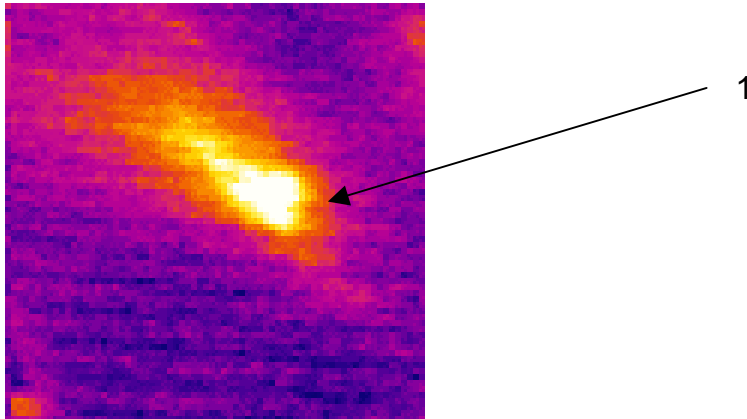


Ausschnitt A

Auf dem Ausschnitt A sind die Dachfenster eines beheizten (1) und eines unbeheizten (2) Wohnraumes zu erkennen. Ebenfalls gut zu erkennen ist das Entlüftungsröhr des Abwassersystems (3) sowie eine unspezifische Erwärmung (4) deren Ursache zunächst nicht erkenntlich ist. Diese Fläche B wurde nochmals fokussiert dargestellt.

Detailansicht des Nord-Ost Daches / Ausschnitt B

Zu sehen ist eine punktuelle Wärmequelle (1) unterhalb der Dachhaut.



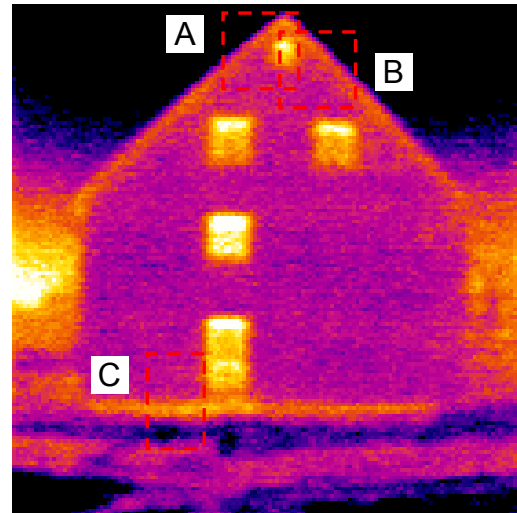
Ausschnitt B

Bei der genauere Untersuchung der punktuellen Wärmequelle kann festgestellt werden, dass der Temperaturunterschied zu der übrigen Dachfläche und dem Wärmepunkt zwischen 5 und 8 Kelvin liegt. Bei der Bewertung der Ursachen ist anzumerken, dass dieser Bereich auf der Gebäudetrennwand liegt. Daraus können die folgenden Schadensursachen resultieren.

- A) Die Winddichtfolie unter der Dachhaut ist mangelhaft verlegt
- B) Die Ausfertigung der Dämmung zwischen der Gebäudetrennwand und der Dachisolierung weist Mängel auf

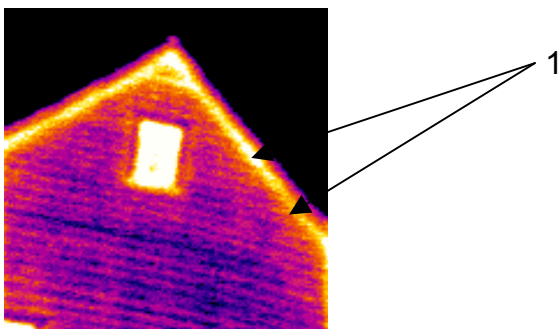
Im Zuge der Ergebnissauswertung der Thermografiuntersuchung wird geprüft, inwieweit an diesen Stellen noch Nachbesserungen der Wärmedämmung möglich sind.

