

Erstellung eines optimierten Sanierungskonzeptes Forsthaus Gierscheid



Auftraggeber Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz
Abt. D - Arbeitswirtschaft u. Forstnutzung
Schloss
67705 Trippstadt

Auftragnehmer Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH
Leiter: Prof. Dr. Gunter Schaumann
Bearbeiter/in: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
Andrea Wild

Bingen, den 19. Februar 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	IST-Zustand	4
2.1	Allgemeine Daten	4
2.2	Blower-Door-Messung	12
2.3	Gebäudethermografie	18
3	Wärmedämmstandard	24
3.1	Unterscheidungsmerkmale WSVO 1995 / EnEV 2002	24
3.2	Wärmebedarfsberechnung IST-Zustand	25
3.3	Einsparpotential durch neuen Wärmedämmstandard	28
3.4	Ermittlung des Primärenergiebedarfes	39
3.5	Nachweis Tauwasserschutz nach DIN 4108 Teil 3	41
4	Holz-Sonne-Kopplung	43
4.1	Solare Brauchwarmwassererwärmung	43
4.2	Solares Brauchwarmwassererwärmung und Heizungsunterstützung	44
4.3	Variantenvergleich	44
5	Stromeinsparpotential	48
5.1	Vorschläge zur Verbesserung des Strom- bzw. Energieverbrauches	48
5.2	Wirtschaftlichkeit	49
6	Photovoltaik	50
7	Fördermöglichkeiten	51
7.1	Dämmung	51
7.2	100.000-Dächer-Programm	51
7.3	Erneuerbaren-Energie-Gesetz (EEG)	52
7.4	Erneuerbare Energien	52
8	Zusammenfassung	53

1 Einleitung

Das Thema dieser Arbeit ist die Erstellung eines optimierten Sanierungskonzeptes für das Forsthaus Gierscheid, das im Rahmen des Modellprojektes LBB/MUF „Energieeinsparpotentiale in Landesliegenschaften“ ausgewählt wurde.

Ziel der Untersuchungen ist es, im ersten Schritt Sanierungsmaßnahmen unter Einsatz verschiedener Dämmstoffe (z.B. Holzfaserdämmplatten, Styropor, Neopor, Vakuumdämmplatten) sowie der Austausch der Fenster mit unterschiedlichen U-Werten darzustellen und zu bewerten. Ebenso werden Vorschläge zur Stromeinsparung erarbeitet.

Im zweiten Schritt erfolgt die Bewertung der Realisierungsmöglichkeiten der Holz-Sonne-Kopplung unter der Prämisse Vakuumröhren- oder Flachkollektoren zur Wärmeversorgung des Forsthauses Gierscheid einzusetzen. Ebenso werden die Realisierungsmöglichkeiten von Fotovoltaik bewertet. Außerdem wird eine orientierende Bewertung der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung vorgenommen.

Bei einer Ortsbegehung werden die Daten für den Ist-Zustand erhoben. Zur Bewertung der Bausubstanz des Ist-Zustandes wird eine Thermografie- und eine Luftdichtigkeitsmessung (Blower-Door-Messung) durchgeführt.

Als Grundlage für die Erstellung des Sanierungskonzeptes wird eine Wärmebedarfsberechnung für den Ist-Zustand erstellt. Hierauf aufbauend werden dann die Energieeinsparungen der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen berechnet.

Für eine wirtschaftliche Bewertung der jeweiligen Maßnahmen werden die Investitionskosten ermittelt und den Energieeinsparungen gegenübergestellt. Anhand der spezifischen Investitionskosten bezogen auf die Energieeinsparungen ergibt sich dann ein Maßnahmenkatalog, nach dem das optimierte Sanierungskonzept zusammengestellt wird.

Anhand der Jahresstromabrechnung und der aufgenommenen Daten der Stromverbraucher wird das Stromeinsparpotential ermittelt. Für die Stromeinsparmaßnahmen werden die Investitionskosten abgeschätzt und den Stromeinsparungen gegenübergestellt.

Die Bewertung der Realisierungsmöglichkeiten der Holz-Sonne-Kopplung erfolgt aufbauend auf der Ermittlung der Datengrundlage. Es werden die technischen Möglichkeiten zum Einsatz der zwei in Frage kommenden Technologien zur Solarenergienutzung (Vakuumröhren- und Flachkollektor) geprüft und eine wirtschaftliche Beurteilung der beiden Varianten vorgenommen.

Im Rahmen dieses Energiekonzeptes werden ebenfalls die Einsatzmöglichkeiten der Fotovoltaik geprüft und die Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) bewertet.

2 IST-Zustand

Am 11.09.2002 fand eine Ortsbegehung statt an der Herr FAM Brenk (Bewohner), Frau Andrea Wild (Diplomandin) und Dipl.Ing.(FH) Jörg Wirtz teilnahmen.

2.1 Allgemeine Daten

- 550 m NN
- freier Standort
- von 1989 bis 2001 von 5 Personen bewohnt
ab 2001 als 2-Personenhaushalt geführt
- bei Gewittern des öfteren Stromausfall
- eigene Wasserversorgung
- Klärgrube / Pflanzenkläranlage



Abbildung 2.1 Gesamtansicht von Süden auf Forsthaus und Wirtschaftsgebäude

2.1.1 Gebäudebestand

- Forstdienstgebäude, Baujahr 1950, Teilrenovierung 1981
(Einzug der Fam. Brenk 1989)
- Nebengebäude mit Werkstatt, Aufenthaltsraum für Azubis u. Kühlkammer
- Stallgebäude mit Lagerplatz für Scheitholz

2.1.2 Heizölverbrauch / Heizöllagerung

- Heizperiode von September bis Juli
- Heizölverbrauch ca. 2.000 l/a (Angabe Herr Brenk)
- 4 x 1.600 l Öltanks
- Heizölkessel, Baujahr 1981 → Regelung defekt

2.1.3 Holzverbrauch / Holzlagerung

- Heizperiode September – Juli
- neue Holzvergaserkessel, Baujahr 2002
- Holzverbrauch ca. 20 rm/a (Angabe Herr Brenk)
10 rm/a Buche / Eiche
10 rm/a Nadelholz
- Holzlagerung im Stallgebäude bzw. zum sofortigen Verbrennen im Keller-
raum, indem Holzvergaserkessel steht
- neuer Pufferspeicher (800 l) , Baujahr 2002

2.1.4 Kamin

- neuer Kamin für Ölheizung
- offener Kamin im Wohnzimmer – seltene Nutzung (ca. 3x im Jahr)
- Kaminanschluss in Küche stillgelegt, Kamin bis Obergeschoss abgerissen,
in Kaminöffnung Anschluss der Dunstabzugshaube gelegt
- Kaminanschluss im WC, sowie im Wohnzimmer im Dachgeschoss zusam-
mengeführt
- Kaminanschluss in der Küche und zum Wohnzimmer hin im Dachgeschoss
zusammengeführt



Abbildung 2.2 Schornsteinanordnung Süd-West Dach

2.1.5 Wassererwärmung

Das Forsthaus besitzt eine zentrale Warmwasserbereitung mit einem Warmwasserbereiter von 110 l, der nachträglich 1990 von Förster Brenk eingebaut wurde. Es ist möglich, den Warmwasserbereiter nachträglich mit einer E-Patrone nachzurüsten.

Zusätzlich verfügen die Küche sowie das Bad über Durchlauferhitzer, die bereits vor der zentralen Warmwasserbereitung installiert wurden. Förster Brenk benutzt die Durchlauferhitzer hauptsächlich im Sommer, wenn die Heizung ausgeschaltet ist.

2.1.6 Wasseraufbereitung

Da das Forsthaus nicht ans öffentliche Versorgungsnetz angeschlossen ist, besitzt das Haus eine Wasseraufbereitung der Fa. Grünbeck des Typs TB 531682. Die Tanks mit dem Zubehör stehen im Heizraum, indem der Heizölkessel aufgestellt ist. Die Kiesfilteranlage ist vom Typ FH 40/17.

Bei Stromausfall ist es nicht möglich, die Toilette aufzusuchen, da die Wasseraufbereitung durch eine Pumpe in Betrieb gehalten wird. Durch den Stromausfall kann die Pumpe nicht arbeiten, und somit das Wasser nicht verteilt bzw. umgewälzt werden.

Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, eine Notstromversorgung durch z.B. ein Dieselaggregat herzustellen, damit die sanitären Anlagen auch bei Stromausfall funktionieren.

2.1.7 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch der Fam. Brenk lag bis Mai 2001 bei 6.250 kWh/a. Ab Mai 2001 ist der Stromverbrauch auf 4.550 kWh/a zurückgegangen. Das liegt daran, dass bis zum Mai 2001 die Familie Brenk mit 5 Personen im Forsthaus bewohnten und ab diesem Datum nur noch mit 2 Personen, damit sinkt der Stromverbrauch um ca. ein Drittel.

Wie bei beim Punkt Wasseraufbereitung erwähnt, gibt es keine Notstromversorgung bei Stromausfall. Förster Brenk gibt an, dass bei heftigem Gewitter es des öfteren schon vorgekommen ist, dass der Strom ausgefallen ist.

2.1.8 Klärgrube

Das Forsthaus ist nicht an den öffentlichen Kanal angeschlossen und verfügt über eine Klärgrube mit angeschlossener Pflanzenkläranlage, die sich neben dem Wirtschaftsgebäude befindet.

Die Exkremte, die in Säcken aufgefangen werden, werden 1x im Jahr abgeholt. Es fallen pro Jahr 2 Sack Exkremte an. Auch ist in der Klärgrube eine Tauchpumpe installiert.

2.1.9 WC-Anlage

Im Haus gibt es 2 Toiletten, eine befindet sich im Badezimmer, die andere in einem separaten WC. Beide Toiletten besitzen eine Kurzspültaste, die von den Bewohnern des Hauses bei jeder Spülung benutzt werden.

2.1.10 Werkstatt

Die Werkstatt des Försters, die sich im angrenzenden Wirtschaftsgebäude befindet, ist mit einer Kühlkammer, die ein Fassungsvermögen von 10 Rehen hat, einem Doppelschleifer und einer Hebevorrichtung, ausgestattet.

Die Waldarbeiter, sowie die Auszubildenden arbeiten in der Werkstatt. Neben dem Werkstattraum befindet sich auch noch ein Aufenthaltsraum, der von den Auszubildenden für Fortbildungsmaßnahmen und zum Aufenthalt genutzt wird.

2.1.11 Innenausbau

Zum Innenausbau ist zu sagen, dass alle Wohnräume mit Holzfußboden ausgestattet sind, die Küche, Bäder sowie der Flur sind gefliest.

Der Holzfußboden im Wohnzimmer wurde auf einer 10cm Schüttung verlegt.

Die Geschosdecke im Obergeschoss wurde mit 10 cm Glaswolle nachträglich gedämmt und mit Holzbohlen begehrbar gemacht.

Die Dachschrägen im Obergeschoss wurden nachträglich mit Glaswolle zwischen dem Gebälk gedämmt. Die Dämmung wurde vom Dachgeschoss aus in die Zwischenräume hineingeschoben. Es ist jedoch fraglich, ob die Glaswolle jeden Zwischenraum ausgefüllt hat und somit ihre Dämmwirkung erreichen kann. Hierbei ist die Dichtheit fraglich.



Abbildung 2.3 Dämmung Dachboden

2.1.12 Fassade

An der Südseite des Gebäudes befindet sich ein Fachwerk, dass vor zwei Jahren renoviert wurde.

Es ist ersichtlich, dass der Dachüberstand sehr gering ausfällt. An der Südseite beträgt er ca. 10 – 15 cm, an der Nordseite höchstens 10 cm. Bei Dämmmaßnahmen der Außenfassade, wie sie in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben werden, muss dieser geringe Dachüberstand mit einkalkuliert werden, bei dickeren Dämmmaßnahmen, die über eine Dicke von 4cm Dämmung hinausgehen, wird es erforderlich sein, den Dachüberstand zu verlängern. Die Verlängerung bedeutet eine deutliche Kostenerhöhung.

Der Überstand der Fensterbänke liegt momentan bei 7,5 cm. Wie auch bei dem Dachüberstand ist bei den Fensterbänken auch eine Verlängerung bei dickerer Dämmung notwendig. Der Fachhandel bietet jedoch Fensterbänke aus Kunststoff an, die auf die bestehenden Fensterbänke montiert werden könnten. Die Kosten hierfür sind geringer, als neue Fensterbänke einzusetzen. Außerdem ist der Arbeitsaufwand geringer und es fällt kaum Dreck an. Im Obergeschoss sind keine Rollläden montiert, im Erdgeschoss hingegen sind Rollläden auf das Mauerwerk aufgesetzt.

Beide Haustüren besitzen Einfachverglasung mit einem Glasanteil von mind. 50%. An der breiten Eingangstür wurde nachträglich am Boden der Tür ein Zugschutz an die Tür angeschraubt, da die Bewohner über Zugscheinungen klagen.

Die Fenster besitzen Doppelverglasung und wurden in den 70iger Jahren eingebaut. Die Bewohner klagen auch hier über Zugscheinungen und im Bad tritt bei Starkregenereignissen Wasser durch die Fugen des geschlossenen Fensters hindurch ein. Das Fenster des rechten Kinderzimmers, Südseite, schließt nicht dicht ab, sodass man mit den Fingern das Fenster zurückdrücken kann.

Alle Fenster und Türen wurden aus Holz hergestellt.



