



Umsetzungsprojekt: Integrale Planung und Steuerung der nachhaltigen Modernisierung des Gebäudebestands und der Energieversorgung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode

## **Bericht Modernisierung des Gebäudes "Wabehaus"**

Der Bericht wurde erstellt von /  
Das Projekt wurde bearbeitet von:

**Datenstand: 15.12.2013**

Die Verantwortung für den Inhalt  
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

Dr.-Ing. Kati Jagnow, Braunschweig  
B. Eng. Marius Mieke, Wolfenbüttel  
cand. Ing. Shun Zhang, Wolfenbüttel  
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung und Grunddaten</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung der Modernisierung</b> .....	<b>4</b>
2.1	Allgemeine Beschreibung.....	4
2.2	Geplanter und erreichter Zustand der Gebäudehülle.....	4
2.3	Geplanter und erreichter Zustand der Anlagentechnik.....	6
2.4	Geplantes und erreichtes Nutzerverhalten.....	8
2.5	Fazit zur Umsetzung.....	9
<b>3</b>	<b>Verbrauchsauswertung</b> .....	<b>11</b>
3.1	Medienkosten.....	11
3.2	Wärmeverbrauch.....	12
3.3	Stromverbrauch.....	15
3.4	Wasserverbrauch.....	16
<b>4</b>	<b>Energiebilanzierung</b> .....	<b>17</b>
4.1	IWU-Wärmebilanz.....	17
4.2	Optimierung.....	18
4.3	Fazit der Bedarfsberechnungen.....	18
<b>5</b>	<b>Kosten und Wirtschaftlichkeit</b> .....	<b>19</b>
5.1	Medienkosten.....	19
5.2	Wartung- und Instandhaltungskosten.....	19
5.3	Investitionskosten.....	20
5.4	Gesamtkosten und Wirtschaftlichkeit.....	21
<b>6</b>	<b>Solarsimulation</b> .....	<b>23</b>
6.1	Grunddaten.....	23
6.2	Simulationsergebnisse und Vergleich.....	24
<b>7</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>27</b>
8.1	Quellen.....	27
8.2	Separate Anhänge.....	27

# 1 Aufgabenstellung und Grunddaten

Der vorliegende Bericht beleuchtet das dritte Modernisierungsprojekt der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: das Wabehaus.

Es handelt sich um ein freistehendes Gebäude in der Größe eines kleineren Mehrfamilienhauses, welches in mehreren Teilabschnitten errichtet wurde. Das angegebene Baujahr (1934) bezieht sich höchstwahrscheinlich auf den Anbau Nord, der links vom Haupteingang angeordnet ist. Die Ursprünge der Bausubstanz wurden aber vermutlich Ende des 19. Jahrhunderts errichtet.

Die Modernisierung im Jahre 2010/11 brachte das Gebäude durch sehr guten baulichen Wärmeschutz und eine teilmodernisierte Anlagentechnik auf ein fast dem Neubau entsprechendes Niveau. Die Planung, Umsetzung sowie das Betriebsverhalten der Dauernutzung werden analysiert.

Für das Gebäude sind gegeben:

- die Energiebilanzen für Bestand [3] und die Modernisierung
- aktuelle und frühere Verbrauchsdaten [1] [5] [6] [7]
- Investitionskosten für Wartung und Unterhalt der letzten Jahre [2]
- die Kostenauswertung zur Modernisierung [4]

Kapitel 2 beschreibt die Modernisierungsmaßnahmen, welche für das Wabehaus umgesetzt wurden und vergleicht den geplanten und den umgesetzten Zustand. Falls Abweichungen bestehen, werden diese kritisch beleuchtet. Dies betrifft auch das Nutzerverhalten.

In Kapitel 3 werden die Verbrauchsdaten analysiert. Es wird aufgezeigt, inwieweit sich Wärme, Strom, und Wasserkennwerte geändert haben und eine Einsparung eingetreten ist und inwieweit die Prognosen zur Einsparung mit der tatsächlich eingetretenen Einsparung übereinstimmen.

Die Ergebnisse der theoretischen Energiebilanzen werden in Kapitel 4 ausgewertet. Das betrifft den Bestand, die real erreichte Modernisierung sowie eine mit angepasstem Nutzerverhalten veränderte Bilanz.

Den Kosten der Modernisierung und der sich daraus ableitbaren Wirtschaftlichkeit widmet sich Kapitel 5. Den Kapitalkosten, die der energetischen Verbesserung zuzuordnen sind, werden hochgerechnete jährlich gesparte Energiekosten gegenüber gestellt.

Das Kapitel 6 fasst eine parallel durchgeführte Solarsimulation zusammen.

Das Fazit ist Kapitel 7 zu entnehmen. Es ist folgendes zusammenfassend festzuhalten: die Modernisierung hat eine große Einsparung im Bereich Wärme (ca. -45 %) gebracht. Der Stromverbrauch ist zurückgegangen – allerdings proportional zur Belegung (ca. -20%). Der Wasserverbrauch pro Kopf ist leicht gestiegen (ca. +10%), aber absolut gesunken (ca. -10%).

Die Modernisierungskosten liegen bei insgesamt (ca. 1250 €/m<sup>2</sup>), wovon ca. 30 % als energetische Kosten eingestuft werden können. Beide Kennwerte sind vergleichsweise gering, da keine Vollmodernisierung stattgefunden hat. Das Projekt ist knapp allein aus den Energieeinsparungen refinanzierbar – eine Preissteigerung der Energie und ein etwas sparsameres Nutzerverhalten vorausgesetzt.

## 2 Beschreibung der Modernisierung

Der erste Abschnitt erläutert die Modernisierung der Gebäudehülle und Anlagentechnik mit den geplanten Zielen und den erreichten Zuständen sowie aufgetretenen Schwierigkeiten. Darüber hinaus wird das Nutzerverhalten vor und nach Modernisierung eingeschätzt.

### 2.1 Allgemeine Beschreibung

Das Wabehaus ist ein Pflegeheim, welches um 1900 als Fachwerkhaus erbaut wurde. Es wurde ca. 1935 um einen massiven Anbau erweitert. Die Gebäudehülle war vor der Modernisierung 2010/11 in einem erneuerungsbedürftigen Zustand – sowohl hinsichtlich des äußeren Erscheinungsbildes als auch energetisch.

Das Gebäude hat einen L-förmigen Grundriss und ist voll unterkellert. Es hat einen innenliegenden Treppenabgang zum weitgehend unbeheizten Keller. Der einzig beheizbare Kellerraum wird nur selten genutzt und wird daher in der energetischen Betrachtung vernachlässigt. Die Hauptrichtung des Dachfirsts verläuft auf einer gedachten Linie zwischen Osten und Westen, sodass die Dachflächen Richtung Norden und Süden orientiert sind.

Im Zuge der Modernisierung des Gebäudes wurden folgende Bereiche geändert bzw. verbessert:

- Dämmung der Gebäudehülle (Flächen an Außenluft o. unbeheizte Räume),
- Erneuerung der Dacheindeckung,
- Erneuerung des Nahwärmeanschlusses,
- Erstellung einer solarthermischen Anlage mit Frischwasserstation,
- Außenverkleidung Holz (gemäß Dorferneuerungsprogramm),
- Sanierung einzelner Räume,
- Abriss des Wirtschaftstrakts.

Die Bewohnerzimmer sind dagegen weitgehend unverändert vorhanden. Der Nutzungszweck des Gebäudes wurde nicht geändert. Die beheizte Wohnfläche beträgt 745,8 m<sup>2</sup>. Die Zahl der Bewohner hat sich auf 20 zu betreuende Personen und 2 Personen des Pflegepersonals reduziert.

Gebäudedaten:

Bruttorauminhalt:	2916,2 m <sup>3</sup>
beheizte Fläche:	745,8 m <sup>2</sup>

Hinweis: vor der Modernisierung betrug die Wohnfläche 617,4 m<sup>2</sup>. Die Differenz zu dem Kennwert oben ergibt sich vermutlich auf einem abweichenden Flächenaufmaß. Innerhalb des vorliegenden Berichtes sind alle Kennwerte mit der neuen Fläche.

### 2.2 Geplanter und erreichter Zustand der Gebäudehülle

Leitlinie für die Planung der verbesserten Gebäudehülle war für die Ostfalia das Modell "Passivhaus im Bestand" bzw. "Hochwertige Modernisierung". Die tatsächlich umgesetzte Verbesserung der Hüllbauteile wird nachfolgend beschrieben.

## **Außenwände**

Die U-Werte der unterschiedlichen Bestandswände lagen bei ca.  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Die Dämmung der Außenwände wurde im Grundlagenprojekt 2007/08 geplant mit 12 cm Mineralwolle der Wärmeleitgruppe 040 auf die Fachwerkwände und 22 cm WLF 035 auf die Massivwände. Die Ziel-U-Werte lagen bei  $0,27 \dots 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Die Ausführung ist mit 16 cm Dämmstoffstärke WLG 035 (Mineralwolle) erfolgt, was zu U-Werten von  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  für die Fachwerkwände und  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  für die Massivwände führt. Damit ergibt sich im Mittel der geplante Zustand.

## **Fenster und Fenstertüren**

Die alten Fenster (Kunststofffenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasung) hatten U-Werte von ca.  $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Die neuen Fenster wurde 2007/08 geplant vorgeschlagen als Dreischeibenfenster mit einem U-Wert von  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Ausgeführt wurden Zweischeibenfenster mit U-Werten um  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Damit liegt die Ausführung – aus Kostengründen – etwas schlechter als die Planung. Da der Fensterflächenanteil insgesamt sehr gering ist, ist diese Abweichung energetisch als gering einzustufen.

## **Außen- und Innentüren zum Keller**

Alle Außen- und Innentüren wurden in der Planung mit einem U-Wert von  $1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angenommen.

Installiert wurden Außentüren mit  $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und Innentüren zum unbeheizten Keller mit einem U-Wert von  $1,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Die Türen des Bestandes hatten U-Werte von geschätzt  $3,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

## **Oberste Geschossdecke und Dachbodenlücke**

Der Bestand wies bereits eine Dämmung von 10 ... 12 cm Dicke auf der obersten Geschossdecke auf ( $U = 0,27 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ). Außerdem war eine einfache ungedämmte Holzdachbodenlücke mit einem U-Wert von ca.  $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  vorhanden.