Detailansicht der Süd-Ost Fassade



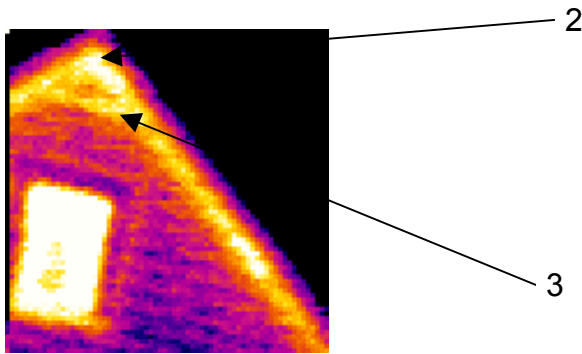
Aus der Gesamtansicht wurden zwei Ausschnitte herausgenommen die gesondert untersucht werden sollten. Der Ausschnitt A zeigt den Ortgang der Süd-Ost Fassade. Deutlich zu erkennen sind die wärmeren Zonen bei dem Übergang zur Fassade. Im Giebelbereich B unterhalb der Pfette sind ebenfalls Zonen höherer Temperatur zu erkennen. Der Übergang vom Keller zum Wandaufbau C wird ebenfalls in einer Detailaufnahme genauer untersucht.

Der Ausschnitt A zeigt deutlich eine ungleichmäßige (1) Zone höher Temperaturen am Übergang vom Dach zur Fassade. Verursacht werden kann dies durch fehlerhaftes Aufbringen der Wärmedämmung bzw. Luftdichfolie. Eine weitere Ursache für diese Bild ist, dass durch die unterschiedlichen Materialien (Holzfassade, Dachziegeleindeckung) aufgrund des unterschiedlichen Abstrahlverhaltens eine derartige Darstellung verursacht wird.



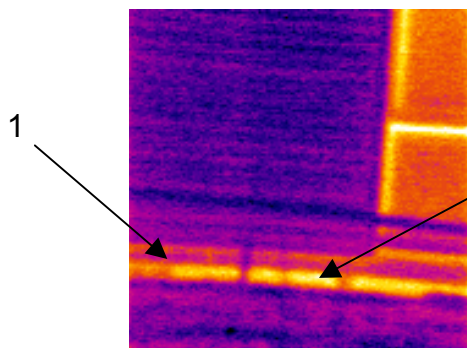
Ausschnitt A

Im Bereich des Giebel (2) ist ein deutlicher Wärmestau zu erkennen. Unklar ist wodurch die waagrecht verlaufende Zone (3) höher Temperatur verursacht wird. Mögliche Ursache könnte eine in diesem Bereich verlaufende abgehängte Decke sein.



Ausschnitt B

Im Bereich des Überganges von Keller zum Erdgeschoss (1) ist über die gesamte Breite eine Zone höher Temperatur zu erkennen. Insbesondere im Bereich des Kelleraufganges (4) ist ein größerer Bereich mit höheren Temperaturen erkenntlich.



Ausschnitt C

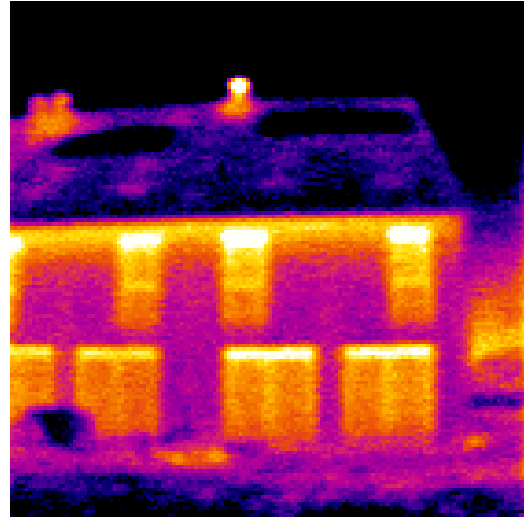


Kelleraufgang

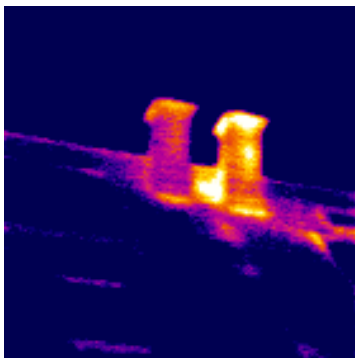
Bei der Beurteilung ist wiederum zu bedenken das die materialabhängige Abstrahlung in die Auswertung einzubeziehen ist.