Abbildung 2.4 Fachwerk an der Südseite des Gebäudes

Apparatur	Hersteller	Typ	Baujahr	Leistung	Spannung	Stromstärke
Keller						
Holzvergaserkessel	DeDietrich (Fa. Hoval)	PuroLyt	2002	20 kW		
Pufferspeicher			2002			
Kesselkreispumpe	Wilo	RS 30/6	2002	93/67/46	230 V	0,4 A
Heizölkessel	Viessmann	Vitola	1981	21-28 kW		
Regelung	Centratherm					
BWW-Speicher	Fröling	110 l	1990	43 kW WT		
Umwälzpumpe	Grundfos	UPS 32-40		80/55/30	230 V	0,38/0,28/0,17
Pumpe	Zehnder	WX 1200	1992	0,82 kW	230 V	3,2 A
Waschmaschine	Siemens	Siwamat 285	mind. 15 J.		230 V	
Trockner	Siemens	Siwatherm 3400	mind. 15 J.		230 V	
Küche						
Spülmaschine	Constructa		1989		230 V	
Kühltruhe	Constructa		1989		230 V	
Kochherd	Constructa	Combi-Therm	1989		400 V	
Backofen	Constructa	Combi-Therm			400 V	
Mikrowelle						
Kaffeemaschine						
Toaster						
Dunstabzug						
Wasserkocher						
Fernseher					230 V	
Satanlage					230 V	
Wohnzimmer						
Fernseher					230 V	
Satanlage					230 V	
Video					230 V	
Dienstzimmer						
Radio					230 V	
Fax					230 V	
Telefon					230 V	
Computerkomplettausstattung					230 V	
Gerät zur Baumbestimmung					220 V	

Raumbezeichnung	Leuchtmittel
Erdgeschoß	
Küche	1 x 60 W
	1 x 30 W
Speisekammer	1 x 60 W
Wohnzimmer	5 x 60 W
Esszimmer	2 x 60 W
Dienstzimmer	1 x 60 W
	1 x 40 W
WC	1 x 60 W
Flur	5 x 15 W
	1 x 60 W
Eingang	2 x 60 W
Obergeschoß	
Elternschlafzimmer	3 x 60 W
Kinderzimmer	2 x 40 W
	1 x 60 W
	2 x 20 W Halogen
Kinderzimmer	3 x 60 W
	1 x 40 W
Kinderzimmer	1 x 40 W
	1 x 60 W
Bad	1 x 60 W
	1 x 25 W
	Spiegelschrank
Flur	2 x 60 W

Tabelle 2.1 Leuchtmittel

2.2 Blower-Door-Messung

2.2.1 Vorbereitung zur Messung

Für das Forsthaus Gierscheid in Lommersdorf / Eifel wurde am 09.12.2002 eine Luftdichtheitsmessung durchgeführt. Zum Einsatz kam hierbei das stationäre Differenzdruck-Verfahren, bei dem ein in seiner Größe variierender Spannrahmen in den Rahmen einer Tür oder eines Fensters eingespannt wird. Der Spannrahmen selbst ist mit einer Spezialfolie überzogen. In die Folienebene wird ein Ventilator eingesetzt, mit dem Unterdruck bzw. Überdruck in der Wohnung erzeugt werden kann.

Bei dem eingesetzten Messinstrument zur Blower-Door-Messung handelt es sich um das Modell 4 der Firma Minneapolis.

Das Gebäude befand sich zum Zeitpunkt der Messung in bewohntem Zustand.

Um die große Eingangstür an der Südfassade in die Messung mit einzubeziehen, wurde das Blower-Door-Messgerät in die kleine Eingangstür neben der Küche eingebaut.

Da die Eingangstür in sich verzogen war, und der obere Teil des Rahmens abgerundet ist, musste zusätzlich um den Rahmen die Tür sorgfältig abgedichtet werden.

Die Dichtheit wurde überprüft.

Jedoch wurde im Laufe der Messung der angeklebte Streifen undicht und Luft konnte nachströmen.

Vor der eigentlichen Messung sind folgende Vorbereitungen getroffen worden:

- Entfernung der im Rahmen sitzenden Türarretierung zum luftdichten Einbau des Spannrahmens
- Abschalten der Heizungsanlage
- Schließen der Tür zum Keller, jedoch ohne Abdichtung durch Tesakrepp
- Schließen aller Fenster und Türen in der Gebäudehülle
- Öffnen aller Innentüren
- Abkleben des offenen Kamins mit Tesakrepp und Folie
- Abkleben der Dunstabzugshaube mit Tesakrepp und Folie
- zusätzliches Abkleben der Eingangstür, jedoch im Nachhinein unzureichend
- Justierung der Druckmessgeräte auf Nullstellung
- Überprüfung des Spannrahmens der Messeinheit auf Dichtheit

2.2.2 Ablauf der Messung

Zur Bestimmung der maßgeblichen Kennwerte wurde eine Unterdruck- und eine Überdruckmessung durchgeführt. Die Dichtheit der Gebäudehülle wird dabei üblicherweise durch die Unterdruckmessung nachgewiesen. Dem Gebäudeinneren wird Luft entzogen, wobei infolge des so entstandenen Unterdrucks Luft an den Leckagen nachströmen kann.

Die Überdruckmessung kann als Ergänzung zur Unterdruckmessung angesehen werden. Durch den Ventilator wird Luft in das Haus eingeblasen, die dort eine Druckerhöhung bewirkt. Die Luft verlässt durch die Fehlstellen das Gebäude.

In diesen Fall ist eine Überdruckmessung auch erforderlich gewesen, da die Eingangstür, in der das Blower-Door-Messgerät eingebaut wurde, im Lauf der Messung undicht wurde. Um einen Vergleich der Messwerte zu erzielen, ist eine Überdruckmessung sinnvoll.

Bei beiden Messungen wird für verschiedene Druckdifferenzen zwischen innen und außen die Luftmenge bestimmt, die durch die Leckagen der Gebäudehülle strömt.

Alle so ermittelten Messwertepaare, bestehend aus dem Gebäudedruck und dem errechneten Volumenstrom, werden logarithmiert und durch eine Geradengleichung angenähert (Methode der kleinsten Quadrate). Anhand dieser Gleichung kann für die Druckdifferenz von 50 Pa der durch das Gebläse geförderte Luftstrom (V_{50}) bestimmt werden. Bezogen auf das Raumvolumen ergibt sich die Luftwechselrate bei 50 Pa

(n_{50} -Wert) bzw. bezogen auf die Grundfläche die Netto-Grundflächenbezogene Luftdurchlässigkeit (NBV_{50} -Wert).

Die quantitative Bestimmung der Kennwerte erfolgte anhand der Mittelwertbildung zwischen Unterdruck- und Überdruckmessung. Auf diese Weise wird der Einfluss von Leckagen mit Ventilcharakteristik, Windkräften, Temperaturdifferenzen und weiterer Messfehler kompensiert (hier Undichtigkeit der Türabdichtung) und die Genauigkeit der Ergebnisse erhöht. Zur Berechnung wurden dabei die aus den Grundrisszeichnungen ermittelten Rauminhalts- und Flächenangaben verwendet. Der so ermittelte Wert kann mit den Grenzwerten in den gültigen Normen verglichen werden.

2.2.3 Ergebnis der Messung

Zu Beginn wurde eine Einpunktmessung bei einer Druckdifferenz von 50 Pa durchgeführt (Unterdruckmessung). Hierbei konnte festgestellt werden, dass die große Eingangstür an der Südfassade nicht abdichtet, sowie alle Fenster im ganzen Gebäude mangelhaft abdichten.

		Unterdruckmessung	Überdruckmessung
Belüftetes Volumen	m ³	512	
Nettogrundfläche	m ²	207	
Innentemperatur	°C	22	
Außentemperatur	°C	-7	
Windverhältnisse		leichte Windbewegungen	
Luftvolumenstrom V50	m ³ /h	3.021	3.352
Luftwechselrate n50	1/h	5,9	6,5
grundflächenbezogene Luftdurchlässigkeit NBV50	m ³ /m ² *h	14,6	16,2

Tabelle 2.2 Messergebnisse der Blower-Door-Messung vom 9.12.2002

Aus der Unterdruck- und Überdruckmessung ergibt sich ein Mittelwert von $n_{50} = 6,2$ 1/h bzw. NBV50-Wert $7,5$ m³/m²*h

Der Grenzwert für ein Haus, das ohne mechanische Lüftungsanlage betrieben wird, liegt bei $n_{50} = 3,0$ 1/h. Somit liegt der ermittelte n_{50} -Wert deutlich über dem Grenzwert.

⇒ Abdichtung der Fenster und Türen dringend erforderlich

2.2.4 Messprotokoll

Siehe Anhang I

2.2.5 Leckagen

Die Aufnahme von Leckagen erfolgte bei einem Unterdruck von 50 Pa. In dieser Einstellung sind alle Leckagen mit der Hand gut fühlbar und können auf Zugluft überprüft werden.

Die Bewertung der Leckagen wird nach folgendem Schema vorgenommen:

- große / häufige Leckage, Abdichtung dringend empfohlen
- mittlere Leckage, Abdichtung empfohlen
- o kleine Leckage

Nr.	Raum / Etage	Beschreibung	Bewertung
1	alle Räume	Rollladengurt Einfassung	--
2	alle Räume	Fenster undicht	-
3	Bad	Fenster undicht	--
4	Wohnzimmer	großes Fenster (Ostfassade) im Wohnzimmer, oberer Anschluss Fensterrahmen + Laibung	--
5	Windfang	große Einganstür + Laibung undicht	--
6	OG	elektrische Verbindung der Beleuchtung an der Decke	o
7	alle Räume	Steckdosen	o
8	rechtes Kinderzimmer	Ecke Fußboden zur Dachschräge undicht	-

Tabelle 2.3 Leckagenprotokoll



Nässeinbruch bei Regen

Abbildung 2.5 Fenster im Badezimmer, Obergeschoss

Es wurde bei laufender Blower-Door-Messung mit einem Volumenstrom-Messgerät die Luftgeschwindigkeit an den Fugen gemessen.

An der Eingangstür wurde eine Luftgeschwindigkeit von 2,3 m/s gemessen.



Abbildung 2.6 große Eingangstür, linke, obere Seite

Im Wohnzimmer wurde eine Luftgeschwindigkeit von 2,2 m/s gemessen.



Abbildung 2.7 großes Wohnzimmerfenster, Ostfassade

Mit Hilfe einer Wärmebildkamera und einer Digitalkamera wurden die gefundenen Fehlstellen aufgenommen.

2.2.6 Zusammenfassung

Die Blower-Door-Messung für das Forsthaus Gierscheid zeigte, dass die erforderlichen n50- und NBV-50-Werte nicht eingehalten werden.

Alle Fenster und Außentüren zeigten deutliche Leckagen, wobei im Badezimmer, im Wohnzimmer und an der großen Eingangstür hohe Luftgeschwindigkeiten durch die Fugen entstehen.

Die Ergebnisse zeigen, dass es dringend notwendig ist, Fenster und Außentüren abzudichten oder zu erneuern. Bevor eine weitere Sanierungsmaßnahme (z.B. Dämmung der Außenwand) erfolgt, ist es notwendig, zu erst die Fenster und Außentüren zu erneuern.

Es wäre auch zu überlegen, ob an den Außentüren und an einigen Fenster die obere Abrundung der Fenster durch einfache, nicht abgerundete Fenster und Türen zu ersetzen ist. Ohne diese Abrundung ist es leichter, die Fugen abzudichten.

Es wurde auch im Wohnzimmer bei laufendem Ventilator Zugscheinungen festgestellt, die nicht von den Fenstern herrühren. Es wurde festgestellt, dass selbst durch die Fugen des Holzfußbodens Luft zuströmt, die zu den Zugscheinungen, die der Bewohner des Forsthauses angibt, beiträgt. Eine Dämmung der Kellerdecke ist daher ratsam um diese Erscheinung zu beheben.

2.3 Gebäudethermografie

2.3.1 Allgemeines zur Thermografie

Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) wird von sämtlichen Gegenständen in unserer Umgebung abgegeben. Diese Strahlung ist im Vergleich zum sichtbaren Licht sehr langwellig und kann mit dem Auge nicht, bei höheren Strahlungsstärken (z.B. Strahlungsöfen etc.) jedoch mit der Haut wahrgenommen werden.

Im technischen Betrieb lässt sich diese Strahlung durch Systeme mit speziellen, infrarotsensiblen Empfängern erfassen. Diese Empfindlichkeit und das Auflösungsvermögen dieser Systeme ist sehr groß, so dass auch geringe Temperaturunterschiede über größere Entfernungen zuverlässig gemessen werden können. Im Prinzip funktionieren solche Systeme wie elektronische Kameras. Mit Hilfe einer speziellen Infrarotoptik wird die von der Umgebung bzw. dem betrachteten Objekt ausgehende Wärmestrahlung abgetastet und in elektrische Signale umgewandelt. Diese Signale werden von der Kameraelektronik weiterverarbeitet, zu einem Bild zusammengesetzt und auf einen Bildschirm ausgegeben. Den einzelnen Bildpunkten werden dabei, der Wellenlänge (Temperatur) der empfangenen Infrarotstrahlung entsprechend, unterschiedliche Graustufen oder Farbtöne zugeordnet. Auf diese Weise wird ein Wärmebild, ein sog. Thermogramm erzeugt, auf dem die unterschiedlichen Temperaturen des Untersuchungsobjektes sichtbar werden. Höhere Temperaturen entsprechen dabei in dieser Auswertung hellere Grau- bzw. gelbe bis rote Farbtöne, niedrigeren Temperaturen dunklere Grau- bzw. blaue bis violette Farbtöne.

In der Praxis müssen für die erfolgreiche Durchführung einer thermografischen Untersuchung bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Grundsätzlich ist eine solche Untersuchung nur möglich, wenn sich das zu untersuchende Objekt durch eine ausreichende Wärmestrahlung von der Umgebung abhebt. Dies bedeutet, dass die Temperaturen im Inneren eines Gebäudes mindestens 10..15°C über der Außentemperatur liegen müssen. Nur unter diesen Bedingungen können sich thermische Effekte mit ausreichender Deutlichkeit ausprägen. Aus diesem Grund sollten thermografische Untersuchungen von Gebäuden nur bei niedrigen Außentemperaturen (Winterhalbjahr) und, zur Vermeidung von Verfälschungen durch die solare Infrarotstrahlung, nur vor Sonnenaufgang durchgeführt werden. Da auch regennasse Fassaden infolge der auftretenden Verdunstungskälte zu Verfälschungen der Untersuchungsergebnisse führen, müssen zudem trockene Witterungsverhältnisse vorherrschen. Die Voraussetzungen waren am Durchführungstag der thermografischen Untersuchung gegeben. Er herrschte trockenes, kaltes Winterwetter, bei einer Außentemperatur von - 8°C.

Die Thermogramme selbst sind sogenannte Falschfarbendarstellungen. Die wiedergegebenen Farben stehen in keinem Zusammenhang mit der realen Gebäudefarbe oder Oberflächenbeschaffenheit. Sie geben einzig und allein die Temperaturverteilung an der Gebäudeoberfläche wieder und werden nur vom sog. Emissionskoeffizienten der untersuchten Bauteile bestimmt. Dieser kann bei üblichen Baustoffen als konstant angesehen werden. Die Farbzunordnung über den jeweiligen Temperaturmessbereich ist an dem folgenden Farbbalken ablesbar.