Im Grundlagenprojekt wurde 2007/08 der Einbau einer gedämmten Bodenlücke mit Dichtung ( $U = 0,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ) vorgeschlagen sowie die zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit 12 cm Dämmung der WLG 035 ( $U = 0,13 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

Die Ausführung erfolgte mit der geplanten Qualität und Dicke als lose verlegte Mineralwolle. Die neue Bodenlücke hat einen U-Wert von  $1,04 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

## **Dachschräge**

Der U-Wert lag im Bestand bei  $0,52 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Eine innere Verkleidung aus verputzten Holzwoleplatten wurde angenommen.

Die Dämmung der Dachschräge wurde 2007/08 vorgeschlagen mit zusätzlichen 16 cm Dämmung zwischen und 12cm auf oder unter den Sparren (jeweils WLG 035). Der U-Wert läge dann bei  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Umgesetzt wurde eine Zwischensparrendämmung im Zuge der Neueindeckung, so dass sich ein U-Wert von  $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ergibt.

## **Kellerdecke**

Als Dämmung der Kellerdecke waren im Vorkonzept 12 cm WLG 022 von unten vorgesehen. Der anvisierte U-Wert lag bei 0,16 W/(m<sup>2</sup>K).

Installiert wurden schließlich 8 cm Mineralwolle der WLG 030. Der U-Wert verbesserte sich damit von 1,20 W/(m<sup>2</sup>K) auf 0,32 W/(m<sup>2</sup>K). Er ist nur halb so gut, wie vorgeschlagen.

## **Innenwände zum unbeheizten Keller**

Die Dämmung wurde 2007/08 nicht detailliert geplant. Erreicht wurde in der Modernisierung ein U-Wert von 0,32 W/(m<sup>2</sup>K).

### **2.3 Geplanter und erreichter Zustand der Anlagentechnik**

Als Heizsystem kommt eine konventionelle Pumpenwarmwasserheizung mit nach der Modernisierung indirekten Anschluss an die Nahwärme zum Einsatz. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt mit einer Frischwasserstation aus einem zentralen Pufferspeicher. Es ist eine Solarthermieanlage zur Heizung und Trinkwarmwasserbereitung vorhanden, jedoch keine Lüftungstechnik.

Nachfolgende Ausführungen gleichen die Projektideen aus dem Grundlagenprojekt mit denen der realen Ausführung ab.

## **Heizungs- und Trinkwarmwassernetz**

Die Heizkörper, Ventile und das Rohrnetz sind weitgehend so übernommen worden, wie im Bestand vorhanden. Wenige Umbauarbeiten und Erweiterungen an der Anlage wurden durchgeführt, da die Räume größtenteils nicht modernisiert wurden.

Eine Zusammenstellung der Leitungslängen gibt die Energiebilanzierung (separater Anhang). Es sind ca. 320 m Heizungsrohrnetz und 240 m Trinkwarmwassernetz (incl. Zirkulation) für 746 m<sup>2</sup> beheizte Fläche installiert, d.h. ca. 0,8 m/m<sup>2</sup>.

Es ist eine Zirkulation vorhanden. Die Leitungen unter der Kellerdecke sowie Steigestränge wurden nachträglich wärme gedämmt, wie im Energiekonzept 2007/08 vorgeschlagen.

## **Hydraulischer Abgleich und Raumregelung**

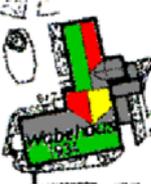
Die Regelung der Heizflächen erfolgt mit Thermostatventilen, die größtenteils bereits im Bestand vorhanden waren. Lediglich die neuen Heizkörper haben neue Ventile.

In der Konzeptphase 2007/08 wurde ein hydraulischer Abgleich der Anlage vorgeschlagen. In der Umsetzungsphase wurde dieser nicht bzw. nicht nachvollziehbar durchgeführt – mit der Begründung, dass die Bestandsheizflächen nur grob einreguliert werden könnten.

Auch dies ist bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung ein Streitpunkt zwischen den Projektbeteiligten und dem Planer.

## **Solarthermie und Speicher**

In der Vorplanungsphase 2007/08 war keine Solaranlage vorgesehen [3]. Im Rahmen einer Voranalyse für Solarthermie und Photovoltaik wurden 2009 geeignete Flächen identifiziert und eine Grobschätzung der notwendigen Kollektorfläche vorgenommen [10]. Wegen der damals noch vorhandenen Verschattung nach Süden durch Bäume, ergab sich als empfohlene Installationsfläche das Ostdach. Näherungsweise 34 m<sup>2</sup> Kollektorfläche ergaben in der Grobplanung einen Deckungsanteil von 30 %.

Grunddaten		Solarskizze:			
Gebäudetyp	B – Pflege und Werkstätten				
beheizbare Flächen, in m²	617,4				
Personenbelegung	28				
Bilanzranddaten					
Sommerleistung aus Messg.	8,7 kW				
TWW-leistung aus Bilanz	5,8 kW				
zugrunde gelegt	6,2 kW				
Endenergie für Warmwasser	53,9 MWh/a				
angenommener Deckungsanteil für Solarthermie	30%				
durch Solaranlage einsparbare Energiemenge	16,2 MWh/a				
Dachflächen	W) Westen	S) Süden	F) Flach	O) Osten	Summe
<b>1) sehr gute Eignung</b>	---	---	---	30° benötigt: 34 m² vorhanden: 56 m² 	vorhanden: 56 m²
<b>2) gute Eignung</b>	---	---	---	---	vorhanden: 0 m²
<b>3) mäßige Eignung</b>	45° benötigt: 46 m² vorhanden: 56 m² 	---	---	40° benötigt: 46 m² vorhanden: 54 m² 	vorhanden: 110 m²
<b>Summe</b>	vorhanden: 56 m²	vorhanden: 0 m²	vorhanden: 0 m²	vorhanden: 110 m²	vorhanden: 166 m²

**Bild 1 Voruntersuchung Solarthermie [10]**

Die tatsächlich installierte Solaranlage ist auf der Gaube der südlichen Seite des Daches montiert. Die Neigung der Kollektorfläche ist 25° in der Horizontalen und der Azimutwinkel beträgt 0°. Der Kollektor-Typ ist F-552 der Firma Solvis hat eine Gesamtkollektorfläche von 20,64 m². Es fließt ein Gesamtvolumenstrom von etwas mehr als 400 l/h.

Es gibt insgesamt 3 Speicher: 1 x 30 Liter Vorratsspeicher und 2 x 750 Liter Heizwasserpufferspeicher. Sowohl die Heizung als auch die Trinkwarmwasserbereitung werden aus den Speichern ausgekoppelt.

Die Solarthermieanlage im Wabehaus bildet bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung einen Streitpunkt zwischen den Projektbeteiligten, dem Planer, der Herstellerfirma. Sie wurde auf Basis einer fehlerbehafteten Vorabmessung aus dem Jahre 2010 stark unterdimensioniert. Darüber hinaus ist im Realbetrieb eine starke Durchmischung der Speicher aufgrund mehrerer regelungstechnischer und hydraulischer Probleme festzustellen.

Alles in allem werden nicht annähernd sinnvolle bzw. geplante Deckungsanteile erreicht, die entweder eine sommerliche Trennung des Gebäudes vom Nahwärmenetz ermöglichen würden oder andererseits auch nur annähernd zu einer Wirtschaftlichkeit führen. Dem Thema widmet sich ein separater Bericht [9].

## zentrale Heizungsregelung

Die energetische Bewertung des Gebäudes im Grundlagenprojekt sieht eine geschätzte Heiznetztemperatur für den optimierten Zustand von 55/45°C vor. Der Realbetrieb läuft mit nährungsweise 65/50°C.

Ein großes Problem in der Praxis sind die beiden autarken Regelsysteme der Solarthermie und der Nahwärme. Hier liegt ein Vorschlag eines externen Planers für eine Anlagenoptimierung vor. Eine Umsetzung ist noch offen.

## Pumpen

In der Phase der Vorkonzepterstellung wurde empfohlen, sowohl die Heizungs- als auch die Zirkulationspumpe als Hocheffizienzpumpen auszuführen. Dies ist im Rahmen der Modernisierung auch so erfolgt.

Die zur Anlage gehörigen Pumpen sind Teil des Komplett-Solarpaketes der Firma Solvis. Tabelle 1 zeigt Annahmen zu mittleren Leistungen und Laufzeiten. Die Abschätzung erfolgte auf Basis der angezeigten Leistungen der Pumpen bei mehreren von Vor-Ort-Terminen.

		<b>maximale Leistung</b>	<b>mittlere Betriebsleistung, geschätzt</b>	<b>Laufzeit, geschätzt</b>
Heizungspumpe	Grundfos Alpha2 32-60	45 W	10 W	24 h/d, 319 d/a
Zirkulationspumpe	Grundfos Alpha2 25-40 N	22 W	5 W	24 h/d, 365 d/a
Zirkulationsladepumpe	Wilo RS 15/7-1 P	132 W	132 W	24 h/d, 365 d/a
Primärladepumpe, Solar	Grundfos Magna 32-60	85 W	85 W	3 h/d, 365 d/a
Sekundärladepumpe, Solar	Grundfos UPS 15-40, Stufe 3	45 W	45 W	3 h/d, 365 d/a
Speicherladepumpen	Grundfos UPS 15-40, Stufe 3	45 W	45 W	12 h/d, 365 d/a

**Tabelle 1 Hilfsenergien**

Kritisch anzumerken sind die langen Laufzeiten der Speicherladung bzw. der Betrieb der Ladepumpen. Hier ist im Rahmen einer anlagentechnischen Betriebsoptimierung weiteres Einsparpotential gegeben.

### **2.4 Geplantes und erreichtes Nutzerverhalten**

Es kann vor und nach Modernisierung von wohnähnlicher Nutzung ausgegangen werden, da die Bewohner (teilweise) einer Arbeit nachgehen und dazu geregelt in der Woche das Haus verlassen. Im Gebäude sind nach der Modernisierung 20 Personen untergebracht und werden durchgehend von zwei weiteren Personen betreut. Vorher waren es 26 Bewohner und 2 Betreuer.

Das Nutzerverhalten wird beschrieben durch Annahmen zur Innentemperatur, zum Luftwechsel, Warmwasserbedarf und der internen Wärmelast aus Nutzung elektrischer Geräte. Diese Werte werden jeweils durch einen charakteristischen Mittelwert beschrieben (Mittel Tag-/Nacht, Mittel aller beheizten Flächen bzw. aller Personen, Heizperioden- bzw. Jahresmittel).