Abhilfe schafft in diesem Bereich die Verschalung und zusätzliche Wärmedämmung des Kelleraufganges oder der Einsatz von Wärmedämmputz.

Detailansicht der Süd – West Fassade



Auf der Gesamtansicht vom Garten ist zu erkennen, dass der Pelletofen von Herrn Wagner in Betrieb ist bzw. war, erkennbar an dem hellen Punkt auf dem Dachfirst. Die zwei dunklen Flächen auf dem Dach werden durch die Solaranlagen verursacht. Der Betrieb des Pelletofens und die dadurch verursachte Abstrahlung ist anhand des folgenden Detailbildes gut zu erkennen.



Fazit der Thermografieuntersuchung

Die auf der Nord-Ost Seite des Daches aufgefundene Fläche höher Temperatur ist auffällig. Die Ursache für diese Fläche ist nicht eindeutig feststellbar. In einer weiteren Ortsbegehung sollte möglichen Quellen nachgegangen werden. Die Aufnahmen von der Süd-Östlichen Hausseite zeigen im Außenbereich eine erhöhte Wärmeabgabe der Boden – bzw. Deckenplatten. Insbesondere im Bereich des Kelleraufganges ist ein größerer Wärmeverlust erkennbar. Hier sind geeignete Maßnahmen (Auftrag von Putz) zu ergreifen.

6 Betriebserfahrungen

Das Wohnhaus der Familie Wagner ist mit Messtechnik ausgestattet um den Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser und die Energiegewinne durch die Solaranlage und dem Pelletofen zu ermitteln. Das Haus wurde im August 2000 „in Betrieb genommen“ und seit dieser Zeit messtechnisch erfasst.