< T_{min}

> T_{max}

Dabei bedeutet schwarz eine Temperatur unterhalb der Minimaltemperatur (T_{min}) und weiß eine Temperatur oberhalb der Maximaltemperatur (T_{max}). Die Minimal- und Maximaltemperaturen bzw. die Temperaturbereiche sind jeweils angegeben. Das Messsystem versucht grundsätzlich den Messbereich auf die auftretenden Temperaturunterschiede hin abzustimmen. Davon sind sowohl die Größe, wie auch die absolute Lage des Temperaturbereichs betroffen. Es können sich daher Farbverschiebungen zwischen einzelnen Thermogrammen ergeben (gleiche Farben bedeuten dann nicht gleiche Temperaturen). Dies muss bei der Interpretation der Thermogramme unbedingt beachtet werden.

Messtag: 09.12.2002

Messbedingungen: Außentemperatur: -8°C
Innentemperatur durchschnittlich 20-22°C
Sternenklar
Räume über Nacht beheizt

Messzeit: 6:00 Uhr – 8:00 Uhr

Die im folgenden durch die Thermogramme dokumentierten Untersuchungen konzentrierten sich auf die Außenthermografie des betrachteten Gebäudes. Dabei wurde ein Gesamteindruck, sowie eine ausreichende Detailauslösung angestrebt.

Es wurden jedoch auch Innenaufnahmen mit der Kamera gemacht, um einzelne Schwachstellen (Wärmedämmung der Dachschrägen im Obergeschoss) genauer zu betrachten.

Auch wurden Aufnahmen mit der Wärmebildkamera von den Fenstern und Türen vor der Blower-Door-Messung und nach der Messung aufgenommen um eine detaillierte Aufstellung der Leckagen, und somit der Wärmeverluste zu bekommen.

2.3.2 Auswertung



Abbildung 2.8 Thermografiebild, Fassade / Eingang Westseite (Temperaturbereich - 9°C bis 8°C)

In Abbildung 2.8 sind deutliche Wärmeverluste bei Fenstern, Türen und im Sockelbereich sichtbar.

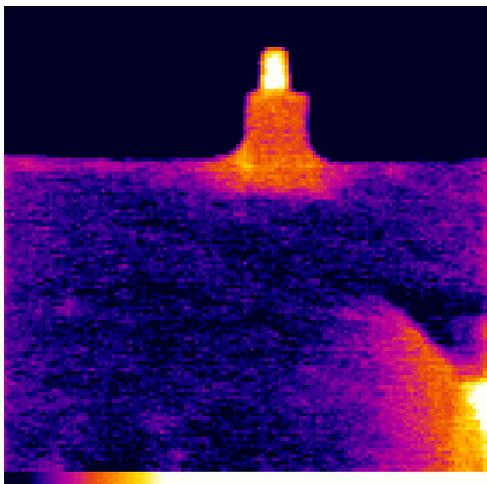


Abbildung 2.9 Thermografiebild Dach Ostseite (Temperaturbereich - 13°C bis - 6°C)

In Abbildung 2.9 sind deutliche Wärmeverluste an der Gaubenseitenwand erkennbar.

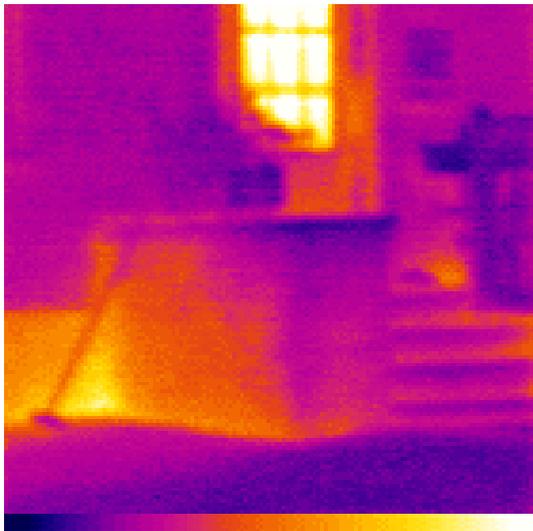


Abbildung 2.10 Thermografiebild Eingangsbereich Westseite (Temperaturbereich - 9°C bis 8°C)

In Abbildung 2.10 ist deutlich erkennbar, dass im Sockelbereich Wärmeverluste auftreten, die aber auf die erhöhte Raumtemperatur im Heizungskeller (Holzvergaserkessel) zurückzuführen sind.

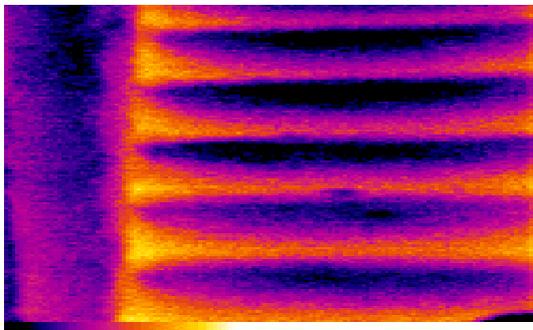


Abbildung 2.11 Thermografiebild Treppe Nordseite zu Keller (Temperaturbereich - 3°C bis 4°C)

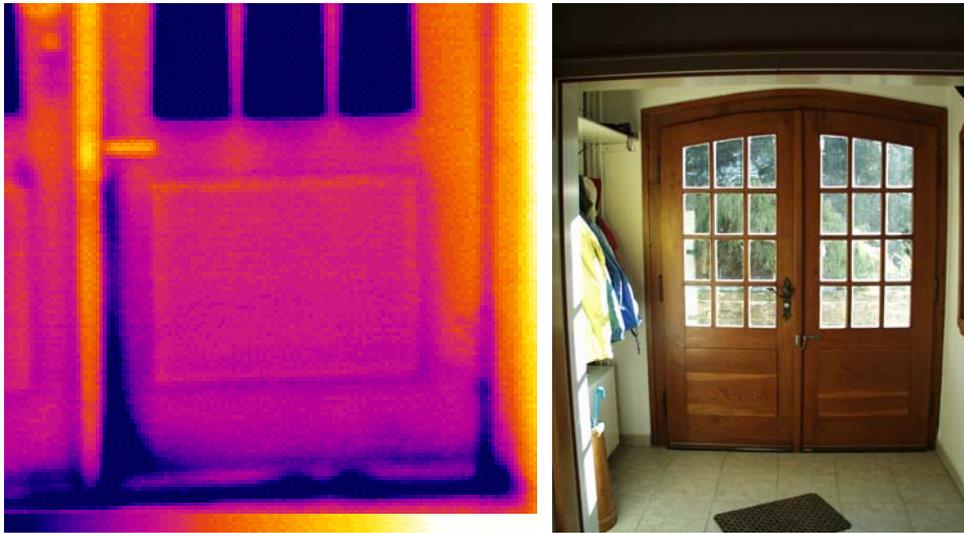


Abbildung 2.12 Thermografiebild Haupteingangstür, rechte Seite, unten (Temperaturbereich 13°C bis 28°C)

In Abbildung 2.12 ist die Undichtigkeit der Haupteingangstür deutlich erkennbar. Die dunklen Stellen zeigen den Kaltlufteintritt auf.

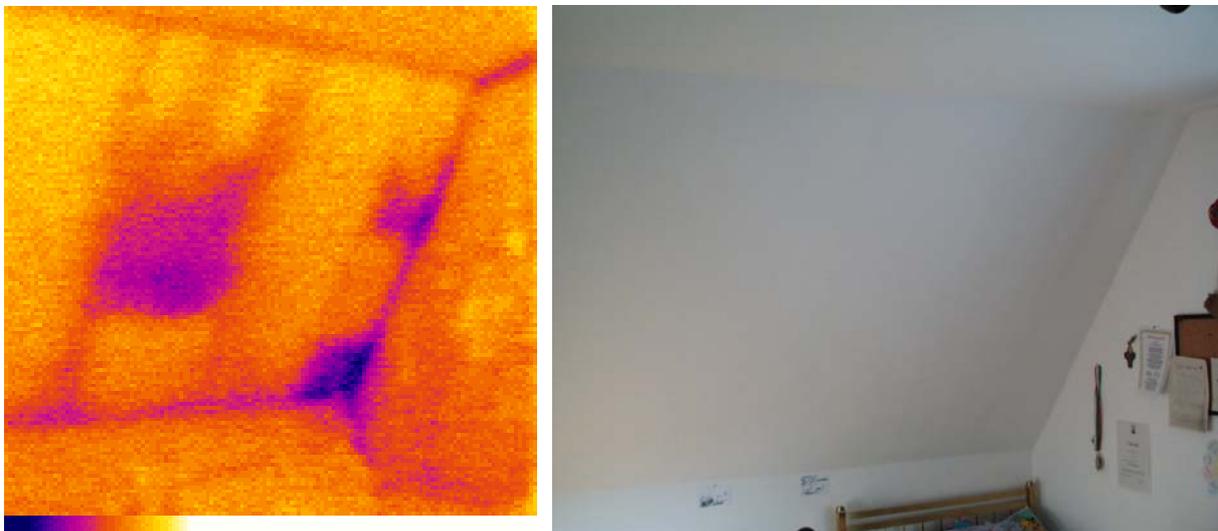


Abbildung 2.13 Thermografiebild linkes Kinderzimmer Dachschräge Ost/Giebel Süd (Temperaturbereich 18°C bis 24°C)

In Abbildung 2.13 ist deutlich sichtbar, dass die Dämmmatten nicht ordnungsgemäß verlegt worden sind. Hierdurch kann nicht die optimale Dämmwirkung in den Dachschrägen erreicht werden.

2.3.3 Ergebnis

Ziel der Untersuchung war die Feststellung des thermischen Ist-Zustandes und die Aufdeckung entsprechender Schwachstellen.

Es gibt mehrere Punkte, die bei der thermografischen Betrachtung aufgefallen sind.

Zum ersten strahlt der Sockel (Kellergeschoss) sehr viel Wärme ab. Im Keller befinden sich die Heizungsanlagen, da der Keller nicht gedämmt ist wird somit der Wärmeverlust erklärt. Auffallend ist jedoch, dass auch angrenzende Mauerwerke, die separat zum Gebäude hin gemauert wurden und nur durch einen Betonfußboden miteinander verbunden sind, Wärme abstrahlen. Das ist ein deutliches Zeichen von Wärmebrücken, d.h. die angrenzende Mauer (um die Kellertür, und die große Eingangstür) wurde nicht baulich (Schall- und Dämmsysteme) von den Außenwänden getrennt.

Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die große Eingangstür an der Südfassade eine andere Verglasung als die übrigen Fenster und Außentüren besitzt.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Dämmung der Dachschrägen im Obergeschoss unzureichend sind. Eine Nachbesserung ist sinnvoll, denn es tauchen auf dem ganzen Dach unterschiedliche Farbflächen (unterschiedliche Temperaturzonen) auf. Im linken Kinderzimmer fehlen sogar einzelne Dämmplatten, die laut Bewohner des Forsthauses, eigentlich zur Dämmung der Dachschräge nachträglich eingesetzt wurden.

Aus diesem Grund ist es zu prüfen in wie fern die alte Dämmung zu entfernen ist und durch ein neues Dämmsystem, das eingeblasen wird, zu ersetzen ist, so dass sich die Dämmung in die gesamten Zwischenräume setzen kann. Die Montage kann nur vom Dachboden ausgeführt werden, jede andere Montage wäre zu aufwendig.

Erhöhte Wärmeverluste ergeben sich zudem an den abgerundeten Fenster- und Türrahmen.

Bei der Innenbetrachtung des Gebäudes mittels Wärmebildkamera vor und nach der Blower-Door-Messung konnte man deutlich die Wärmeverluste durch Fenster- und Türfugen erkennen. Es wurde an allen Fenstern und Außentüren mangelnde Dichtheit festgestellt, die zu Folge hat, dass zuviel Wärme verloren geht.

Im Bad wurde am Fenster beobachtet, dass die einfallende Kaltluft sich in einem ganzen „Schwall“ über die Fenster bewegt und dann mit der Warmluft einen Wirbel erzeugt.

Die Kellertür und die Dachluke zeigte auch Wärmeverluste an, die aber durch nachträgliches Anbringen von Dichtlippen leicht verringert werden können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass, wie auch bei der Blower-Door-Messung festgestellt, die Fenster und Außentüren abgedichtet oder ausgetauscht werden sollten.

Weiterhin ist eine Nachbesserung oder Austausch der Dämmung der Dachschräge sinnvoll.

Die Wärmebrücken zum angrenzenden Mauerwerk sind konstruktive Wärmebrücken und nicht zu verringern.

3 Wärmedämmstandard

3.1 Unterscheidungsmerkmale WSVO 1995 / EnEV 2002

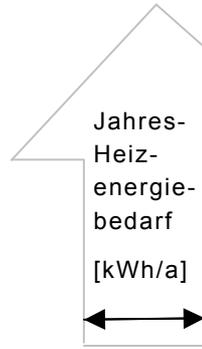


Abbildung 3.1 Jahres-Heizenergiebedarf nach **WSVO 95**

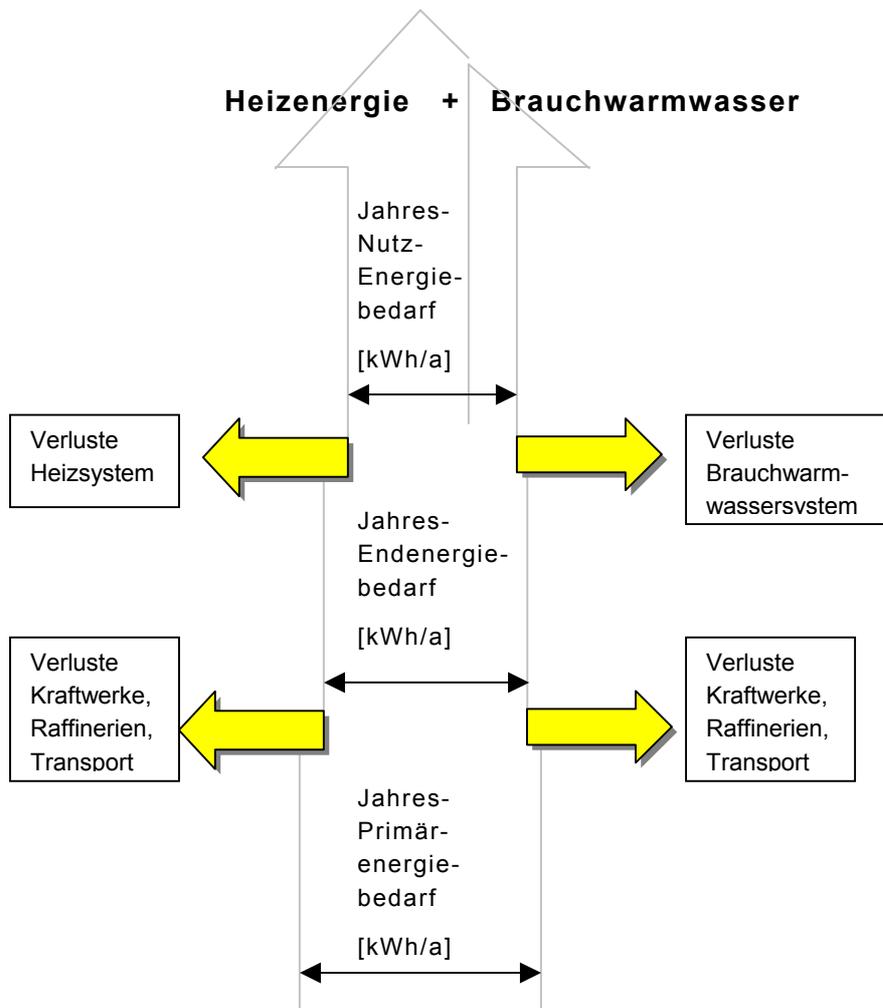


Abbildung 3.2 Jahres-Primärenergie nach **EnEV 2002**

Begriffserläuterungen

- Heizenergie Die Wärmemenge, die zum beheizen der Räume benötigt wird.
- Nutzenergie Die Wärmemenge, die von den Heizkörpern eines Gebäudes oder in Form von Warmwasser am Wasserhahn genutzt wird.
- Endenergie Die vom Bewohner zu bezahlende, dem Gebäude unmittelbar zugeführte Energie in Form von Heizöl, Gas, Fernwärme, Strom etc. inklusive der Umwandlungsverluste der technische Systeme.
- Primärenergie Die Primärenergie bezeichnet den Endenergieträger inklusive des Energieeinsatzes für Transport und Weiterverarbeitung.