### **Innentemperatur**

Im Bestand wurde von 20°C als repräsentativer Mittelwert ausgegangen (21°C zzgl. Nachabsenkung und Teilbeheizung). Anhand dieses Wertes ließ sich der Verbrauch vor der Modernisierung erklären.

Für den modernisierten Zustand liegt diese Größe vermutlich etwas höher, wie die Verbrauchswerte vermuten lassen. Wird der Wert auf 21°C gesetzt (22°C Sollwert in den Bewohnerzimmern tagsüber), ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Verbrauch.

## Luftwechsel

Es wird von einem für Wohnbauten normalen Lüftungsverhalten (Luftaustausch 0,7 Mal pro Stunde) ausgegangen, da dichte Fenster vorhanden sind und keine übermäßige Belüftung bei der Begehung und im Gespräch festgestellt werden konnte. Diese Annahme trifft auf die Zustände vor und nach der Modernisierung zu.

## Warmwasserbedarf

Die Trinkwarmwasserwärmemenge wird mit knapp 1100 kWh/(P · a) abgeschätzt. Sie ergibt sich unter der Annahme, dass ca.  $\frac{1}{3}$  des gemessenen Gesamtwasserverbrauchs (= 51 Liter je Person und Tag) erwärmt werden von 10°C auf ca. 60°C. Das deckt sich mit der Prelog-Messung der Firma Solvis.

SolvisPrelog Auswertung - Schnellauswertung		
<b>Warmwasser</b>		
Tagesbedarf (bezogen auf 60 °C WW-Temp.)	min. durchschn. max.	484,8 l 1115,7 l 2325,4 l
Durchschnittliche Warmwassertemp.	57,1 °C	
Max. Verbrauch in 10 Min. (bezogen auf 60 °C WW-Temp.)	218,0 l	
Täglicher Warmwasserenergiebedarf	61,44 kWh	

**Bild 2 Prelog-Messung Solvis**

## Interne Wärmeleistung

Im Bestand und in der Planungsphase wurden als interne Wärmeleistung (Personenabwärme und Nutzung elektrischen Stroms) mit 3,2 W/m<sup>2</sup> Dauerleistung angenommen. Es handelt sich hierbei um einen Standardwert für Mehrfamilienhäuser.

Die Auswertung des Realzustandes erlaubt eine genauere Abschätzung, u. a. unter Auswertung des Stromverbrauchs. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 20 Personen anwesend sind und ca. 90 % des Stromverbrauchs des Gebäudes als Wärmeeintrag im beheizten Bereich anfallen. Die Dauerleistung liegt dann bei 5,1 W/m<sup>2</sup>.

## 2.5 Fazit zur Umsetzung

Die Umsetzung der Modernisierung im Wabehaus erfolgte deutlich problemärmer als im Gebäude Elm. Es handelte sich um das dritte große Modernisierungsvorhaben. Außerdem wurde keine Vollmodernisierung durchgeführt, d.h. viele Zimmer und Anlagenbestandteile sind im Urzustand erhalten geblieben. Die Heizkörper haben somit ein hohes Alter. Die Trinkwarmwasseranlage ist vergleichsweise neuwertig, weil sie zum Zeitpunkt der Modernisierung erst wenige Jahre alt war.

Begründet in dieser Teilmodernisierung ergibt sich der Umstand, dass keine "wartungs- oder instandsetzungsarme Phase" feststellbar ist. Kurz nach Wiederaufnahme der Nutzung setzt bereits die reguläre Instandhaltung mit z.B. Heizkörperaustausch etc. wieder ein. Künftige Projekte sollten dies vermeiden – eine Komplettmodernisierung ist sinnvoller. Zumal dann die Technik in etwa ein Alter hat und der nächste Sanierungszyklus planbarer ist.

Darüber hinaus ist auch der Teilerhalt der Technik dafür verantwortlich, dass es Streitigkeiten über Planungsleistungen – wie den hydraulischen Abgleich der Gesamtanlage (!) – in diesem Projekt aufgekommen sind. Die Konsequenz für künftige Bauprojekte ist, dass die gesamte Erfassung und Dokumentation von bestehenden Anlagenteilen separat beauftragt wird, sofern sie erhalten werden sollen.

Die Umsetzung bzw. auch der Dauerbetrieb der Solarthermieanlage – im Wabehaus die erste innerhalb der Stiftung – stellte sich als kritisch heraus. Zunächst wurde die Anlage unterdimensioniert. Die Messwerte, welche hierzu herangezogen wurden, waren fehlerbehaftet. Die Voruntersuchungen aus dem Grundlagenprojekt wurden nicht beachtet – sonst wäre die Fehleinschätzung schnell aufgefallen. Fazit ist ein Solarertrag, der nicht annähernd zu einer sommerlichen Volldeckung (mit Option einer möglichen Netztrennung des Gebäudes von der Nahwärme) führt.

Darüber hinaus ergeben sich regelungstechnische Probleme. Solar- und Nahwärmeregulierung sind nicht miteinander verbunden, Sollwerte für Speichertemperaturen etc. teils zu hoch eingestellt. Fazit ist ein sehr geringer Solarertrag und hohe Hilfsenergien, die die Anlage stark unwirtschaftlich machen.

Während der Bauausführung der Dämmmaßnahmen wurden nur wenige Abstriche bezogen auf die Ideen eines "hochwertigen Zustandes" von 2007/08 gemacht. Es ist ein Zustand erreicht worden, der in etwa einem heutigen EnEV-Neubau entspricht.

Die Außenwände und Fenster wurden hochwertig ausgeführt. Die Dämmdicken des oberen und unteren Gebäudeabschlusses wurden jedoch geringer ausgeführt. Insbesondere bei der Kellerdecke wurde der Ziel-U-Wert aus dem Grundlagenprojekt deutlich nicht erreicht (ca. 2 x so schlecht).

Das Nutzerverhalten ist – vor allem in Hinblick auf die Innentemperatur – etwas intensiver als vorher vermutet. Dies führt zu leicht erhöhten Verbrauchswerten.

## 3 Verbrauchsauswertung

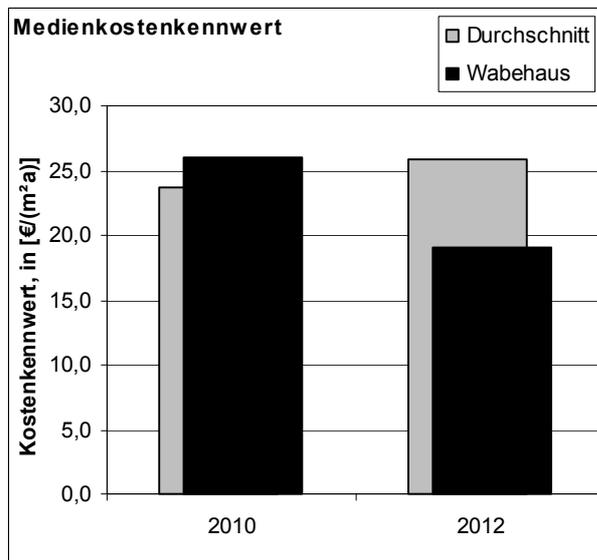
Der folgende Abschnitt fasst die erreichten Einsparungen für die einzelnen Medien des Gebäudes zusammen. Es werden absolute und soweit sinnvoll auch flächen- und personenbezogene Werte angegeben.

Als Basis des detaillierten grafischen Vergleichs – mit Energieanalysen monatlicher Messwerte – dienen die Auswertungen der Jahre 2008 bis 2010 vor der Modernisierung und der Jahre 2011 bis 2013 nach der Modernisierung.

Da nachfolgend andere Messzeiträume ausgewertet werden als im abschließenden Bericht zur Solarthermie [9], ergeben sich leicht abweichende Ergebnisse. Die Grundaussage ist jedoch jeweils vergleichbar.

### 3.1 Medienkosten

Bild 3 zeigt zum Einstieg die Medienkosten des Wabehauses im Vergleich zum mittleren Kennwert aller Neuerkeröder Gebäude. Basis sind die jeweiligen witterungskorrigierten Verbräuche vor und nach Modernisierung. Es gelten die Preise von 2010 und 2012.

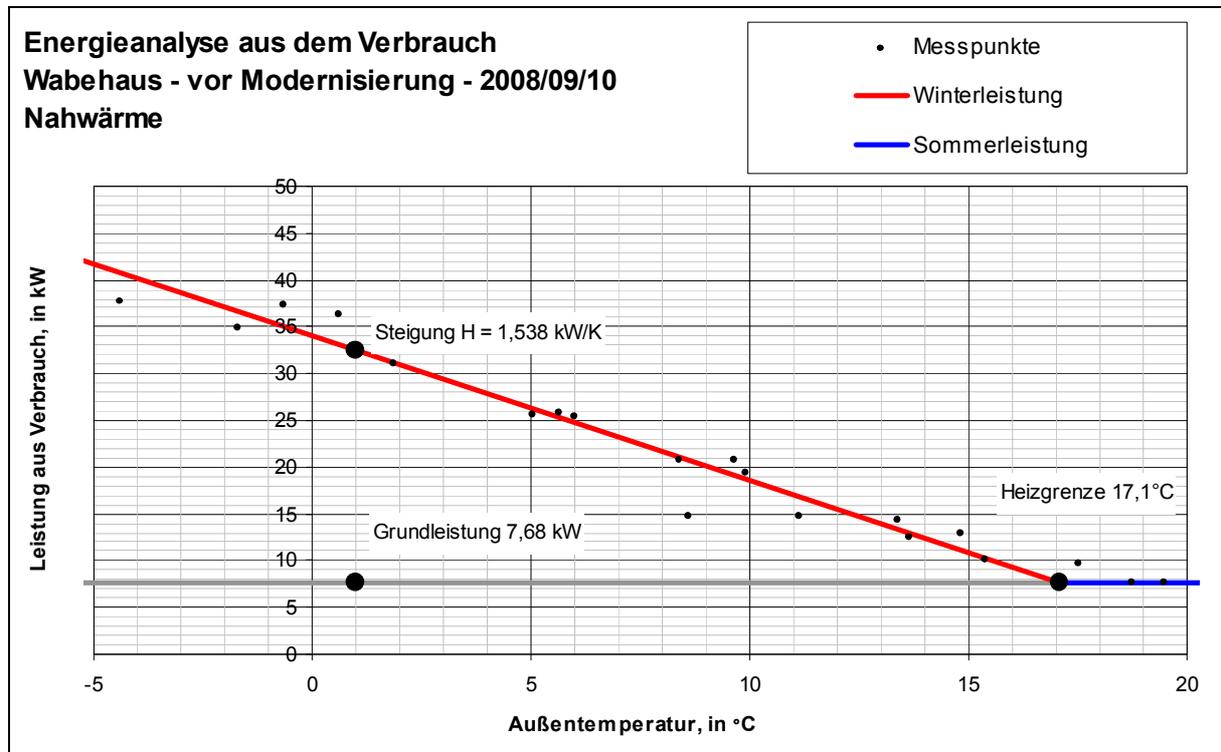


**Bild 3 Medienkostenkennwert**

Elm lag vor Modernisierung fast 10 % über dem Liegenschaftsdurchschnitt und liegt 2012 nach Modernisierung ca. 27 % darunter. Ebenfalls gut erkennbar ist die allgemeine Verbrauchs- und Preisschwankung am Durchschnittskennwert der Liegenschaft.