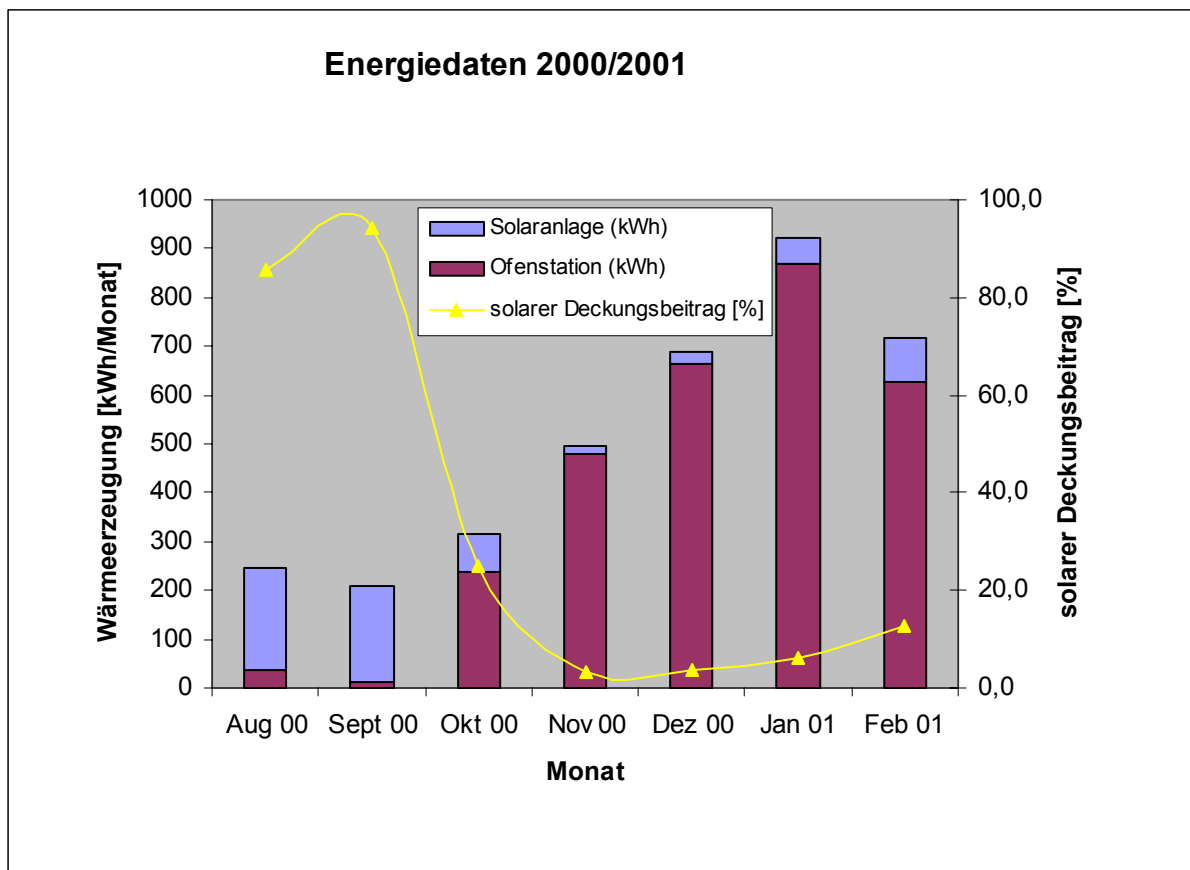
Gemessen wurde der Energiegewinn durch die Solaranlage und den Pelletofen in kWh sowie der Verbrauch an Warmwasser in m³, der Stromverbrauch in kWh und der Pelletverbrauch in kg. In der Tabelle dargestellt sind lediglich die Werte für die Solaranlage und die Ofenstation aus denen sich der solare Deckungsgrad der Anlage errechnet. Der Verbrauch an Holzpellets kann erst nach Ende der Heizperiode ermittelt werden. Der Stromverbrauch und der Warmwasserverbrauch sind individuell und gehen zunächst nicht in die energetische Bilanz ein.

Messstelle	Aug 00	Sept 00	Okt 00	Nov 00	Dez 00	Jan 00	Feb 00
Solaranlage [kWh]	209,8	196,3	79,0	16,7	25,0	55,3	90,4
Ofenstation [kWh]	35	12	236	480	664	868	626
solarer Deckungsgrad	85,7	94,2	25,1	3,4	3,6	6,0	12,6

Tab.: Zusammenstellung der von August 2000 bis Februar 2001 erfassten Betriebsdaten

Eine ausführliche Erhebung der Verbrauchsdaten erfolgt nach Ende der zweiten Heizperiode. Erst danach kann der tatsächliche Jahres-Heizenergiebedarf mit den theoretisch ermittelten Werten verglichen werden.

In der grafischen Darstellung ist bereits während der ersten Heizperiode die Aufteilung der Energieversorgung zwischen der Solaranlage und dem Pelletofen am solaren Deckungsgrad gut zu erkennen.



Der Pelletofen zur Beheizung des Wohnhauses wurde erst im Oktober mit wesentlichen Beiträgen zur Wärmeerzeugung zugeschaltet, nachdem im September noch 94,2 % des Wärmebedarfs über die Solaranlage gedeckt werden konnten. Im Oktober konnte die Solaranlage immer noch ein Drittel des Wärmebedarfs erzeugen. Bereits im Februar ist der Anteil der solar erzeugten Nutzwärme auf 12,6 % gestiegen.

Die Holz-Sonne-Kopplung mit Holzpelletofen und Solaranlage konnte schon in der ersten Heizperiode erkennen lassen, das sich das System für den Einsatz in einem Niedrigenergiehaus sehr gut eignet.