3.2 Wärmebedarfsberechnung IST-Zustand

3.2.1 Zusammenstellung der U-Werte

Bauteil Nr.	Bezeichnung	u-Wert W/m ² K	Dicke m	Fläche m ²
u001	Aussenwand Dicke 38cm	0,62	0,415	102,3
u002	Aussenwand Dicke 25cm	0,86	0,285	22,1
u003	Aussenwand Dicke 15cm	1,25	0,185	6,5
u004	Aussenwand Obergeschoss, Eltern	0,33	0,476	18,4
u005	Wandverkleidung Obergeschoss	0,36	0,211	19,3

Tabelle 3.1 Einfache Bauteile

Bauteil Nr.	Bezeichnung	u-Wert W/m ² K	Dicke m	Fläche m ²
u006	Aussenwand Fachwerk	0,34		32
u007	Fussboden Erdgeschoss, Fliesen	0,74		47,1
u008	Fussboden Erdgeschoss, Holzboden	0,7		62,9
u009	Decke Obergeschoss	0,3		81,4
u010	Dachschräge Obergeschoss	0,39		35,4
u011	Aussenfenster	2,5		26,7
u012	Aussentür	3,2		5,5

Tabelle 3.2 Vordefinierte Bauteile

3.2.2 Zusammenstellung Wärmebedarf nach DIN 4701

Der Wärmebedarf des Gebäudes wurde nach DIN 4701 Teil 1 und nach DIN 4108 Teil 4 berechnet. Der Wärmebedarf wird gerechnet, um die Heizflächen und die Leistung des Kessels zu ermitteln. Die Werte gelten für den IST-Zustand.

Ort	Raum	ti °C	FB m	QT-FB W	QT W	QT-a W	QL W	QN' W	QN'' W	qN' W/m ²	qN'' W/m ³
1/1	Küche	20	17	161	924	594	242	1.165	863	70	26
1/2	Wohnen	20	50	459	2.219	1.542	804	3.022	2.346	60	23
1/3	Windfang	15	3	19	374	424	324	697	748	221	84
1/4	Dienstzimmer	20	12	120	1.035	736	301	1.336	1.037	107	40
1/5	WC	20	2	21	160	68	32	222	130	101	38
1/6	Speisekammer	10	2	5	34	46	43	77	89	35	13
1/7	Flur	15	22	130	91	222	271	362	493	17	6
	gesamt:		109	915	4.837	3.632	2.017	6.881	5.706	611	230

Tabelle 3.3 Wärmebedarf Erdgeschoss

Ort	Raum	ti °C	FB m	QT-FB W	QT W	QT-a W	QL W	QN' W	QN'' W	qN' W/m ²	qN'' W/m ³
2/1	Eltern	20	23	0	697	401	319	1.016	720	43	17
2/2	Kinder	20	18	0	551	65	248	798	313	44	18
2/3	Kinder	20	15	0	574	148	275	848	423	55	22
2/4	Kinder	20	12	0	621	291	275	895	566	75	30
2/5	Bad	24	10	0	868	262	309	1.177	571	118	47
2/6	Flur	15	12	0	-154	0	491	337	491	28	11
	gesamt:		91	0	3.157	1.167	1.917	5.071	3.084	363	145

Tabelle 3.4 Wärmebedarf Obergeschoss

Summe der Fußbodenflächen: 200m²

Q_N-Gebäude: 9.972 W

Q_N-Gebäude (Kesselleistung) 6.782 W

Legende:

Q_N' = Summe (Q_T + Q_L)

Q_N'' = Summe (Q_{T-a} + Q_L)

3.2.3 Aufteilung Transmissionswärmebedarf Bauteile

In Abbildung 3.3 wird der momentane Wärmeverlust durch Transmission der jeweiligen Bauteile aufgeführt und in den jeweiligen Prozentzahlen angegeben.

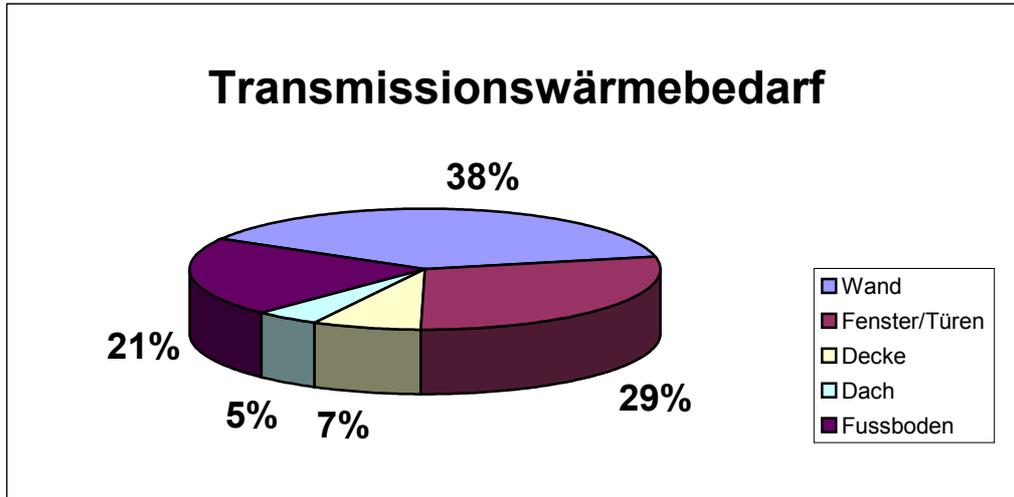


Abbildung 3.3 Aufteilung Jahres-Transmissionswärmebedarf der einzelnen Bauteile

Es ist deutlich erkennbar, dass die Wände an erster Stelle und die Fenster bzw. Türen an zweiter Stelle den größten Anteil des Transmissionswärmeverlustes des Hauses aufweisen. Hier ist bei nachträglicher Wärmedämmung das größte Einsparpotential zu erreichen.

3.2.4 Aufteilung Jahres-Heizwärmebedarf

Abbildung 3.4 zeigt den Jahresheizwärmebedarf für die Bereiche Transmission, Lüftung, die als Wärmeverluste gelten, sowie die „Wärmegewinne“ durch Solarstrahlung und interne Gewinne, wie z.B. Leuchtmittel, in Prozent auf.

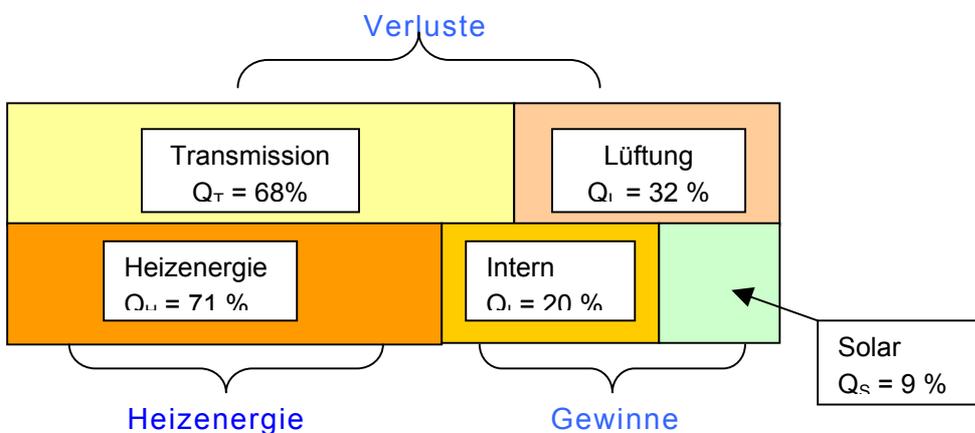


Abbildung 3.4 Aufteilung des Jahres-Heizwärmebedarfs

In Abbildung 3.4 kann man erkennen, dass der Transmissionsverlust des Hauses am stärksten am Gesamtwärmeverlust des Hauses beiträgt. Um Energie einzusparen, muss vor allem der Wärmeverlust der Bauteile (wie Außenwände, Fenster etc.) verringert werden.

Jedoch wird es ab einem gewissen Wärmedämmstandard keine weitere Verbesserung der Bauteile durch zusätzliche Wärmedämmung geben. Um aber weitere Energieeinsparungen vorzunehmen, wird es sinnvoll sein, den Lüftungswärmeverlust zu verringern, indem man ein dezentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung in die einzelnen Wohnräume einbauen lässt, dass somit den Lüftungswärmeverlust und somit den Gesamtverlust verringert.

Die Wärmegewinne durch Solareinstrahlung sowie durch interne Gewinne lassen sich nur mit großem bautechnischem Aufwand erhöhen, wie z.B. eine größere Fensterfläche auf der Südfassade oder Transparente Wärmedämmung (TWD), was in diesem Beispiel jedoch zu aufwendig und zu kostenintensiv ist, und hier nicht betrachtet wird.

3.3 Einsparpotential durch neuen Wärmedämmstandard

Als nächstes werden verschiedene Dämmmaßnahmen hin auf ihr Energieeinsparpotential untersucht. Es werden die einzelnen Dämmstoffe gesondert berechnet, als auch mit anderen Varianten kombiniert. Als Ziel wird dann das maximale Einsparpotential bestimmt.

	Jahres-Heizwärmebedarf in kWh/m ² *a	Primärenergiebedarf in kWh/m ² *a
IST-Zustand	124,3	185
WSVO 1994	82,9	121,5
EnEV 2002	nicht definiert	114,6
NEH (70-75% WSVO)	58,0 ... 62,2	80,2 ... 86,0
Passivhaus	< 15	< 40

Tabelle 3.5 Maximalwerte für den Heizwärme- bzw. Primärenergiebedarf (Quelle: WSVO, EnEV)

Die in der Tabelle 3.5 enthaltenen Werte ergeben sich auf die spezifischen Daten des Forsthauses. Deshalb gelten diese Werte nur für dieses Beispiel.

Als Anhaltspunkt des Primärenergiebedarfs für den Niedrigenergiehausstandard wurde der maximale Wert nach EnEV 2002 angenommen, da mit Einführung der EnEV die WSVO abgelöst wurde.

3.3.1 Erläuterung zur Berechnung

Die Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfes wurde nach zwei unterschiedlichen Verfahren durchgeführt.

Einmal wurde, zur Einhaltung des Standards nach WSVO 1994 bzw. des Standards des Niedrig- bzw. Passivhauses die Berechnung mit dem Formblatt „Nachweis nach DIN 4108 und Wärmeschutzverordnung, Vereinfachtes Verfahren“ durchgeführt. Die errechneten Werte beziehen sich auf dieses Verfahren.

Zum zweiten wurde die Berechnung nach der Energieeinsparverordnung 2002 durchgeführt, um den Standard der EnEV 2002 zu erreichen. Hierbei ist es vor allem wichtig, die Primärenergieaufwandzahl nach DIN 4701-10 Formblatt „Vereinfachtes Verfahren zur Anlagenbewertung“ zu berechnen (siehe Punkt a).

Die Primärenergieaufwandzahl ist ein wesentlicher Bestandteil der EnEV 2002, da die EnEV sich auf den Primärenergiebedarf eines Haushaltes bezieht (siehe Kapitel 3.1), wobei die WSVO von 1994/1995 sich auf den Jahres-Heizwärmebedarf bezieht.

a. Berechnung der Primärenergieaufwandzahl nach DIN 4701-10

Die Primärenergieaufwandzahl, auch Anlagenaufwandzahl e_p genannt, bezieht sich auf die zusätzlich zur Transmissions- und Lüftungsverluste, die nach WSVO 1994 berechnet und berücksichtigt werden, Verluste, die durch die Erzeugung, Verteilung, Übergabe, Speicherung und Gebrauch von Hilfsenergie entstehen.

Es werden hierbei die Trinkwassererwärmung, Lüftung und Heizung betrachtet und auf ihre Verluste in den genannten Bereichen untersucht.

Unter Hilfsenergie versteht man der zum Einsatz von el. Apparaten (wie z.B. den Einsatz von Pumpen zur Förderung des Wassers, etc.) benötigten Energie.

Mit diesem Formblatt wird der Primärenergiebedarf in kWh/a, der Transmissionsbedarf in kWh/a und der Trinkwasserbedarf in kWh/a bestimmt.

Mit der Formel:

$$e_p = \frac{Q_p}{Q_h \cdot Q_{TW}}$$

Q_p Primärenergiebedarf in kWh/a

Q_h Transmissionsverlust in kWh/a

Q_{TW} Wärmebedarf für Trinkwassererzeugung in kWh/a

errechnet sich die Primärenergieaufwandzahl e_p .

Ausführliche Berechnung siehe Anhang III.

3.3.2 Unterschiede bei der Berechnung von WSVO1994 und EnEV 2002

In dieser Arbeit wurden die zwei Berechnungsverfahren WSVO 1994 und EnEV 2002 gegenübergestellt. Die Unterschiede sind in der Tabelle 3.6 aufgeführt.