### 3.2 Wärmeverbrauch

Für den Wärmeverbrauch vor und nach der Modernisierung werden jeweils ein außentemperaturbezogener Verlauf (EAV) sowie anschließend die zugehörigen Kennwerte angegeben.



**Bild 4 Gesamtwärmeverbrauch vor der Modernisierung**

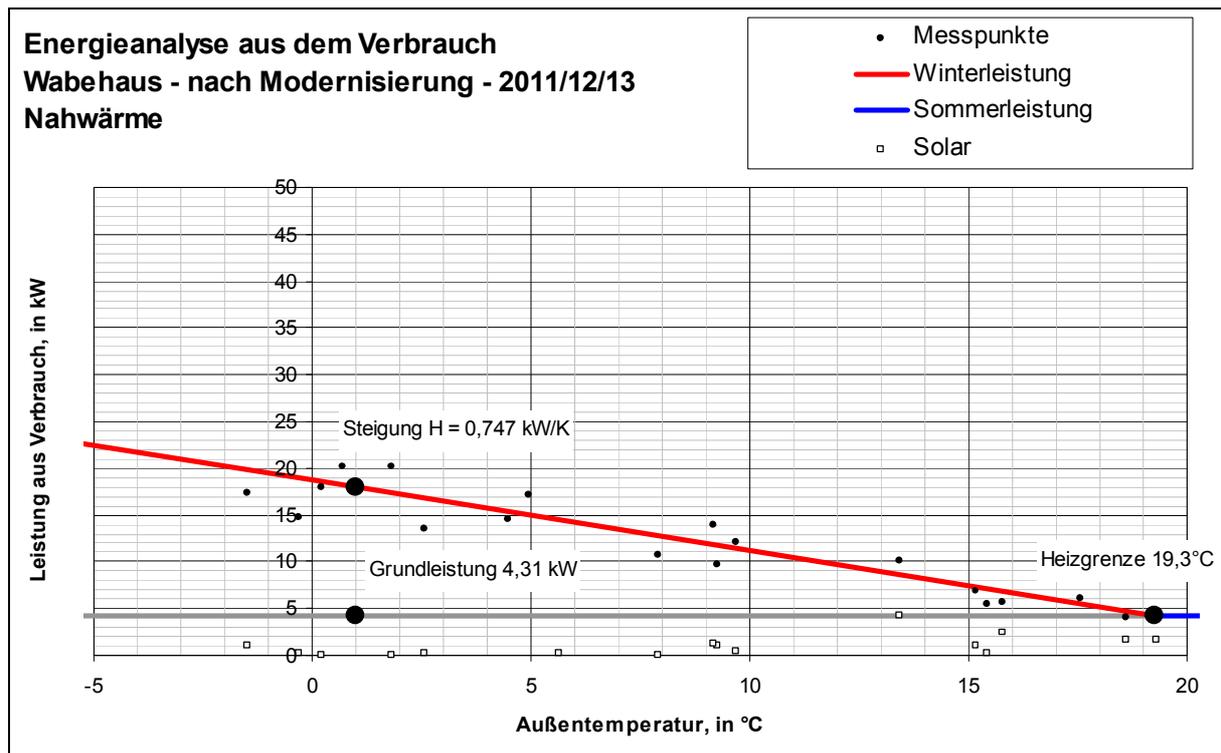
Auf Basis von Messwerten der Zeit von 01.07.2008 bis 01.07.2010 vor der Modernisierung ergeben sich folgende Kennwerte:

- Gesamtverbrauch ohne Witterungskorrektur: 353.100 kWh/a
  - davon witterungsabhängig: 218.600 kWh/a
  - und witterungsunabhängig: 134.500 kWh/a

Die Witterungskorrektur auf das Langzeitklimamittel bzw. auf ein glattes Jahr mit 365 Tagen ergibt folgende Werte:

- **Gesamtverbrauch: 179.000 kWh/a**
  - **davon witterungsabhängig: 111.700 kWh/a**
  - **und witterungsunabhängig: 67.300 kWh/a**

Der witterungsabhängige Anteil am Verbrauch beträgt etwa 62 %, der witterungsunabhängige entsprechend 38 %. Der witterungsunabhängige Anteil ist als sehr hoch einzustufen. Es muss davon ausgegangen werden, dass hier auch witterungsunabhängig geheizt wird.



**Bild 5 Gesamtwärmeverbrauch nach der Modernisierung**

Auf Basis von Messwerten der Zeit von 01.11.2011 bis 01.08.2013 ergeben sich folgende Kennwerte für den sanierten Zustand:

- Gesamtverbrauch ohne Witterungskorrektur: 182.500 kWh/a
  - davon witterungsabhängig: 115.500 kWh/a
  - und witterungsunabhängig: 67.000 kWh/a

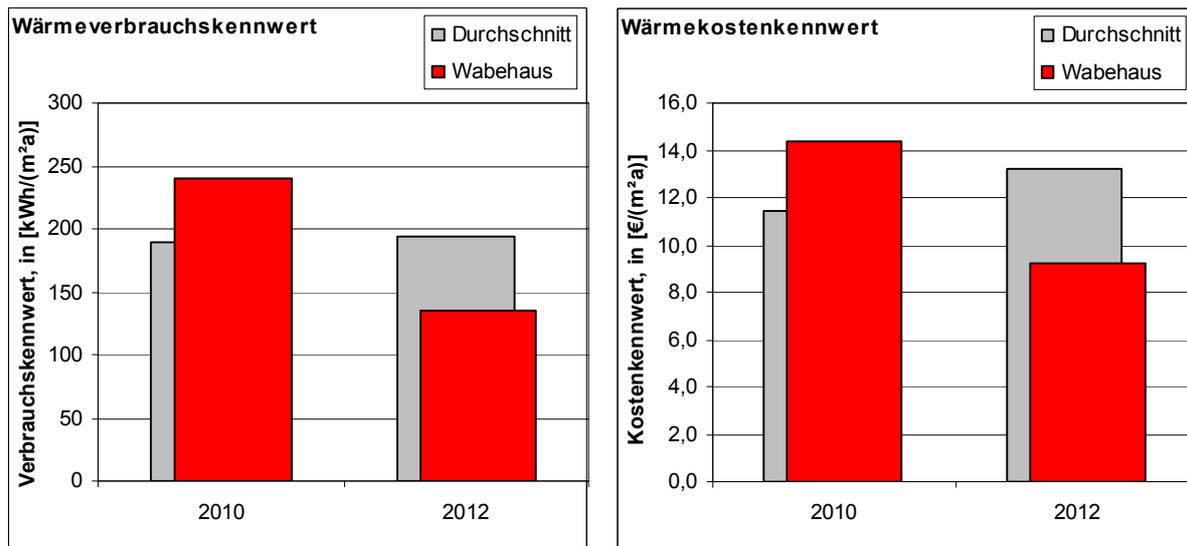
Die Witterungskorrektur auf das Langzeitklimamittel bzw. auf ein glattes Jahr mit 365 Tagen ergibt folgende Werte:

- Gesamtverbrauch: 100.800 kWh/a
  - davon witterungsabhängig: 62.500 kWh/a
  - und witterungsunabhängig: 38.300 kWh/a

Die Verbrauchswerte haben sich um ca. 44 % vermindert.

Der witterungsabhängige Anteil am Verbrauch beträgt etwa 62 %, der witterungsunabhängige 38 %. Dies ist die gleiche Aufteilung wie vorher, was die Vermutung untermauert, dass vorher tatsächlich ein deutlicher Anteil witterungsunabhängiger Heizung (im Sommer) vorhanden war.

In Bild 5 ist informativ der Solarertrag (gemessen zwischen Kollektorfeld und Speicher) eingetragen. Es ist erkennbar, dass die Erträge bei zunehmender Außentemperatur steigen. Ebenfalls ist die im Vergleich sehr geringe solare Energiemenge im Vergleich zur Nahwärme zu erkennen. Im Rahmen der Witterungskorrektur der Verbrauchsdaten im Zeitraum vom 01.11.2011 bis 01.08.2013 ergibt sich ein (witterungskorrigierter, jährlicher) Solarertrag von 7400 kWh/a. Das entspricht einem Deckungsanteil von nur 6,8 %. Alle weiteren Auswertungen sind im separaten Bericht zum Thema zu finden [9].



**Bild 6 Wärmekennwert und Wärmekostenkennwert**

Hinsichtlich der Wärmekennwerte und der Wärmekosten hat sich die Modernisierung des Gebäudes deutlich bemerkbar gemacht. Während das Gebäude 2010 noch ca. 30 % über dem Durchschnittskennwert der Liegenschaft lag, ist der Wärmeverbrauch 2012 etwa 30 % geringer als der Durchschnitt. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Kosten.