7 Zusammenfassung

Das Pilotprojekt „Niedrigenergiehäuser in Holzbauweise mit Nutzung der Holz-Sonne-Kopplung mit Holzpellets“ sollen die Fragestellungen geklärt werden welche Energiekennwerte mit heimischen nachwachsenden Rohstoffen erreichbar sind, inwiefern regenerative Energiequellen zur Deckung des Wärmebedarfs eingesetzt werden können und welcher Anteil des Energiebedarfs durch die Solarenergie wirtschaftlich erbracht werden kann.

Das Objekt hat einen errechneten **Jahres-Heizenergiebedarf** von **12.194,18 kWh/a**. Daraus läßt sich ein Kennwert von **46,87 kWh/m²a** ableiten. Mit hochwärme-gedämmte Außentüren und energieeffiziente Fenster, die bei diesem Projekt notwendig sind, kann der geforderten Dämmstandards eines Niedrigenergiehauses um **11,3 %** unterschritten werden. Die Forderungen der Wärmeschutzverordnung werden um insgesamt **33,5 %** unterschritten.

Zentrale Fragestellung war, ob ein Wohnhaus welchen nach den oben genannten Gesichtspunkten erbaut worden ist mit einem Heizsystem basierend auf Holzpellets als Brennstoff und einer Solaranlage zur Heizungsunterstützung und Brauchwarmwasserbereitung eingesetzt werden kann. Anhand dieses Projektes konnte gezeigt werden, das die Holz-Sonne-Kopplung („100% Energie aus der Sonne“) technisch realisierbar ist und als Vorbild für die Wärmeerzeugung auf Basis der regenerativer Energien Holzpellets und Sonne dienen kann. Bereits während der ersten Heizperiode konnte ein **solarer Deckungsbeitrag** von über **94 %** noch im September erzielt werden.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Projektes wurde während der Bauphase eine Blower-Door-Messung (siehe Kapitel 4) durchgeführt. Anhand der Messung konnten verschiedenen Schwachstellen (Fensterleibung, Stoßfuge) erkannt und ausgebessert werden. Durch die Erkenntnisse aus der Blower-Door-Messung konnten konstruktive Verbesserungen umgesetzt werden, die insbesondere auch in zukünftigen Projekten Verwendung finden. Nach Abschluß der Verbesserungsmaßnahmen lag die **Luftwechselzahl** unter dem geforderten Kennwert von **3,0 1/h**.

Die thermografische Untersuchung, bei welcher Orte mit erhöhten Wärmeverlusten sichtbargemacht werden können, ließ keine gravierenden Mängel am Gebäude erkennen. Lediglich die in Kapitel 5 Thermografieuntersuchung erläuterte Schwachstelle im Dach bedarf einiger Aufmerksamkeit.

Die Auswertung der Verbrauchswerte der ersten Heizperiode unterstreicht die Funktionsfähigkeit des Systems „Niedrigenergiehäuser in Holzbauweise mit Nutzung der Holz-Sonne-Kopplung mit Holzpellets“. Der Pelletofen musste erst, aufgrund des guten Wärmedämmstandards, im Oktober mit wesentlichen Beiträgen zur Wärmeversorgung hinzugeschaltet werden und auch die Solaranlage trug während diesen Monats mit 25,1 % solarem Deckungsgrad noch wesentlich zur Energieversorgung des Hauses bei.

In der nun folgenden Dokumentation der Verbrauchswerte über zwei Heizperioden werden die theoretisch ermittelten Energiekennwerte überprüft. Bereits vor dem Ende der ersten Heizperiode bestätigt das Pilotprojekt die Tauglichkeit der „Holz-Sonne-Kopplung“ zur Vollversorgung des Niedrigenergiehauses.

8 Anhang

1. Bilddokumentation
2. Ergebnisbericht der Luftdurchlässigkeitsmessung
3. Daten zur Wärmebedarfsberechnung
4. Messwerte 2000 / 2001