	WSVO 1994	EnEV 2002
Temperatur Korrekturfaktor	höhere Korrekturfaktoren	geringere Korrekturfaktoren
Berechnung Transmissionswärmeverlust	$84 \cdot SHT$	$S(U_i \cdot A_i \cdot F_{xi}) + DUWB \cdot A$ Werte beziehen sich auf die Fläche
Lüftungswärmeverlust	$18,28 \cdot V$ keine Angaben dazu	$0,19 \cdot V$ (aufgerundet) $0,163 \cdot V$ (bei Dichtheitsprobe) Werte beziehen sich auf die Fläche
solare Wärmegewinne	$0,46 \cdot I \cdot g \cdot A \cdot \text{Faktor}$	$0,567 \cdot I \cdot A \cdot g_i$
interne Wärmegewinne	$8 \cdot V$ größere Gewinne	$22 \cdot AN$ kleinere Gewinne
Jahres-Heizwärmebedarf	$Q_H = 0,9(Q_T + Q_L) - (Q_I + Q_S)$ Werte werden in kWh/a eingesetzt höherer Transmissionswärmebedarf	$Q_h = 66 \cdot (HT + HV) - 0,95 \cdot (Q_I + Q_S)$ Werte werden in kWh/m ² ·a und kWh/a eingesetzt geringerer Transmissionswärmebedarf
spezifisch bez. Transmissionswärmeverlust	$Q'_{H,V} = Q_H / V$ - Volumenbezug $Q'_{H,A} = Q_H / A$ - Flächenbezug Werte in kWh/m ³ ·a bzw. in kWh/m ² ·a	$H'_{T, \text{vorh.}} = HT / A$ Werte in W/m ² K
Ermittlung der Primärenergieaufwandszahl	nicht definiert	nach DIN 4701-10 Anhang A + C
Jahres-Primärenergiebedarf	nicht definiert	$Q'_{P, \text{vorh.}} = ep \cdot (Q'_{H,A} + 12,5)$
Bemerkung	Die Transmissionswärmeverluste bei der Berechnung höher, der spezifische Transmissionswärmeverlust wurde als Sekundärprimärenergiebedarf betrachtet, die Primärenergieaufwandszahl war in der WSVO nicht erwähnt.	Die Transmissionswärmeverluste sind bei der Berechnung nach EnEV 2002 geringer, jedoch durch die Bestimmung der Primärenergieaufwandszahl werden die geringeren Transmissionsverluste ausgeglichen.

Tabelle 3.6 Unterschiede zwischen WSVO 1994 und EnEV 2002

3.3.3 Vorschläge zur Verbesserung des Wärmedämmstandards

Außenwand

Es gibt verschiedene Möglichkeiten Außenwände nachträglich zu dämmen.

Der Baustoffhandel bietet mehrere Systeme an. Diese Dämmarten können sich im Preis sehr unterscheiden und nicht immer ist das teuerste System das Beste. Hier werden drei verschiedene Systeme zur Außenwanddämmung ökologisch wie auch ökonomisch untersucht.

Folgende Möglichkeiten gibt es:

- **Styropor**

Styropor ist ein, im Vergleich der beiden anderen Systeme, billiger Baustoff einer Wärmeleitfähigkeit von $0,045 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- max. 4cm dicke Platten wegen des geringen Dachüberstandes und des geringen Überstandes der Fensterbänke
- 8cm dicke Platten, jedoch bei dieser Dicke muss der Dachüberstand verlängert werden, sowie die Fensterbänke ersetzt, bzw. verlängert werden.

- **Neopor**

Neopor ist ein Baustoff mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Die Wärmeleitfähigkeit hängt jedoch von der Dichte des Stoffes ab und kann unter bzw. über dem angegebenen Wert liegen

- max. 4cm dicke Platten, siehe Begründung bei Styropor
- 8cm dicke Platten

- **Vakuumdämmplatten**

Ihre Wärmeleitfähigkeit von $0,004 \dots 0,006 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ist wesentlich geringer als bei den beiden anderen Systemen. Vakuumdämmplatten haben bei gleicher Dicke wie oben angegeben, eine bessere Dämmleistung, jedoch ist ihr Preis wesentlich höher als für Styropor oder Neopor.

Auch sind Vakuumdämmplatten empfindlich gegen Verletzung, denn ihre Dämmleistung kann nur bei unbeschädigten Platten gewährleistet werden, aus dem Grund ist es sinnvoll, eine zusätzliche Verklinkerung, zum Schutz der Platten, vorzunehmen (bei der Außendämmung).

- 2 cm dicke Platten + Verklinkerung
- 4 cm dicke Platten + Verklinkerung

Es ist nicht ratsam, die Dicke der Dämmplatten aus optischen Gründen weiter zu erhöhen. Auch muss man sich überlegen, ob das Fachwerk erhalten bleiben soll. Es ist möglich, auf das Fachwerk Holz mit der gleichen Dicke wie die aufzutragende Dämmung aufzuschrauben und die Dämmung dazwischenzusetzen, jedoch ist der Aufwand enorm und die Kosten steigen.

Dach (oberste Geschossdecke / Dachschrägen)

Die Dachschrägen sind im Moment mit Glaswolle vom Dach auch gestopft. Wie mit der Thermografie gezeigt werden konnte, ist die Dämmung unzureichend.

Es gibt folgende Möglichkeiten, Abhilfe zu schaffen:

- Glaswolle ganz aus den Dachschrägen entfernen und mit Isofloc (Zelluloseeinblasung) auszufüllen ⇒ alle Zwischenräume werden ausgefüllt
- Die gedämmten Dachschrägen mit Glaswolle sorgfältig ausbessern, jedoch ist hierbei die Frage, ob es überhaupt möglich ist, vom Dachgeschoss aus, die Fehlerstellen nachträglich zu dämmen.

Die obere Geschossdecke könnte nachträglich, ohne großen Aufwand gedämmt werden. Es werden folgende zwei Varianten untersucht:

- 10 cm Rockwool, sowie OSB- oder Pressspanplatten (begehbarer Dachboden)
- 15 cm Rockwool (it dem gleichen Aufbau wie Variante oben)

Fenster / Außentüren

Wie mit der Blower-Door-Messung und der Thermografie gezeigt werden konnte, sind die Außentüren und Fenster undicht und müssen bevor eine weitere Dämmmaßnahme vorgenommen wird, durch Fenster und Außentüren mit Wärmeschutzverglasung ausgetauscht werden. Erst danach ist es sinnvoll weitere Dämmmaßnahmen umzusetzen, da bei den Fenstern und Außentüren die gravierendsten Mängel festgestellt wurden.

Kellerdecke

Die Dämmung der Kellerdecke ist auch hier sinnvoll, da bei der Blower-Door-Messung Zugscheinungen durch den Holzfußboden festgestellt wurden. Jedoch ist die Dämmung der Kellerdecke problematisch, da die Raumhöhe im Keller ca. 2m beträgt, und eine weitere Verringerung der Höhe durch Styropor oder Neopor nicht akzeptabel ist.

Hier ist es nur möglich mit Vakuumdämmplatten zu dämmen, da die Dicke der Platten auf 2 cm begrenzt werden kann und eine hervorragende Dämmleistung erreicht wird. Bei dieser Art der Dämmung liegt das Problem darin, das die Vakuumdämmplatten nicht an ihrer Außenhaut verletzt werden dürfen. Es müssen zusätzlich (z.B. durch ein Blech, Schutzschicht auftragen) dafür gesorgt werden, dass die Paneelen nicht verletzt werden.

Die im Moment noch unter der Decke verlaufenden Elektroleitungen müssten an die Wänden verlegt werden, damit sie bei der Anbringung der Paneelen nicht stören.

3.3.4 Einsparungen durch unterschiedliche Dämmmaßnahmen

Für den IST-Zustand wurde ein Jahres-Heizwärmebedarf von 25.724 kWh/a berechnet.

	Wärmepreis in Euro/kWh	Reduzierung des Jahres- Heizwärmebedarf in kWh/a
Fenster, Glas $u = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	0,055	3.438
Fenster, Glas $u = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	0,076	3.654
Fenster, Glas $u = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	0,08	3.947
Mineralwolle Decke OG/DG (10cm)	0,042	778
Mineralwolle Decke OG/DG (16cm)	0,041	940
Isofloc Dach	0,038	691
Styropor 4 cm	0,017	3.609
Styropor 8 cm	0,052	5.057
Neopor 4 cm	0,022	4.311
Neopor 8 cm	0,049	5.724
Vakuumpaneelen, Kellerdecke (0,004 W/mK, 2 cm)	0,057	3.731
Vakuumpaneelen, verklindert (0,004 W/mK, 2 cm)	0,084	6.527
Vakuumpaneelen, verklindert (0,004 W/mK, 4 cm)	0,13	7.434
Innendämmung (3 cm Styropor auf Gipskarton)	0,007	3.255
Lüftungsgerät mit WRG	0,026	2.310

Tabelle 3.7 Energieeinsparung und Wärmepreis der einzelnen Dämmmaßnahmen

Die Bestimmung des Wärmepreises für jede Maßnahme ermittelt sich mit aus den Investitionskosten, die durch die eingesparte Energie und die Nutzungsdauer in Jahren, dividiert werden. Die Untersuchungen ergaben, dass die Dämmung der Außenwände von Innen als günstigste Maßnahme angeboten werden kann.

Jedoch ist der Aufwand für die Bewohner des Forsthauses höher als eine Dämmung der Außenwände von Außen, da jedes Zimmer in den Rohbauzustand versetzt werden müsste, d.h.

die Möbel müssen ausgeräumt werden, die Tapeten müssen entfernt werden und die Montage der Gipskartonplatten verursachen einigen Schmutz, der entfernt werden muss.

Der Austausch der Fenster und Türen ist laut der Tabelle 3.7 nicht die günstigste Maßnahme, jedoch wurde, wie schon im Kapitel 2.3.3 erwähnt, als die sinnvolle und notwendige Erneuerung erachtet.

Die Dämmung der Außenwänden mit 4cm starken Neopor oder Styroporplatten ist zu empfehlen, da der Aufwand relativ gering zum entstehenden Nutzen ist. Bei 8cm starken Platten wird der Aufwand um einiges größer, da der Dachüberstand, sowie die Fensterbankbreite geändert werden muss. Dies ist mit höheren Kosten verbunden.

Die Dämmung der Außenwänden mit Vakuumdämmplatten und der zusätzlichen Verklinkerung ist im Vergleich zu den vorher genannten Maßnahmen extrem teuer. Um den Jahres-Heizwärmebedarf auf den Dämmstandard eines 5-Liter-Hauses zu senken, müsste diese Dämmtechnik mit zum Einsatz kommen. Jedoch ist zu überlegen, ob diese Möglichkeit in Betracht gezogen wird, da das Forsthaus von Grund auf ein anderes „Gesicht“ bekommt, d.h. das Fachwerk bleibt unter der Verklinkerung verborgen, und das dann entstehende verklinkerte Haus passt optisch nicht zu den umstehenden Gebäuden.

3.3.5 Wärmepreis für den IST-Zustand

Zum Vergleich mit den ermittelten Wärmepreisen für die Dämmmaßnahmen wird nun der aktuelle Wärmepreis für den IST-Zustand ermittelt.

Als Jahresheizwärmebedarf wird der in der Wärmebedarfsberechnung ermittelte Wert mit 25.724 kWh/a zugrunde gelegt. Der Wärmebedarf für die Erwärmung des Brauchwarmwassers (BWW) wird nach der DIN 4701-10 mit 12,5 kWh/(m²*a) angesetzt. Der Jahres-BWW-Wärmebedarf ergibt sich mit 2.586 kWh/a.

Beim IST-Zustand wird unterschieden ob mit Heizöl oder mit Holz geheizt wird.

		Heizölkessel	Holzvergaserkessel
Jahresnutzungsgrad	%	70	80
Brennstoffbedarf	kWh _{HU} /a	40.443	35.388
Einheit		l	rm
Heizwert	kWh _{HU} /Einheit	10	1.800
Brennstoffmenge	Einheiten/a	4.044	19,7

Tabelle 3.8 Energiebilanz für den IST-Zustand Heizöl / Holz

Für die Ermittlung des Wärmepreises werden folgende Ausgangsdaten zugrunde gelegt:

	<u>Heizöl</u>	<u>Holz</u>
Brennstoffkosten	0,40 Euro/Liter ¹	10 Euro/rm ²
Wartung der Heizung (1x jährlich)	110 Euro/a	110 Euro/a
Schornsteinfeger	50 Euro/a	75 Euro/a
Investitionen inkl. Zubehör und Montage	4.250 Euro	7.800 Euro ²

¹ laut www.brennstoffspiegel.de, Stand: 17.02.2003

² nach Angabe Förster Brenk, Forsthaus Gierscheid

		Heizölkessel	Holzvergaserkessel
Investitionen zzgl. MWSt.	€	4.250,00	6.730,00
Kapitalkosten	€/a	438	605
Brennstoffkosten	€/a	1.617,72	196,60
Stromkosten	€/a	72,80	84,93
Verbrauchskosten	€/a	1.691	282
Betriebskosten	€/a	156	181
Jahresgesamtkosten	€/a	2.284	1.068
Wärmepreis	Cent /kWh _{th}	8,07	3,77

Tabelle 3.9 Wirtschaftlichkeitsvergleich für den IST-Zustand Heizöl / Holz

Da der vorhandene Heizölkessel erneuerungsbedürftig ist, werden bei der Ermittlung des Wärmepreises die Investitionen für einen neuen Kessel mit berücksichtigt. Bei der Deckung des Gesamt-Jahreswärmebedarf durch den Heizölkessel ergibt sich ein Wärmepreis von 0,079 Euro/kWh.

Bei der Ermittlung des Wärmepreises für die Variante mit Holz werden die Investitionskosten, die für den in 2002 installierten Holzvergaserkessel und den Pufferspeicher angefallen sind, berücksichtigt. Bei einem Holzpreis von 10 Euro/rm beträgt der Wärmepreis 0,037 Euro/kWh. Bei einem marktüblichen Preis für fertig aufbereitetes Brennholz von 40 Euro/rm ergibt sich ein Wärmepreis von 0,059 Euro/kWh.

Der berechnete Wert von 0,079 Euro/kWh für Heizöl, bzw. 0,059 Euro/kWh für Brennholz dient als Referenzwert für die nachstehende Kostenermittlung, die für die unterschiedlichen Dämmmaßnahmen zur Energieeinsparung, ausgewertet wurde.