	<b>vor der Modernisierung 2008 – 2010</b>	<b>nach der Modernisierung 2011 – 2013</b>	<b>Veränderung</b>
kWh/a	179.000	100.800	Einsparung 44 %
kWh/(m²a)	240	135	

**Tabelle 2 Kennwerte Wärme**

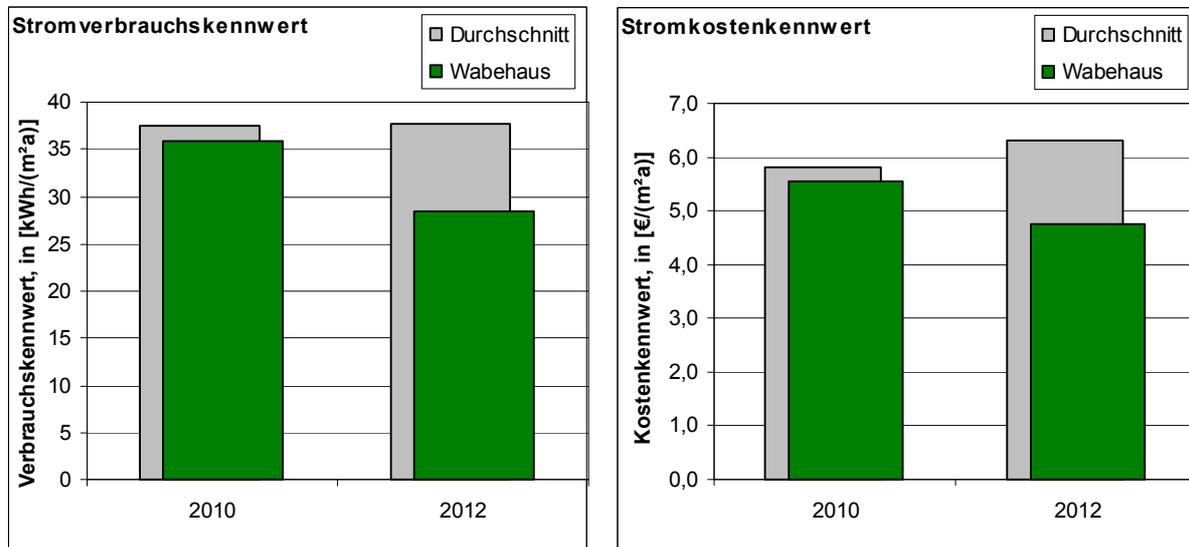
Der Energiekennwert für Wärme hat sich um 44 % vermindert. Als flächenbezogener Kennwert ergibt sich eine Veränderung von 240 kWh/(m²a) auf 135 kWh/(m²a).

Der in der Vorplanung prognostizierte Energiebedarf der "hochwertigen Sanierung" [3] des Gebäudeberichtes aus dem Jahr 2008 wurde erreicht: Nahwärmebedarf 101.900 kWh/a. Ein Abstrich ist allerdings zu machen. In der Prognose war keine Solarthermie enthalten, so dass real der Verbrauch noch etwas geringer sein sollte.

Allerdings ist festzuhalten, dass 2007/08 – während des Grundlagenprojektes – die Einschätzung des Bestandes deutlich schlechter ausfällt als im Nachgang real feststellbar (Abschätzung des witterungskorrigierten Verbrauchs von ca. 203 MWh/a). Nach korrekter Erfassung der Verbrauchsdaten über ein Jahr, Feststellung des Trinkwarmwasser- und Heizungsanteiles sowie Witterungskorrektur ergaben sich geringere Energiemengen als 2007/08 hochgerechnet (witterungskorrigierter Verbrauch 179 MWh/a).

### 3.3 Stromverbrauch

Für den Stromverbrauch vor und nach der Modernisierung werden jeweils die zugehörigen Mengen und Kennwerte angegeben. Basis sind die Messwerte der Jahre 2010 und 2012, entnommen aus dem Mediengrunddatenberichten [5] [7].



**Bild 7 Stromkennwert und Stromkostenkennwert**

Hinsichtlich der Stromkennwerte und der Stromkosten hat sich die Modernisierung des Gebäudes positiv bemerkbar gemacht. Während das Gebäude 2010 etwa 5 % unter dem Durchschnittskennwert der Liegenschaft lag, ist der Stromverbrauch 2012 etwa 25 % geringer als der Durchschnitt. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Kosten.

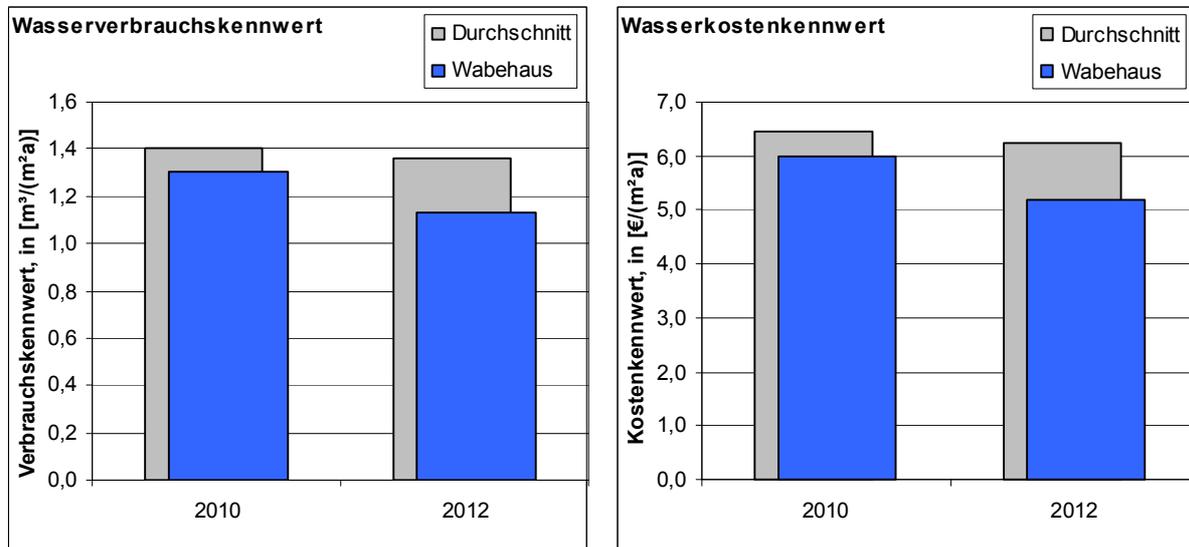
Erklärt wird dies durch die geringere Personenbelegung, siehe Tabelle 3. Der Pro-Kopf-Verbrauch ist konstant geblieben.

	vor der Modernisierung 2010	nach der Modernisierung 2013	Veränderung
Personen	28	22	- 21 %
kWh/a	26.731	21.180	Einsparung 22 %
kWh/(m²a)	36	28	Einsparung 22 %
kWh/(Person a)	955	962	keine

**Tabelle 3 Kennwerte Strom**

### 3.4 Wasserverbrauch

Basis des Wasserverbrauchs sind die Messwerte der Jahre 2010 vor und 2012 nach der Modernisierung, entnommen aus dem Mediengrunddatenberichten [5] [7]. Es werden jeweils die zugehörigen Mengen und Kennwerte angegeben.



**Bild 8 Wasserkennwert und Wasserkostenkennwert**

Hinsichtlich der Wasserkennwerte und der Wasserkosten hat sich die Modernisierung des Gebäudes nicht bemerkbar gemacht. Der absolute Verbrauch ist zwar gesunken, jedoch der pro-Kopf-Kennwert um 11 % gestiegen. Es sollte trotz des insgesamt geringen Verbrauches durch angepasstes Nutzerverhalten versucht werden, die Werte aus der Zeit vor der Modernisierung wieder zu erreichen.

	vor der Modernisierung 2010	nach der Modernisierung 2013	Veränderung
Personen	28	22	- 21 %
m <sup>3</sup> /a	972	844	Einsparung 13 %
l/(Person d)	95	105	Mehrverbrauch 11 %

**Tabelle 4 Kennwerte Wasser**

## 4 Energiebilanzierung

Der nachfolgende Abschnitt gibt die Ergebnisse der (theoretischen) Energiebilanzierung wieder. Es werden die Werte der Wärmebilanz aufbereitet. Verglichen werden der Bestand vor Modernisierung und die umgesetzte Modernisierung. Anschließend erfolgt zusätzlich ein Ausblick, welches Einsparpotential sich aus einem veränderten Nutzerverhalten ergäbe.

### 4.1 IWU-Wärmebilanz

Die nachfolgenden Tabellen fassen die Energiebilanzierungen mit dem IWU-Energieberatungstool zusammen. Es sind Werte für den Bestand und die reale Umsetzung der Modernisierung angegeben. Die Werte sind – soweit verfügbar – mit Messwerten hinterlegt. Die Verbrauchswerte sind jeweils witterungskorrigiert.

alle Werte in MWh/a	Bestand		Umsetzung Modernisierung	
	Bedarf	Verbrauch 2008-10	Bedarf	Verbrauch 2011-13
Fläche	746 m <sup>2</sup>		746 m <sup>2</sup>	
Personen	28 P		22 P	
Heizung				
Nutzen	131		59	
Verluste	25		5	
Endenergie	159	112	64	63
Trinkwarmwasser				
Nutzen	39		24	
Verluste	12		11	
Endenergie	51	67	35	38
Summe				
Endenergie	207	179	99	101

**Tabelle 5 absolute Kennwerte der Energiebilanzierung für Wärme**

alle Werte in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Bestand		Umsetzung Modernisierung	
	Bedarf	Verbrauch 2007/08	Bedarf	Verbrauch 2010-12
Fläche	746 m <sup>2</sup>		746 m <sup>2</sup>	
Personen	28 P		22 P	
Heizung				
Nutzen	175		79	
Verluste	34		7	
Endenergie	209	150	86	84
Trinkwarmwasser				
Nutzen	53		32	
Verluste	15		15	
Endenergie	68	90	46	51
Summe				
Endenergie	278	240	133	135

**Tabelle 6 flächenbezogene Kennwerte der Energiebilanzierung für Wärme**

Die große Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch im Bestand lässt sich wie folgt erklären: die Auswertung der Verbrauchswerte 2007/08 folgte einem modifizierten Witterungskorrekturverfahren. Dieses führte zu einem witterungskorrigierten Endenergieverbrauch von 203.300 kWh/a – und einer dann nur kleinen Abweichung zum Bedarf.

Die rechnerische Abweichung ergibt sich, weil 2008 davon ausgegangen wurde, dass 25 % des Verbrauchs witterungsunabhängig sind (der Anteil für Warmwasser), jedoch real 38 % witterungsunabhängig sind (Warmwasser und Sommerheizung).

Diese Unterschiede zeigen sich auch, wenn die Teilkenwerte für "Warmwasser" betrachtet werden. Während in der Analyse der Verbrauchsdaten ein Kennwert von 90 kWh/(m<sup>2</sup>a) witterungsunabhängig ist, sind es per Bedarfsbilanz nur 68 kWh/(m<sup>2</sup>a). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Differenz in etwa der Sommerheizung entspricht.