Alle Dämmmaßnahmen, die mit ihrem Kosten/Einsparpotential unter diesen Angaben liegen, sind energetisch wie auch wirtschaftlich sinnvoll, d.h. auf den Mieter / Hausbesitzer kommen keine höheren, bzw. geringfügig höher Kosten durch die Realisierung der Dämmmaßnahme zu.

Wird der Referenzwert jedoch deutlich überschritten, wird der Einsatz dieser Dämmmaßnahme energetisch gesehen zwar sinnvoll sein, jedoch finanziell nicht tragbar. Es ist sinnvoll, einzelne Maßnahmen (z.B. die Vakuumdämmplatten an der Kellerdecke) auf einen späteren Einbau hinauszuschieben, da die Investitionskosten in einigen Jahren günstiger sind.

Der Austausch der Fenster bzw. Türen in Verbindung mit der Dämmung der Außenwand sollte hingegen in einem erfolgen, da hier Synergieeffekte (z.B. Kosten für das Gerüst) genutzt werden können.

3.3.6 Ölpreisentwicklung

Die Aufstellung der Investitionskosten wie auch der Brennstoffkosten beziehen sich auf das Jahr 2002.

Dämmmaßnahmen, die heute noch zu teuer sind (z.B. Vakuumdämmplatten) können in 10 Jahren unter der Annahme, dass sich der Preis nicht ändert, sinnvoll werden, wenn man annimmt, dass der Ölpreis nicht auf seinem heutigen Stand bleibt, sondern weiter ansteigt, wie der Ölpreis in den letzten Jahrzehnten angestiegen ist.

Ich möchte durch ein Diagramm zeigen, wie sich, wenn sich die heutigen Investitionskosten von Vakuumdämmplatten nicht verändern, der Ölpreis entwickeln muss, damit diese Dämmart wirtschaftlich effektiv wird.

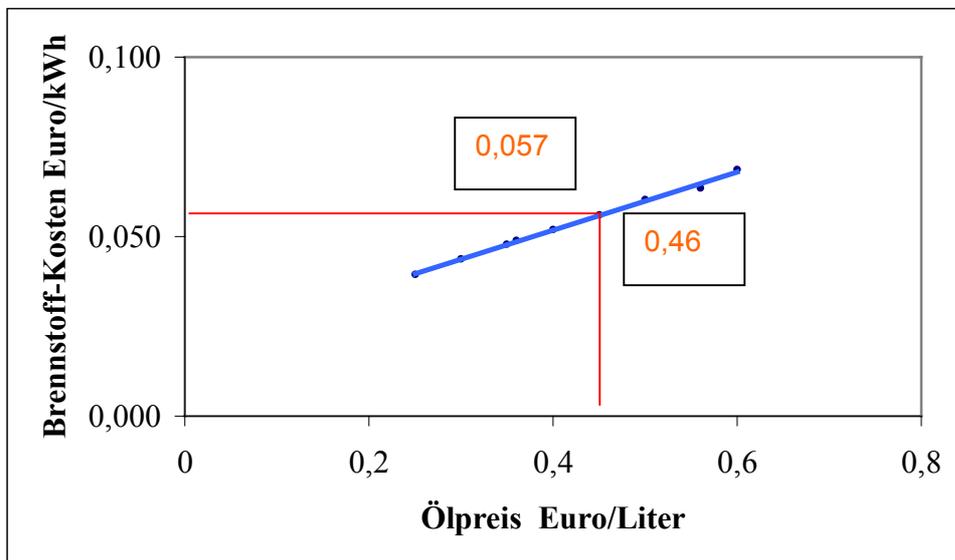


Abbildung 3.5 Mögliche Ölpreisentwicklung in den nächsten Jahren

Bei einem Ölpreis von 0,46 Euro/Liter würde sich der Einbau von Vakuumdämmplatten wirtschaftlich rechnen, unter Berücksichtigung der heutigen Investitionskosten.

Umgekehrt kann man auch bestimmen, um wie viel Euro die Vakuumdämmplatten billiger werden müssen, damit sie bei einem heutigen Ölpreis wirtschaftlich sind ?

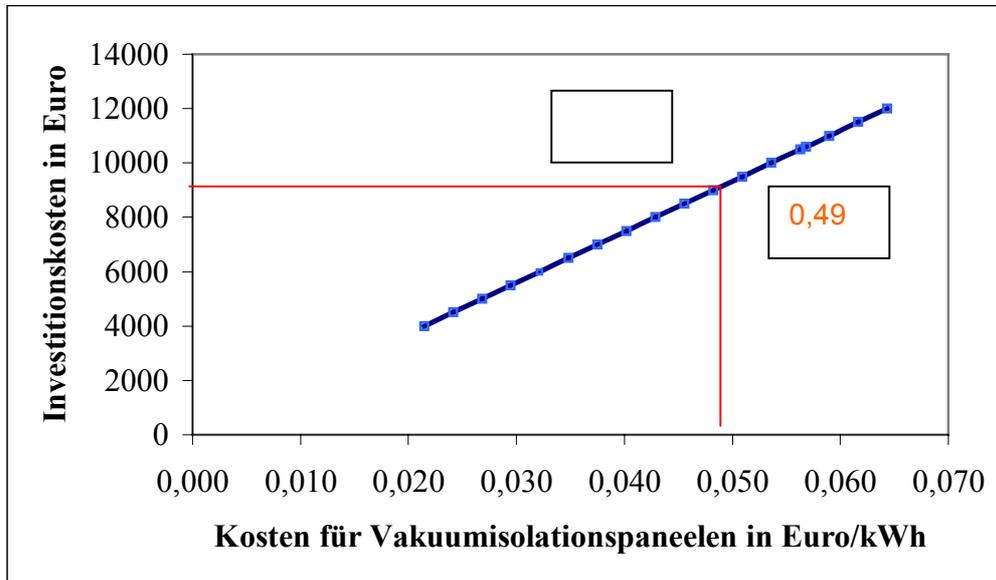


Diagramm 5 mögliche Kostenentwicklung für das Wärmedämmprodukt Vakuumdämmplatten

Um bei einem heutigen Ölpreis den Einsatz von Vakuumdämmplatten nicht nur ökologisch, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll zu erreichen, müssten die Dämmplatten 9.141 Euro (für den Einsatz von 125m² zu dämmen).

Umgerechnet auf den Stückpreis pro Paneele wäre dies: 35,80 Euro.

3.4 Ermittlung des Primärenergiebedarfes

3.4.1 Ist-Zustand, sowie zusätzliche Wärmedämmung

	1	2	3	4	5	6
Fenster, Glas u = 1,1	X	X		X	X	X
Fenster, Glas u = 0,9			X			
Fenster, Glas u = 0,7						
Decke OG/DG, Mineralwolle (10 cm)		X	X			X
Decke OG/DG, Mineralwolle (16 cm)	X					
Dach, Zellulose	X	X	X			
Außenwand, Styropor (4 cm)	X					
Außenwand, Styropor (8 cm)						X
Außenwand, Neopor (4 cm)		X			X	
Außenwand, Neopor (8 cm)				X		
Innendämmung, Styropor auf Gipskarton (3 cm)			X			
Kellerdecke, Vakuumdämmplatten (0,004 W/(m*K), 2 cm)					X	
Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]	17.048	16.507	17.053	13.219	11.277	12.930
Jahres-Nutzenergiebedarf [kWh/(m ² *a)]	82,4	79,8	82,4	63,9	54,5	62,5
Jahres-Endenergiebedarf [kWh/(m ² *a)]	113,0	110,0	114,0	64,0	55,0	63,0
Primärenergiebedarf Heizöl [kWh/(m ² *a)]	125,0	121,1	125,1	123,0	111,2	120,8
Primärenergiebedarf Holz [kWh/(m ² *a)]	113,0	110,0	114,0	113,1	101,8	111,0
Gesamtkosten [Euro]	15.620	15.761	16.802	23.302	23.366	24.106

Erläuterung zu den farblichen Kennzeichnungen in der Tabelle

 WSVO 1994 / 1995

 NEH

 EnEV 2002

 „3-Liter-Haus“

	7	8	9	10	11	12
Fenster, Glas u=1,1	X		X			
Fenster, Glas u= 0,9		X				
Fenster, Glas u= 0,7				X	X	X
Decke OG/DG, Mineralwolle (16 cm)	X	X		X	X	X
Dach, Zellulose	X			X	X	X
Außenwand, Neopor (4 cm)	X					
Außenwand, Neopor (8 cm)		X				
Außenwand, Vakuumdämmplatten (0,004 W/(m*K), 2 cm)			X	X	X	
Außenwand, Vakuumdämmplatten (0,004 W/(m*K), 4 cm)						X
Kellerdecke, Vakuumdämmplatten (0,004 W/(m*K), 2 cm)	X	X	X	X	X	X
Lüftungsgerät mit WRG					X	X
Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]	12.615	11.676	11.347	8.983	7.326	6.853
Jahres-Nutzenergiebedarf [kWh/(m ² *a)]	61,0	56,4	54,8	43,4	35,4	33,1
Jahres-Endenergiebedarf [kWh/(m ² *a)]	84,0	78,0	76,0	60,0	49,0	46,0
Primärenergiebedarf Heizöl [kWh/(m ² *a)]	92,5	85,6	83,2	65,8	53,7	50,2
Primärenergiebedarf Holz [kWh/(m ² *a)]	84,1	78,0	76,0	60,0	49,0	46,0
Gesamtkosten [Euro]	26.605	40.247	47.231	56.783	59.551	80.567

Erläuterung zu den farblichen Kennzeichnungen in der Tabelle

 WSV0 1994 / 1995

 NEH

 EnEV 2002

 „3-Liter-Haus“

Die verschiedenen Maßnahmen wurden so miteinander kombiniert, damit der jeweilige Wärmedämmstandard eingehalten aber auch gleichzeitig die Kosten gering gehalten wurden.

Alle Preise sind Materialpreise, ohne Montage, mit 16% Mehrwertsteuer

Bei den Preisen sind keine Montagekosten (z.B. Anbringung der Dämmung) enthalten

Die Preise sind Firmenabhängig und können zwischen 10 und 20% abweichen

3.5 Nachweis Tauwasserschutz nach DIN 4108 Teil 3

Berechnung für innengedämmte Bauteile

Nr.	Bezeichnung der Schicht	s (m)	m	sd (m)	IR (W/mK)	1/a , 1/L (m²K/W)	J (°C)	ps (Pa)	j (%)	p (Pa)
1	Raumluft						20,0	2.340	50	1.170
2	Innen					0,130	18,3	2.107		
3	Gipskarton	0,015	8	0,12	0,21	0,071	17,4	1.988		
4	Styropor	0,03	1	0,03	0,035	0,857	6,3	958		
5	Innenputz	0,01	15	0,15	0,87	0,011	6,2	948		
6	Mauerwerk	0,38	5	1,90	0,28	1,357	-11,3	231		
7	Aussenputz	0,01	15	0,15	0,87	0,011	-11,4	229		
8	Aussen					0,040	-12,0	217		
9	Aussenluft						-12,0	217	80	208
		0,40		2,35		2,439				

Tabelle 3.10 Taupunktberechnung (38cm Außenwand)

Tauwassermenge

$$W_t = 1440 \left(\frac{1170 - 231}{3,3} - \frac{231 - 208}{0,225} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$W_t = 0,263 \text{ kg} / \text{m}^2 \leq 1,0 \text{ kg} / \text{m}^2$$

Verdunstungsmenge

$$W_v = 2160 \left(\frac{1403 - 982}{3,3} - \frac{1403 - 982}{0,225} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$W_v = 4,32 \text{ kg} / \text{m}^2 \geq 0,263 \text{ kg} / \text{m}^2$$

Nr.	Bezeichnung der Schicht	s (m)	m	sd (m)	IR (W/mK)	1/a , 1/L (m²K/W)	J (°C)	ps (Pa)	j (%)	p (Pa)
1	Raumluft						20,0	2.340	50	1.170
2	Innen					0,130	17,9	2.056		
3	Gipskarton	0,015	8	0,12	0,21	0,071	16,8	1.913		
4	Styropor	0,03	1	0,03	0,035	0,857	3,2	769		
5	Innenputz	0,01	15	0,15	0,87	0,011	3,0	759		
6	Mauerwerk	0,25	5	1,25	0,28	0,893	-11,2	233		
7	Aussenputz	0,01	15	0,15	0,87	0,011	-11,4	229		
8	Aussen					0,040	-12,0	217		
9	Aussenluft						-12,0	217	80	208
		0,27		1,70		1,974				

Tabelle 3.11 Taupunktberechnung (25cm Außenwand)

Tauwassermenge

$$W_t = 1440 \left(\frac{1170 - 233}{2,325} - \frac{233 - 208}{0,225} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\underline{W_t = 0,420 \text{ kg} / \text{m}^2 \leq 1,0 \text{ kg} / \text{m}^2}$$

Verdunstungsmenge

$$W_v = 2160 \left(\frac{1403 - 982}{2,325} - \frac{1403 - 982}{0,225} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\underline{W_v = 4,43 \text{ kg} / \text{m}^2 \geq 0,263 \text{ kg} / \text{m}^2}$$

Nr.	Bezeichnung der Schicht	s (m)	m	sd (m)	IR (W/mK)	1/a , 1/L (m ² K/W)	J (°C)	ps (Pa)	j (%)	p (Pa)
1	Raumluft						15,0	1.706	50	853
2	Innen					0,130	12,9	1.486		
3	Gipskarton	0,015	8	0,12	0,21	0,071	11,7	1.377		
4	Styropor	0,03	1	0,03	0,035	0,857	-2,2	507		
5	Innenputz	0,01	15	0,15	0,87	0,011	-2,4	499		
6	Mauerwerk	0,15	5	0,75	0,28	0,536	-11,2	233		
7	Aussenputz	0,01	15	0,15	0,87	0,011	-11,3	231		
8	Aussen					0,040	-12,0	217		
9	Aussenluft						-12,0	217	80	208
		0,17		1,20		1,617				

Tabelle 3.12 Taupunktberechnung (15cm Außenwand)

Tauwassermenge

$$W_t = 1440 \left(\frac{853 - 507}{0,225} - \frac{507 - 208}{1,575} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\underline{W_t = 1,94 \text{ kg} / \text{m}^2 \geq 1,0 \text{ kg} / \text{m}^2}$$

Verdunstungsmenge

$$W_v = 2160 \left(\frac{1403 - 982}{0,225} - \frac{1403 - 982}{1,575} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\underline{W_v = 3,08 \text{ kg} / \text{m}^2 \geq 0,263 \text{ kg} / \text{m}^2}$$

nicht zulässig nach DIN 4108 Teil 3

Es wurde bei den Wandstärken 38cm und 25cm keine erhöhte Tauwasserbildung ermittelt. Damit ist der Nachweis erbracht, dass das Bauteil trotz Auftretens von Tauwasser nicht unzulässig durchfeuchtet wird.

Bei einer Wandstärke von 15cm (diese tritt nur im Windfang an den Seiten der 1,60x2,10cm großen Außentür auf) ist es nach dieser Rechnung nicht zu empfehlen, die Außenwand innen zu dämmen, da hierbei eine erhöhte Tauwasserbildung auftritt und es möglich ist, dass das Bauteil an diesen Stellen feucht wird.

4 Holz-Sonne-Kopplung

Unter Holz-Sonne-Kopplung versteht man die Verknüpfung einer Holzfeuerung mit einer Solaranlage.

Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten, wie eine Solaranlage ausgelegt wird.

1. solare Brauchwarmwassererwärmung (BWW)
2. solare Brauchwarmwassererwärmung + Heizungsunterstützung

Außerdem wird bei der Bauart der Solarkollektoren in Flachkollektoren (FK) und Vakuumröhrenkollektoren (VRK) unterschieden.

Bei der solaren Brauchwarmwassererwärmung sollte die Solaranlage so dimensioniert sein, dass im Sommer der Brauchwarmwasserbedarf mit nahezu 100 % gedeckt werden kann. Hieraus ergibt sich dann in der Regel ein mittlerer Deckungsgrad von 55..60 % am Jahres-BWW-Wärmebedarf. Üblicherweise kommen hierbei Flachkollektoren in Verbindung mit einem BWW-Speicher zum Einsatz.

Bei einer Solaranlagen zur Heizungsunterstützung kommt ein Pufferspeicher zum Einsatz, in dem Heizungswasser erwärmt wird. Das BWW wird entweder direkt in einem separaten BWW-Speicher oder indirekt über Wärmetauscher bzw. geeignete Einbauten im Pufferspeicher erwärmt.

Bei Forsthaus Gierscheid ist das nach Südwesten ausgerichtete Dach des Wohnhauses am geeignetsten für den Betrieb einer thermischen Solaranlage. Das Wohnhaus hat eine Dachneigung von 37° , der Azimutwinkel beträgt +63° (SWW).

Die Einbußen aufgrund der Abweichung von einer genauen Südausrichtung und einer optimalen Dachneigung von 45° betragen ca. 7 %.

4.1 Solare Brauchwarmwassererwärmung

Für die solarunterstützte Brauchwarmwassererwärmung wird die Installierung eines Flachkollektors mit 6..7 m² Bruttokollektorfläche vorgeschlagen. Da in den bestehenden BWW-Speicher kein zusätzlicher Wärmetauscher für die Einbindung der Solaranlage eingebaut werden kann, wäre es am sinnvollsten, wenn ein neuer Solar-BWW-Speicher mit einem Volumen von 300..400 l installiert wird. Die Solarstation mit dem Ausdehnungsgefäß könnte in direkter Nachbarschaft zum Speicher angebracht werden. Die Solarleitungen inkl. Messkabel könnten durch einen der stillgelegten Kamine bis auf den Dachboden geführt werden.

Bei einem nicht ausreichenden solaren Ertrag würde entweder über den Pufferspeicher durch den Holzvergaserkessel nachgeheizt oder falls dieser nicht in Betrieb ist, könnte der BWW-Bedarf durch die vorhandenen Durchlauferhitzer gedeckt werden.

Bei Vakuumröhrenkollektoren besteht die Möglichkeit, diese nach Süden hin auszurichten. Um in etwa die gleiche Deckungsrate mit Vakuumröhrenkollektoren zu erreichen, genügen ca. 4..5 m² Fläche.

4.2 Solares Brauchwarmwassererwärmung und Heizungsunterstützung

Hierbei handelt es sich um eine Kombination aus Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Einmal wird der positive Effekt im Sommer zur Brauchwassererwärmung genutzt. Man kann aber auch in den Übergangszeiten und an sonnigen Wintertagen die gespeicherte Wärme im Pufferspeicher der Solaranlage nutzen, um das Heizungssystem mit Wärme zu versorgen.

Da bereits ein Pufferspeicher für den Holzvergaserkessel vorhanden ist, kann dieser genutzt werden, um die solare Wärme entweder über einen nachzurüstenden internen oder über einen externen Wärmetauscher einzubinden.

Dies hätte den Vorteil, dass die vorhandene Installation zur BWW-Erwärmung so belassen werden kann. Allerdings müssten dann Abstriche beim Deckungsgrad der Anlage gemacht werden, da die Solaranlage nicht im kältesten Bereich des Systems einspeisen kann.

4.3 Variantenvergleich

4.3.1 Energiebilanz

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit werden die solaren Erträge mit dem Berechnungsprogramm Polysun 3.3 ermittelt.

- VARIANTE 1 Die Simulation einer Solaranlage mit einem Flachkollektor (6,9 m²) und einem Solar-BWW-Speicher (350 l) ergab einen solaren Ertrag von 1.709 kWh/a, was einem solaren Deckungsgrad von 66 % (bezogen auf den BWW-Wärmebedarf) entspricht.
- VARIANTE 2 Die Simulation der Solaranlage aus Variante 1, nur mit einem Vakuumröhrenkollektor (4,7 m²) hat einen solaren Ertrag von 1.751 kWh/a bzw. einen solaren Deckungsgrad von 68 % ergeben.
- VARIANTE 3 Für die Solaranlage zur BWW-Erwärmung + Heizungsunterstützung wird bei der Variante mit einem Flachkollektor (13,8 m²) ein solarer Deckungsgrad von 13 % (bezogen auf den Gesamtwärmebedarf) bzw. 3.709 kWh/a ermittelt.
- VARIANTE 4 Bei dieser Variante wird von einer Solaranlage mit Vakuumröhrenkollektoren (9,2 m²) anstatt des FK ausgegangen. Der solare Deckungsgrad ergibt sich dann mit 15 % bzw. 4.218 kWh/a.

Bei den Varianten 3 und 4 wird davon ausgegangen, dass an den vorhandenen Pufferspeicher ein Wärmetauscher zur Einbindung der solaren Wärme angeflanscht werden kann.

Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
------------	------------	------------	------------

Solaranlage		BWW 6,9 m ² FK	BWW 4,7 m ² VRK	BWW + Heizung 13,8 m ² FK	BWW + Heizung 9,0 m ² VRK
Heizwärmebedarf	kWh _{th} /a	25.724	25.724	25.724	25.724
BWW-Wärmebedarf	kWh _{th} /a	2.586	2.586	2.586	2.586
Gesamtwärmebedarf	kWh _{th} /a	28.310	28.310	28.310	28.310
Solarer Deckungsgrad	%	66,1	67,7	13,1	14,9
Solare Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	1.709	1.751	3.709	4.218
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	26.601	26.559	24.601	24.092
Jahresnutzungsgrad	%	80	80	80	80
Brennstoffbedarf	kWh _{Hu} /a	33.251	33.199	30.752	30.115
Holzmenge	rm/a	18,5	18,4	17,1	16,7

Tabelle 4.1 Energiebilanz Holz-Sonne-Kopplung (Variante 1 bis 4)

4.3.2 Wirtschaftlichkeit

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird von einem Heizölpreis von 0,40 Euro/l und einem Holzpreis von 10 bzw. 40 Euro/rm ausgegangen.

Da aus dem Landesprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien derzeit keine Mittel zur Verfügung stehen, wird nur die Möglichkeit eines zinsgünstigen Darlehens bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) mit einem Zinssatz von 4 % berücksichtigt.

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Solaranlage		BWW 6,9 m ² FK	BWW 4,7 m ² VRK	BWW + Heizung 13,8 m ² FK	BWW + Heizung 9,0 m ² VRK
Investitionen.	€	12.030	13.830	13.930	16.530
Kapitalkosten	€/a	1.020	1.174	1.201	1.422
Brennstoffkosten	€/a	184,73	184,44	170,84	167,31
Stromkosten	€/a	88,01	88,08	91,61	92,52
Verbrauchskosten	€/a	273	273	262	260
Schornsteinfeger	€/a	75	75	75	75
Wartung / Instandhaltung	€/a	125	125	132	130
Betriebskosten	€/a	200	200	207	205
Jahresgesamtkosten	€/a	1.493	1.646	1.671	1.887
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,27	5,82	5,90	6,67

Tabelle 4.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich für die Varianten 1 bis 4 bei einem Holzpreis von 10 Euro/rm

Bei den Investitionskosten sind die Kosten für den bereits installierten Holzvergaserkessel und den Pufferspeicher in Höhe von 7.800 Euro mit enthalten.

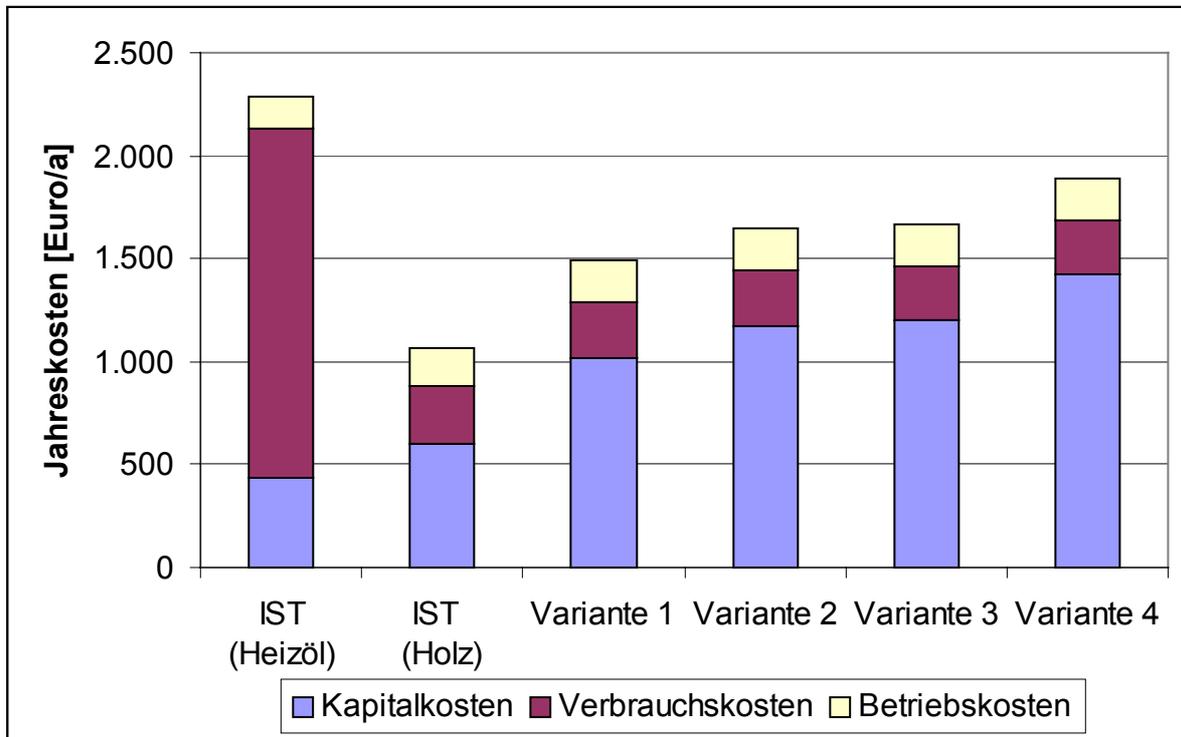


Abbildung 4.1 Jahreskosten bei einem Holzpreis von 10 Euro/rm

Aus Tabelle 4.2 und ist ersichtlich, dass bei einem Holzpreis von 10 Euro/rm der Wärmepreis aller Varianten mit Solaranlage unter dem Wärmepreis des IST-Zustandes im Heizölbetrieb mit 8,0 Ct/kWh liegt.

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Solaranlage		BWW 6,9 m ² FK	BWW 4,7 m ² VRK	BWW + Heizung 13,8 m ² FK	BWW + Heizung 9,0 m ² VRK
Brennstoffkosten	€/a	738,91	737,76	683,38	669,22
Jahresgesamtkosten	€/a	2.047	2.200	2.183	2.389
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	7,23	7,77	7,71	8,44

Tabelle 4.3 Wirtschaftlichkeitsvergleich bei einem Holzpreis von 40 Euro/rm

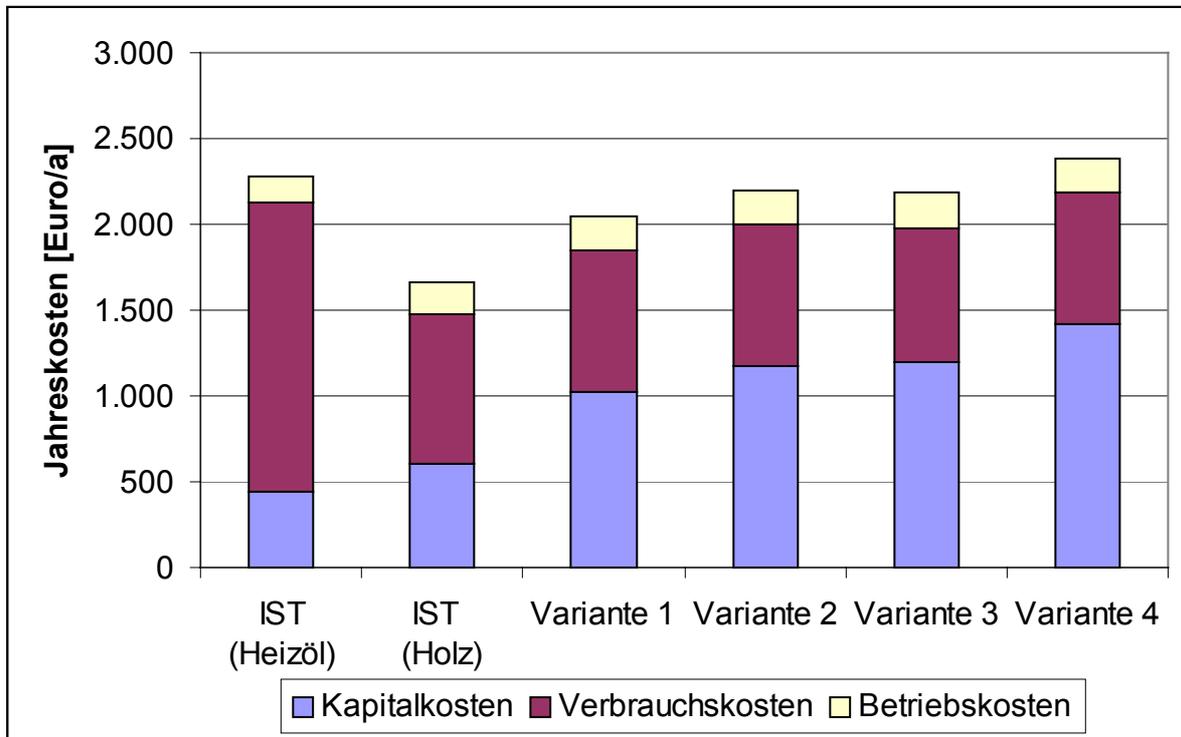


Abbildung 4.2 Jahreskosten bei einem Holzpreis von 40 Euro/rm

Wird ein Preis von 40 Euro/rm angesetzt bleiben die Varianten 1 bis 3 unter dem Wärmepreis des IST-Zustandes im Heizölbetrieb (s. Tabelle 4.3 und Abbildung 4.2).