Die Nachbildung des Verbrauchs aus dem modernisierten Zustand mit Hilfe der Bedarfsbilanz ist gut möglich.

Die Energiebilanzierungen liegen dem Bericht als separate Exceltabellen bei.

## **4.2 Optimierung**

Dem Anhang liegt zusätzlich eine IWU-Energiebilanz bei, in der Regelparameter der Heizung und das Nutzerverhalten optimaler angenommen sind als derzeit vorgefunden. Im Einzelnen:

- eine Sollraumtemperatur von 21°C (statt 22°C),
- ein ca. 20 % geringerer Warmwasserbedarf (welcher dann immer noch 60 % höher ist als im Wohnungsbau),
- angepasste Temperaturen der Heizungsregelung (60°C statt 65°C Auslegungsvorlauf),

Der berechnete Energiebedarf für Wärme vermindert sich um 10 % bezogen auf den derzeitig vorgefundenen. Auch im Bereich der Wasserkennwerte ist davon auszugehen, dass eine Einsparung in dieser Größenordnung machbar ist – es würden dann die pro-Kopf-Verbräuche erreicht werden, die vor der Modernisierung vorhanden waren.

Aus Gründen der Vereinfachung wird letztlich davon ausgegangen, dass eine Nutzerschulung sowie sukzessive Modernisierung von Beleuchtung und Geräten auch zu 10 % Strom-einsparung führen kann.

Eine Nutzer- und Mitarbeiterschulung diesbezüglich wird dringend angeraten.

## **4.3 Fazit der Bedarfsberechnungen**

Grundsätzlich lässt sich für das Projekt "Wabehaus" festhalten, dass die Ergebnisse der theoretischen Energiebilanzierung (Bedarf) nahe an den Messwerten (Verbrauch) liegen können. Dies ist für die Nachbildung des Zustandes nach der Modernisierung gelungen. Die Berechnungen liegen weniger als 10 % neben dem tatsächlichen Verbrauch.

Hilfreich ist die Auswertung der EAV, die Aufschluss über witterungsabhängige und witterungsunabhängige Anteile liefert – siehe Kapitel 3.2. Auf dieses Hilfsmittel wurde bei der Erstausswertung 2007/08 noch nicht im gewünschten Maße zurückgegriffen – u. a. weil der Messzeitraum zum Zeitpunkt der Berechnung noch zu kurz war. Daher ist die Abbildung des Bestandes weit ungenauer als die der Modernisierung gelungen. Aus heutiger Sicht ein Manko; damals war der Wissensstand noch nicht so weit.

Die Prognose des künftigen Bedarfs nach der Modernisierung (für Wärme) ist 2008 vergleichsweise gut gelungen.

## 5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Auf Basis der Medienpreise für das 2012, der Wartungs- und Unterhaltskosten sowie der Investitionen soll eine Gesamtwirtschaftlichkeit eingeschätzt werden. Es werden dabei verglichen: der Zustand vor Modernisierung, der Zustand nach Modernisierung sowie ein hinsichtlich des Nutzerverhaltens optimierter (fiktiver) Zustand.

Eine zusammenfassende Auswertung und Interpretation erfolgt in Kapitel 5.4.

### 5.1 Medienkosten

Grundlage für die nachfolgenden Betrachtungen sind die Verbrauchsdaten an Wärme, Strom und Wasser/Abwasser vor der Modernisierung 2010 sowie nach der Modernisierung 2012 (siehe Kapitel 3.2, 3.3, 3.4). Darüber hinaus wird ein optimaler Zustand ausgewertet, der durch angepasstes Nutzerverhalten einen geringeren Verbrauch hat (siehe Kapitel 4.2). Es gelten folgende Mengen für Energie und Wasser:

	vorher	nachher	optimiert
• Wärme, in MWh/a:	179,0	100,8	ca. $0,9 \cdot 100,8$
• Strom, in MWh/a:	26,7	21,2	ca. $0,9 \cdot 21,2$
• Wasser, in m <sup>3</sup> /a:	972	844	ca. $0,9 \cdot 844$

Es werden folgende Preise und Preissteigerungen für die Medien verwendet [7]:

	Preis	Steigerungsrate
▪ Nahwärme per Hausanschluss:	68 €/MWh	5 %/a
▪ Strom:	167 €/MWh	7 %/a
▪ Wasser plus Abwasser:	44,59 €/m <sup>3</sup>	ca. 0 %/a

Damit ergeben sich die in Tabelle 7 dargestellten absoluten Medienkosten bzw. auf die beheizte Fläche bezogenen Werte. Die mittleren Werte ergeben sich innerhalb eines Betrachtungszeitraumes von 30 Jahren mit den oben genannten Preissteigerungen.

	Bestand	Umsetzung	optimiert
<b>absolut, in €/a</b>			
heute	21.100	14.300	12.800
mittel	41.400	27.600	24.800
<b>bezogen, in €/(m<sup>2</sup>a)</b>			
heute	28	19	17
mittel	56	37	33

Tabelle 7 Medienkosten verschiedener Szenarien

### 5.2 Wartung- und Instandhaltungskosten

Die Ableitung von Wartung- und Instandhaltungskosten erfolgt anhand realer Ausgaben der Jahre 2003 bis 2007 [2]. Die genaue Herangehensweise ist im Bericht zum Gebäude "Elm" beschrieben [8]. Die flächenbezogenen Kennwerte und absoluten Kosten zeigt Tabelle 8.

	Bestand	Umsetzung	optimiert
<b>absolut, in €/a</b>			
heute	11.300	8.900	8.900
mittel	14.700	11.600	11.600
<b>bezogen, in €/(m<sup>2</sup>a)</b>			
heute	15,1	11,9	11,9
mittel	19,7	15,5	15,5

Tabelle 8 Wartung- und Instandhaltungskosten verschiedener Szenarien

Als Preissteigerung für die Kosten der Wartung und Instandhaltung wird die allgemeine Inflation (hier 2 %/a) angenommen. Der Betrachtungszeitraum für die mittleren Werte beträgt 30 Jahre.

Es wurde keine Vollmodernisierung durchgeführt und vor allem der Innenraum nicht grund-erneuert. Daher sind die Ansätze für Wartung und Instandhaltung konservativ gewählt worden. Insgesamt ist festzustellen, dass die schwer kalkulierbaren Wartungs- und Instandhaltungskosten einen großen Anteil an den Gesamtkosten haben. Sofern hier die angenommenen hohen Kennwerte unterschritten werden, wird die Maßnahme wirtschaftlicher.

### 5.3 Investitionskosten

Die Detailuntersuchung der Investitionskosten für das Wabehaus ist in einem separaten Bericht beschrieben [4]. Dort werden:

- flächenbezogene Kostenkennwerte für die Modernisierung anhand der tatsächlich entstandenen Kosten ermittelt,
- spezifische Kostenkennwerte bestimmter energetischer Bau- und Anlagenteile gebildet und mit der Literatur verglichen; diese Kennwerte sollen dabei helfen, bei zukünftigen Modernisierungen von Gebäuden der Liegenschaft Neuerkerode noch exaktere Kostenplanungen vornehmen zu können;
- die energetischen Kosten als Teil der Gesamtkosten ermittelt.

Hinsichtlich der Ergebnisse wird auf den zitierten Bericht verwiesen. An dieser Stelle sollen nur die energetisch bedingten Investitionskosten näher betrachtet werden. Tabelle 9 fasst diese zusammen.

Die energetischen Kosten beinhalten keine Abzüge für Bauwasser/Baustrom, Versicherung oder Skonto. Es wurden die Nettokosten der jeweiligen Positionen bzw. Titel addiert und anschließend mit den Kosten für Baunebenkosten (KG 700) und der gesetzlichen Mehrwertsteuer von 19 Prozent beaufschlagt. Zum Vergleich sind die Gesamtkosten der Kostengruppen 300 und 400 (ohne Aufschlag der Baunebenkosten) vergleichend mit angegeben.

	Kosten	Energetische Investition	Vergleich
<b>Wärmedämmung</b>	163.320 €	=207.154 €	589.566,87 € (KG 300)
<b>Fenster und Fenstertüren</b>	33.157 €		
<b>Kellerdecke</b>	10.677 €		
<b>Rohrleitungsdämmung</b>	3.743 €	=67.032 €	193.460,56 € (KG 400)
<b>Heizzentrale, incl. Solar</b>	38.860 €		
<b>Rohrleitungsinstallation</b>	7.836 €		
<b>restl. energetische Kosten</b>	16.592 €		
<b>Summe</b>		274.186 €	

**Tabelle 9 Kosten der energetischen Sanierung**

Damit ergeben sich die in Tabelle 10 zusammengestellten Kapitalkosten über die nächsten 30 Jahre, incl. Berücksichtigung von Zinsen sowie Nachinvestition für die TGA-Anlagen nach der Hälfte der Zeit.

	Bestand	Umsetzung	optimiert
<b>absolut, in €/a</b>			
heute und mittel	0	18.800	18.800
<b>bezogen, in €/(m²a)</b>			
heute und mittel	0	25	25

**Tabelle 10 Kapitalkosten verschiedener Szenarien**

Grundlage für die Ergebnisse sind 30 Jahre Betrachtungszeitraum, ein Kapitalzins von 4 %/a und eine Preissteigerung für die Nachinvestition in TGA von 2 %/a.

#### 5.4 Gesamtkosten und Wirtschaftlichkeit

Die Gesamtkostenbetrachtung ergibt sich anhand der Teilergebnisse der vorherigen Kapitel nach dem LEG-Verfahren. Die beiden Grafiken in Bild 9 und Bild 10 zeigen die Ergebnisse.