5 Stromeinsparpotential

5.1 Vorschläge zur Verbesserung des Strom- bzw. Energieverbrauches

Die effektivste Möglichkeit Strom einzusparen ist, seine Gewohnheiten im Umgang mit elektrischen Maschinen, bzw. elektrischen Apparaten zu überdenken und diese zu ändern, ohne auf den gewohnten Luxus zu verzichten.

Hier sind einige Vorschläge:

- Die unter Kapitel 2.1 aufgezählten Leuchtmittel können durch Energiesparbirnen ersetzt werden. Die Energiesparbirnen sind zwar von ihrer Anschaffung her teurer, aber während ihres Einsatzes sparen sie Strom, da sie weniger Energie in Wärme umwandeln und deshalb mit einer geringeren Leistung auskommen als herkömmliche Glühbirnen.

Raumbezeichnung		Glühbirne	Energiesparbirne
Erdgeschoß			
Küche	W	60	15
	W	30	8
Speisekammer	W	60	15
Wohnzimmer	W	300	75
Esszimmer	W	120	30
Dienstzimmer	W	60	15
	W	40	12
WC	W	60	15
Flur	W	75	40
	W	60	15
Eingang	W	120	30
Obergeschoß			
Elternschlafzimmer	W	180	45
Kinderzimmer	W	80	24
	W	60	15
	W	2 x 20 W Halogen	2 x 20 W Halogen
Kinderzimmer	W	180	45
	W	40	12
Kinderzimmer	W	40	12
	W	60	15
Bad	W	60	15
	W	25	8
Flur	W	120	30
Summe	W	1830	491

Tabelle 5.1 Vergleich Glühbirnen und Energiesparbirnen

Durch den Einsatz von Energiesparbirnen kann die installierte Leistung um mehr als 70 % reduziert werden.

- Den stand-by-Knopf an Fernsehgeräten, Radios, Receiver oder Computern nach dem Gebrauch ausschalten, damit kann Strom gespart werden und bei Gewittern ist die Gefahr von Blitzeinschlägen sowie Überspannung (Feinsicherungen schmelzen) genommen.
- Bei der Neuanschaffung von Elektrogeräten sollte der Energiestandard A eingehalten werden. Diese Geräte sind energiesparend und umweltfreundlich.
- Durch den Einsatz eines Kondensationstrockners mit integrierter Wärmepumpe wird der Energiebedarf im Vergleich zu Abluft- bzw. konventionellen Kondensationstrocknern deutlich gesenkt werden. Dieser Trockner erreicht die Energieeffizienzklasse A und verbraucht mit 1,8 kWh pro Trockenvorgang ca. 50% weniger Strom als herkömmliche Geräte. Am sinnvollsten ist es jedoch die Wäsche im Freien bzw. im Winter im Keller zu trocknen.
- Die Durchlauferhitzer durch neue, technisch ausgereifere Geräte ersetzen oder nur im Notfall benutzen.

5.2 Wirtschaftlichkeit

Es wird hier nur die Wirtschaftlichkeit für einen Kondensationstrockner mit integrierter Wärmepumpe (Firma Ecodyr) ermittelt.

Typ	Ecodyr 502b	konventioneller Trockner
Kosten	1.190 Euro	360..1.000 Euro
Stromverbrauch	1,52 kWh _{el} /Waschgang	3,0 kWh _{el} /Waschgang

Bei einem Strompreis von 0,14 Euro/kWh_{el} und im Durchschnitt 4 Maschinen Wäsche pro Woche ergibt sich eine Amortisationsdauer von 0,6..2,7 Jahren. Wird hingegen nur eine Maschine pro Woche gewaschen ergibt sich eine Amortisationsdauer von 2,2..9,6 Jahren.

6 Photovoltaik

Eine Photovoltaik-Anlage besteht im wesentlichen aus PV-Modulen und einem Wechselrichter. Ein PV-Modul ist wiederum aus einzelnen Zellen aufgebaut.



Abbildung 6.1 PV-Modul (Quelle: Fa. Wagner)

Die Solarzellen wandeln die solare Strahlung in elektrische Energie um. Der netzgeführter Wechselrichter wandelt den Gleichstrom der Solarmodule in Wechselstrom (230V / 50 Hz) um.

Aufgrund der Vergütung des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes (EEG) wird die gesamte Stromproduktion einer PV-Anlage in das öffentliche Netz eingespeist. Die vom Netz bezogene und die ins Netz eingespeiste Energie wird in der Regel mit zwei Zählern registriert.

Das Forsthaus mit seinen Bewohnern hat einen jährlichen Stromverbrauch von ca. 4.550 kWh_{el}/a. Um diesen Verbrauch bilanziell betrachtet durch eine Photovoltaik-Anlage zu 100 % decken zu können, benötigt man bei einem mittleren Ertrag von 750..850 kWh_{el}/(kW_{Peak}*a) eine installierte Leistung von ca. 5,5..6,0 kW_{Peak}. Dies entspricht wiederum bei einer Modulleistung von 120 W_{Peak}/m² einer Modulfläche von ca. 45..50 m². Diese Modulfläche könnte auf dem nach Süden orientierten Dach des Nebengebäudes mit einer Fläche von ca. 83 m² installiert werden.

Die Investitionskosten für die gesamte Anlage liegen bei ca. 40.000..42.000 Euro. Geht man von einer PV-Anlage mit einer Leistung von 6 kW_{Peak}, einem Ertrag von 800 kWh_{el}/(kW_{Peak}*a) und Investitionskosten in Höhe von 42.000 Euro aus ergibt sich in Abhängigkeit vom angesetzten Zinssatz die in der Tabelle 6.1 aufgeführten Amortisationszeiten.

elektr. Spitzenleistung	kW _{Peak}	1	6	10	50
spez. Investitionen	EURO/kW _{Peak}	7.500	7.000	6.500	6.000
Amortisationsdauer bei 6%	a	27	25	23	22
Amortisationsdauer bei 3%	a	24	22	20	19

Tabelle 6.1 Amortisationszeiten in Abhängigkeit von den Investitionskosten und dem Zinssatz

Ansicht Süddach Wirtschaftsgebäude – Siehe Anhang

7 Fördermöglichkeiten

7.1 Dämmung

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bietet zwei Förderprogramme an, die den Bereich der Dämmung, sowie den Einbau neuer Fenster und Türen umfasst.

Diese Programme sind :

1. KfW-Programm zur CO₂-Minderung
2. KfW-Programm zur CO₂-Gebäudesanierung

Förderprogramm	maximale Förderung Euro/m ²	Förderung %	Auszahlung %	Laufzeit Jahren	tilgungsfreie Anlaufjahre Jahren	Zinssatz nominell %	Zinssatz effektiv %	Provis- ion %
CO ₂ -Minderung	250	100	100	20	3	3,85	4,49	0,25
CO ₂ -Gebäude- sanierung	250	100	100	20	3	2,4	2,42	0

Tabelle 7.1 Fördermöglichkeiten für Dämmmaßnahmen

Anträge können von den Trägern der Investitionsmaßnahmen an selbstgenutzten oder vermieteten Wohngebäuden gestellt werden. So z.B. von:

- Privatpersonen
- Wohnungsunternehmen
- Gemeinden
- Kreise
- Gemeindeverbände
- Sonstige Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts

7.2 100.000-Dächer-Programm

Beim Aufbau einer Photovoltaikanlage besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit der KfW in Anspruch zu nehmen.

- bis 5 kW_{Peak}
bekommt man einen Kredit in Höhe von 6.230 Euro je kW_{Peak}
- ab 5 kW_{Peak}
bekommt man einen Kredit in Höhe von 3.115 Euro je kW_{Peak}

Der effektive Zinssatz des Kredites beläuft sich zur Zeit auf 1,91 %.

Gefördert werden Privatpersonen, Vereine, private Stiftungen, freiberuflich Tätige sowie kleine und mittlere private gewerbliche Unternehmen (einschließlich Unternehmen der Wohnungswirtschaft), die weniger als 250 Personen beschäftigen und deren Jahresumsatz höchstens

40 Mio. Euro oder deren Bilanzsumme höchstens 27 Mio. Euro erreicht und die nicht zu 25 % oder mehr im Besitz von einem oder mehreren Unternehmen stehen, welche die genannten Grenzen nicht einhalten (Ausnahmen sind in begründeten Einzelfällen möglich).

7.3 Erneuerbaren-Energie-Gesetz (EEG)

Der gesamte, durch die Photovoltaikanlage erzeugte Strom muss zu 100 % ins öffentliche Netz eingespeist werden. Für eine im Jahr 2003 in Betrieb genommene Anlage beläuft sich die Einspeisevergütung für die nächsten 20 Jahre auf 45,7 Cent/kWh. Anlagen die in 2004 in Betrieb genommen werden erhalten eine um 5 % herabgesetzte Vergütung.

7.4 Erneuerbare Energien

Mit dem "Marktanreizprogramm zur Nutzung erneuerbarer Energien", das im September 1999 startete, motiviert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) Bürger und Unternehmen, die neuen Energietechnologien zu nutzen.

Antragsberechtigt sind Privatpersonen, Freiberufler sowie kleine und mittlere private gewerbliche Unternehmen (nach der Definition der Europäischen Gemeinschaften), wenn sie Eigentümer, Pächter oder Mieter der Anwesen sind, auf denen die Anlagen errichtet, erweitert oder reaktiviert werden sollen. Anträge können auch Energiedienstleister (Kontraktoren) stellen, wenn die Anlagen bei den vorstehend genannten Antragsberechtigten errichtet, erweitert oder reaktiviert werden (diese sind über die Antragstellung in Kenntnis zu setzen).

Ausgeschlossen sind Gebietskörperschaften sowie juristische Personen des privaten Rechts, die sich überwiegend im Eigentum von Gebietskörperschaften befinden; Kirchengemeinden und Stiftungen des öffentlichen Rechts.

7.4.1 Solarkollektoranlagen

Der Fördersatz je angefangenem m² errichteter Bruttokollektorfläche beträgt einheitlich für alle Kollektortypen 125 Euro/m², maximal jedoch 25.000 Euro.

7.4.2 Biomasse

Zuschüsse werden nur für automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse bis zu einer Nennwärmeleistung von 100 kW gewährt. Der Zuschuss beträgt 55 Euro/kW errichteter installierter Nennwärmeleistung, mindestens jedoch 1.500 Euro bei Anlagen mit einem Kesselwirkungsgrad von mindestens 90 %.

8 Zusammenfassung

Die Untersuchung des IST-Zustandes des Forsthauses mittels einer Blower-Door-Messung und einer Gebäudethermografie ergab gravierende Mängel bei den Fenster und den Außentüren. Die Zugserscheinungen über die die Bewohner klagen, wurden durch die Blower-Door-Messung bestätigt. Im Rahmen einer Gebäudesanierung sollten die Fenster und Außentüren abgedichtet bzw. ausgetauscht werden.

Der Vergleich der spezifischen Investitionskosten (bezogen auf die eingesparte Energie) für die einzelnen Dämmmaßnahmen zeigt, dass eine Dämmung der Außenwand die günstigste Variante darstellt. Hierbei ist zu entscheiden, ob aufgrund der Fachwerkfassade eine Innendämmung zur Ausführung kommen soll oder ob eine 4 cm starke Dämmung von außen aufgebracht wird. Eine stärkere Dämmung hat aufgrund des geringen Dachüberstandes und der Fensterbänke deutlich höhere spezifische Investitionskosten zur Folge.

Somit ist bei einer Gebäudesanierung die Außenwanddämmung in Verbindung mit dem Austausch der Fenster zu empfehlen, da dann Synergieeffekte (z.B. bei den Gerüstkosten) genutzt werden können.

Für die in der Hauptsache beheizten Räume (z.B. Küche, Wohnzimmer) könnte ein dezentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (WRG) eingesetzt werden.

Die durch die Gebäudethermografie sichtbar gewordenen Schwachstellen bei der Dämmung der Dachschräge sollten behoben werden. Hierbei ist eine Nachbesserung einer Erneuerung vorzuziehen. Die oberste Geschossdecke kann mit vertretbarem Aufwand zusätzlich gedämmt werden.

Eine nachträgliche Dämmung der Kellerdecke mit Vakuumdämmplatten ist zu empfehlen. Allerdings müsste hier ein entsprechender Schutz der Oberfläche vorgesehen werden, der die Vakuumdämmplatten vor Beschädigungen schützt.

Um die EnEV 2002 einzuhalten, müsste ein Betrag von ca. 23.300 Euro aufgewendet werden. Um den NEH-Standard einzuhalten, erhöht sich der Betrag auf 26.605 Euro.

Bei der Untersuchung des Einsatzes von regenerativen Energien wurde ermittelt, dass die Installation einer Solaranlage sinnvoll ist. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass bei den derzeitigen Rahmenbedingungen eine Solaranlage in Verbindung mit einem Holzvergaserkessel günstiger ist, als die Wärmeversorgung auf der Basis von Heizöl. Jedoch ist die Installation einer Solaranlage (ob nun Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren) nur dann empfehlenswert, wenn die Mängel am Gebäude behoben wurden.

Die bilanzielle Deckung des Jahresstromverbrauchs durch eine Photovoltaik-Anlage ist prinzipiell realisierbar. Die hierfür benötigte Modulfläche von ca. 50 m² könnte auf dem nach Süden orientierten Dach des Nebengebäudes installiert werden. Allerdings sind die hierfür notwendigen Mittel in Höhe von ca. 40.000 Euro im Bereich der Gebäudesanierung sinnvoller investiert.