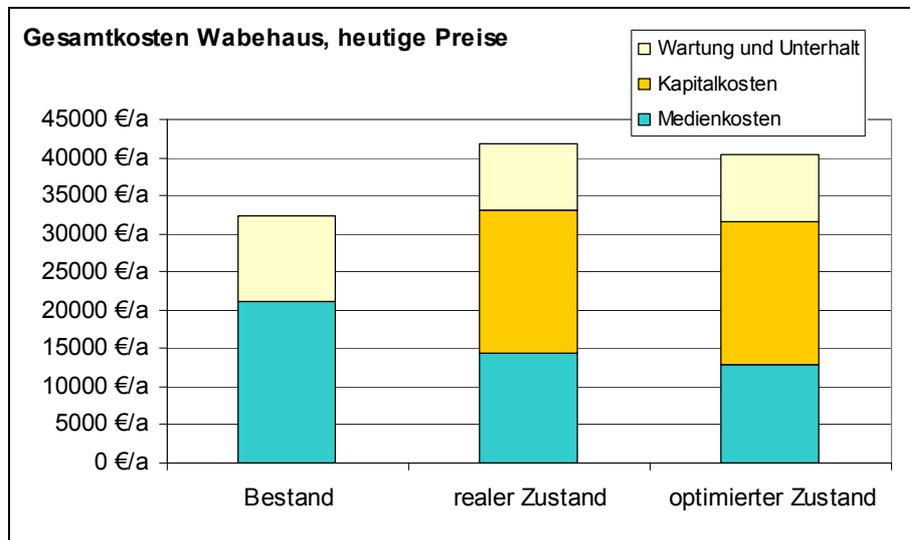


Bild 9 Gesamtkosten, heutige Preise

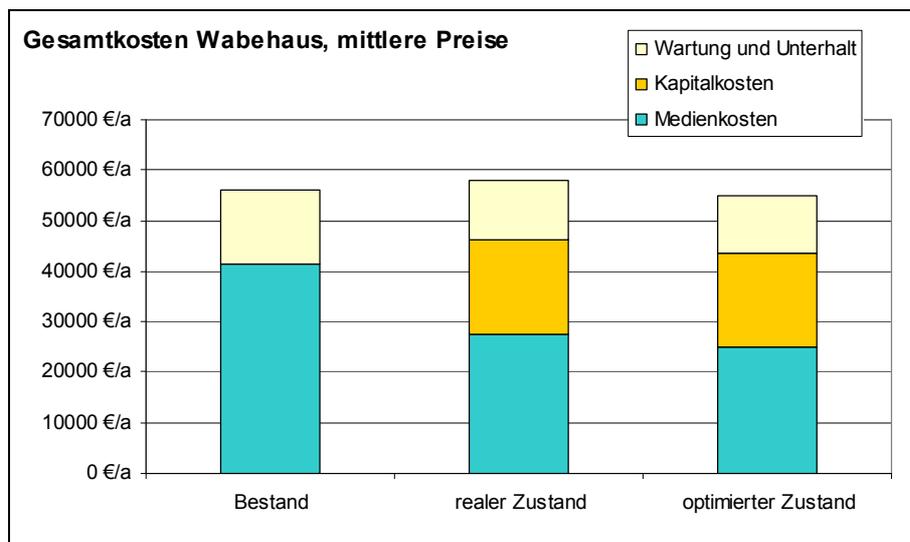


Bild 10 Gesamtkosten, mittlere Preise der nächsten 30 Jahre

Es ergibt sich eine Wirtschaftlichkeit der Modernisierung des Wabehauses unter folgenden Randdaten:

1. Die Modernisierungs- und Umbaumaßnahme ist nur wirtschaftlich, wenn allein die energetisch bedingten Investitionskosten in Ansatz gebracht werden. Sie belaufen sich auf ca. 30 % der Gesamtkosten [4].
2. Die Maßnahme ist nur bei steigenden Energiepreisen wirtschaftlich. Eine Preissteigerung von knapp 7 %/a führt mit heutigem Energieverbrauch zu einer Grenzwirtschaftlichkeit.
3. Die Maßnahme ist wirtschaftlicher, wenn es mit angepasstem Nutzerverhalten zu einem geringeren Verbrauch kommt ("optimiert").

## Wirtschaftlichkeit am Beispiel des äquivalenten Energiepreises

Wieviel zahlen Sie für jede eingesparte Kilowattstunde umgerechnet an die Bank - verglichen mit den Kosten die Sie hätten, wenn die Versorgung so bliebe, wie sie ist.

- Energiepreissteigerung 5 % pro Jahr
- Energiepreissteigerung 7 % pro Jahr
- Energiepreissteigerung 9 % pro Jahr
- <<realer Zustand>>
- <<optimierter Zustand>>

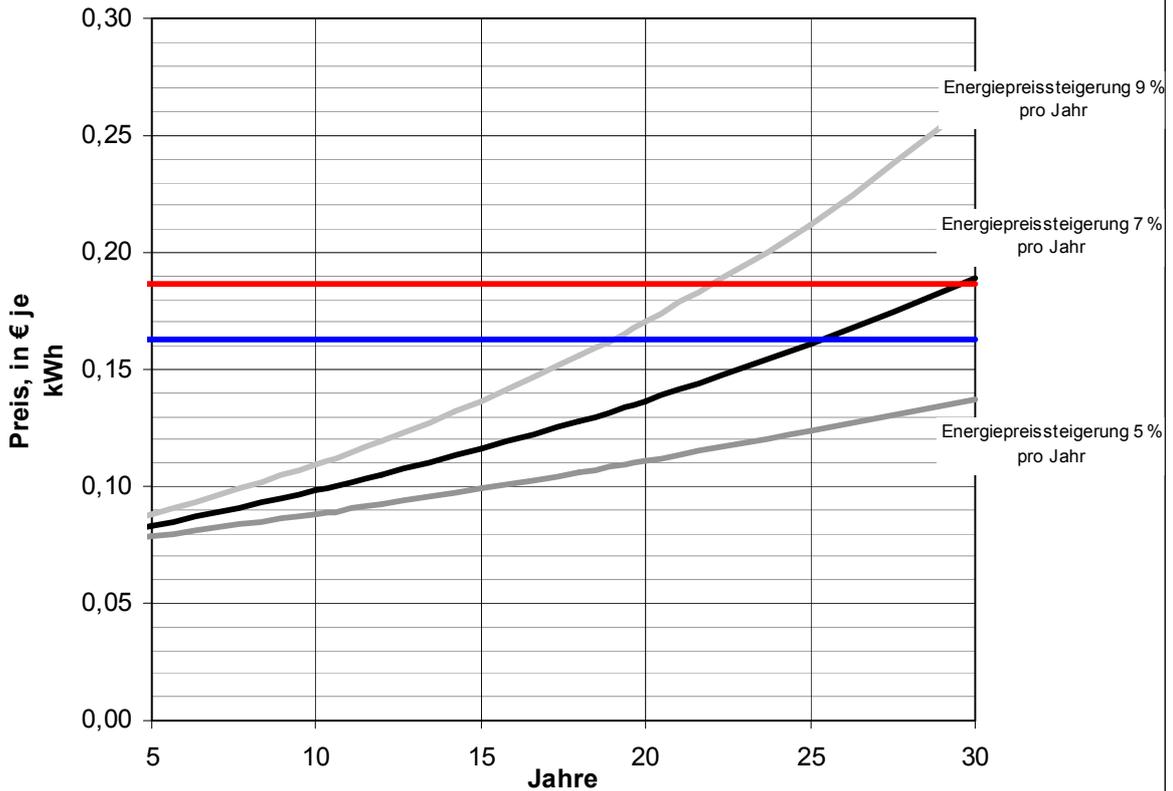


Bild 11 äquivalenter Energiepreis

Bild 11 zeigt die Zusammenhänge am Beispiel des äquivalenten Energiepreises. Mit heutigem Nutzerverhalten ergibt sich eine langfristige Wirtschaftlichkeit bei etwa 7 %/a Energiepreissteigerung. Bei 10 % sparsameren Nutzern ergibt sich eine Grenzwirtschaftlichkeit bei ca. 6 %/a Energiepreissteigerung.

## 6 Solarsimulation

Parallel zur Messung der Erträge der Solaranlage wurde kurz nach Inbetriebnahme der Anlage 2010 mit einer Software eine Simulation durchgeführt. Das nachfolgende Kapitel stellt kurz die Erkenntnisse – damaliger Stand der Dinge – zusammen.

### 6.1 Grunddaten

Folgende Annahmen zu der Solarthermie wurden getroffen:

- Kollektorfläche 20,64 m<sup>2</sup>
- Spez. Volumenstrom 20 l/m<sup>2</sup>h
- Gesamtvolumenstrom 594 l/d
- Warmwasserschichtenspeicher 750 l (2 mal)
- Frischwasserstation 30 l
- Wärmeübertrager Fernwärme 85 kW

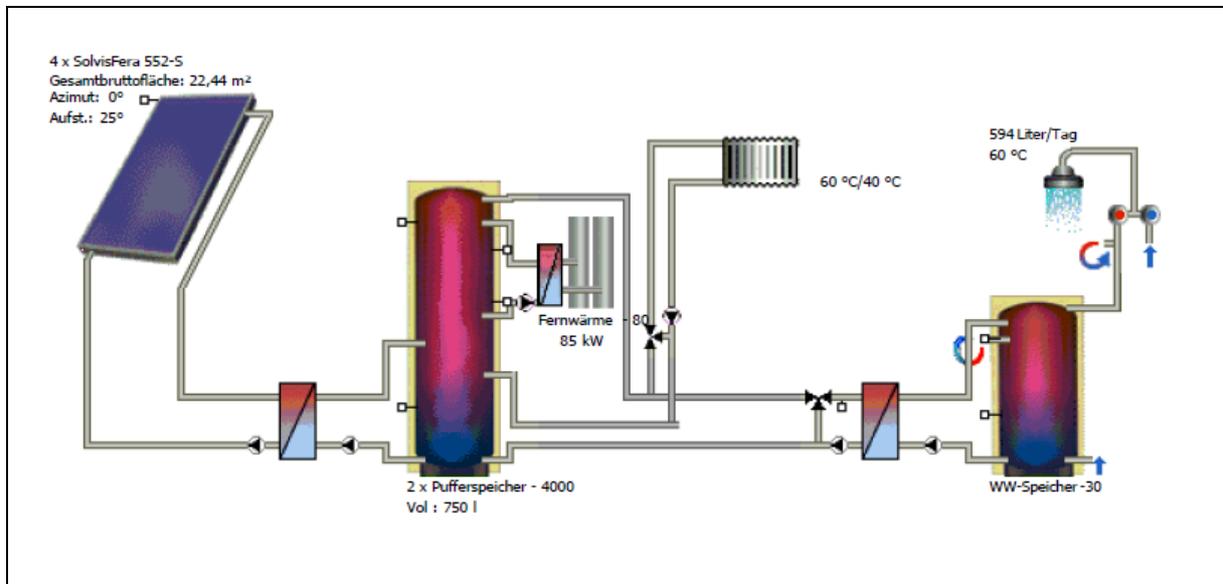


Bild 12 Solarthermieanlage Wabehaus in der Simulation

Hinsichtlich des Warmwasserbedarfs wird die zeitliche Verteilung nach Bild 12 unterstellt. Es wird von einem Tagesbedarf von 594 l/d ausgegangen – der Wert ist zu niedrig, entsprach dem damaligen Messwert.

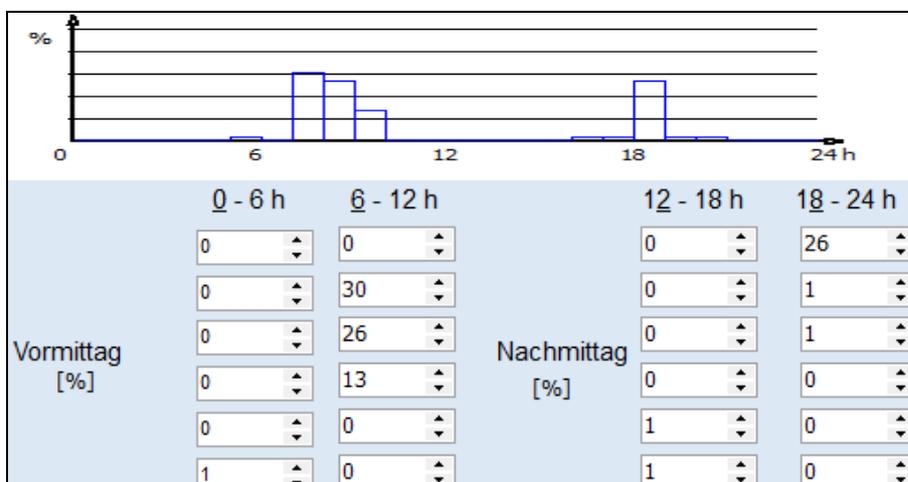
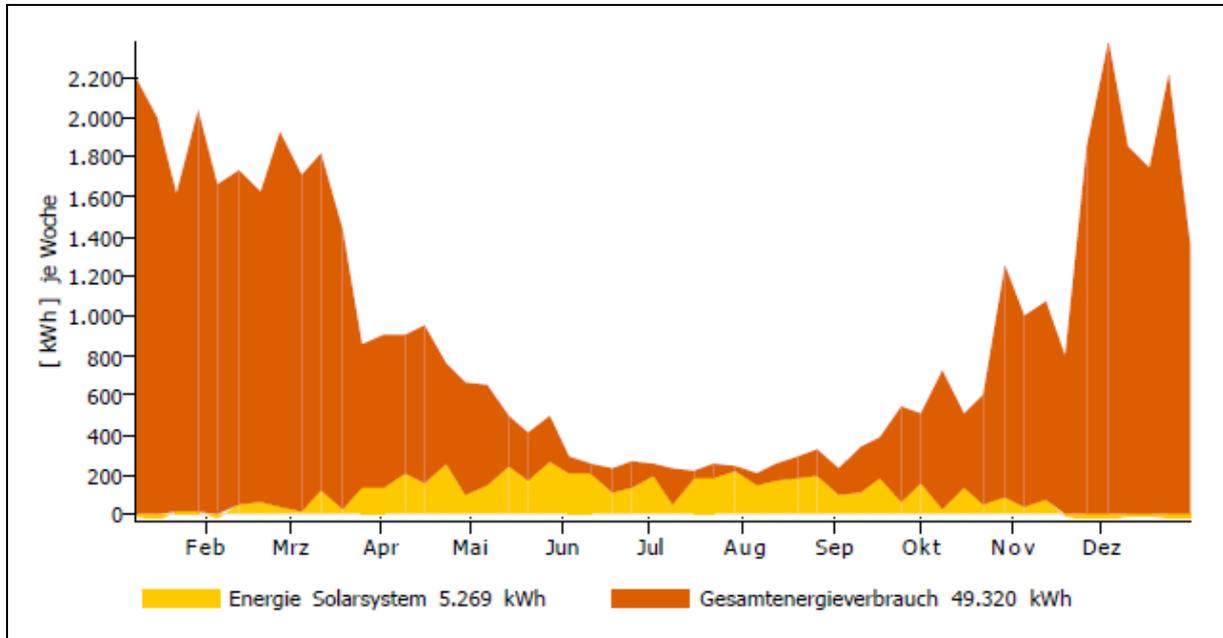


Bild 13 Verteilung des Warmwasserbedarfs in der Simulation

## 6.2 Simulationsergebnisse und Vergleich

Bild 14 zeigt die simulierten Solarerträge. Hier ist deutlich zu sehen, dass die Solarerträge die benötigte Energie zu keinem Zeitpunkt decken kann. Der Gesamtertrag, der dem System zugeführt wurde, liegt bei 5,3 MWh/a.



**Bild 14 Solarerträge und Gesamtenergiebedarf in der Simulation**

Die Messung ergibt einen Ertrag von 7400 kWh/a (Kapitel 3.2). Allerdings liegt der reale Bedarf an Trinkwarmwasser auch deutlich höher (bei 1100 l/d statt 600 l/d) als in der Simulation unterstellt.

Vergleicht man die Energiebilanz der Messwerte und die der Simulation wird schnell klar worin die Unterschiede liegen. Sowohl die Verluste für Speicherung und Verteilung als auch der Wärmebedarf des Gebäudes sind in der Realität deutlich höher als simuliert. Auch die reale Abgabe des Kollektorkreises und der Fernwärme sind deutlich höher.

Verglichen mit den früheren Prelog-Auswertungen vor der Sanierung sind der Warmwasserbedarf und die Zirkulationsverluste gut wiedergegeben wurden. Diese basieren auf den Messwerten der Firma Solvis und konnten dadurch gut simuliert werden. Nach erneuten Prelog-Auswertungen nach der Sanierung sind auch diese abweichend.

Die entstanden Ungenauigkeiten könnten durch Nachbesserung (neue Simulation) beseitigt werden. Da jedoch mittlerweile ausreichend Messwerte für eine Auswertung vorliegen, wird darauf verzichtet die Simulationsergebnisse zu verbessern.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Simulationsergebnisse innerhalb akzeptabler Abweichung von den Messwerten liegen. Jedoch ändert dies nichts an der zu klein ausgelegten Anlage.

## 7 Fazit

Für die Auswertung der Modernisierung des Wabehauses bleibt festzuhalten:

### **Kosten und Wirtschaftlichkeit**

Die Gesamtkosten für die Maßnahme betragen 0,937 Millionen €, davon sind etwa 0,274 Millionen € der energetischen Modernisierung zuzurechnen. Die Investitionskosten lagen damit bei ca. 1.250 €/m<sup>2</sup>, davon ca. 370 €/m<sup>2</sup> für die energetische Modernisierung. Insgesamt liegen die Kosten unter denen anderer Projekte, da im Innenraum keine Komplettmodernisierung stattgefunden hat.

Eine Gesamtwirtschaftlichkeit mit Refinanzierung der Gesamtkosten aus den vermiedenen Energie- und Wartungs- sowie Unterhaltskosten für den Bestandteil des Gebäudes ist nicht gegeben.

Die Modernisierungs- und Umbaumaßnahme ist nur wirtschaftlich, wenn allein die energetisch bedingten Investitionskosten in Ansatz gebracht werden.

Die Maßnahme ist nur bei steigenden Energiepreisen (ca. 7 %/a für alle Medien) wirtschaftlich. Die Annahmen zur Preissteigerung aus dem Jahr 2012 (5 %/a für Wärme und 7 %/a für Strom) führen zu einer knappen Unwirtschaftlichkeit. Die Maßnahme ist wirtschaftlicher, wenn das Nutzerverhalten nicht zu einer Erhöhung des Verbrauchs führt, d.h. mit angepasstem Verhalten ("optimiert").

Zu welchen Kosten der Abriss und Neubau im Vergleich zur erfolgten Modernisierung geführt hätte, konnte und wurde nicht geklärt; gleiches gilt für die dann erreichbaren Energiemengen und -kosten.

### **Bauliche und anlagentechnische Umsetzung**

Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgte weitgehend nach der Leitlinie "Modernisierung auf heutiges Neubauniveau" – welches auch in etwa erreicht wurde. Außenwände und Fenster sind energetisch sehr hochwertig, im Bereich des oberen und unteren Gebäudeabschlusses ist die eingebrachte Dämmung dünner ausgeführt als 2007/08 im Grundlagenprojekt vorgeschlagen.

Als Heizsystem wurde die konventionelle Pumpenwarmwasserheizung mit fast allen Bestandsheizkörpern beibehalten. Ein Umschluss auf indirekte Nahwärmeversorgung erfolgte. Es ist eine Solarthermieanlage zur Heizung und Trinkwarmwasserbereitung nachgerüstet worden. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt mit einer Frischwasserstation aus einem zentralen Pufferspeicher.

Aus der Teilsanierung der Heizflächen und Thermostatventilen resultiert ein noch nicht schlussendlich gelöster Streit zum nachträglichen hydraulischen Abgleich der Anlage. In der Umsetzungsphase wurde dieser nicht bzw. nicht nachvollziehbar durchgeführt – mit der Begründung, dass die Bestandsheizflächen nur grob einreguliert werden könnten.

Die installierte Solaranlage war in der Vorplanungsphase 2007/08 nicht vorgesehen. Die tatsächlich installierte Fläche ist mit knapp 21 m<sup>2</sup> (nach Süd) deutlich kleiner als 2009 in einem Grobkonzept geschätzte Fläche (34 m<sup>2</sup> nach Ost für 30 % Deckungsanteil).

Die Solarthermieanlage im Wabehaus bildet bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung einen Streitpunkt zwischen den Projektbeteiligten, dem Planer, der Herstellerfirma. Sie wurde auf Basis einer fehlerbehafteten Vorabmessung der Herstellerfirma aus dem Jahre 2010 stark unterdimensioniert. Der Planer hat diesen Fehler nicht erkannt.

Die Anlage lässt sich im Nachhinein nicht sinnvoll und kostengünstig vergrößern. Alles in allem werden nicht annähernd geplante Deckungsanteile erreicht, die entweder eine sommerliche Trennung des Gebäudes vom Nahwärmenetz ermöglichen würden oder andererseits auch nur annähernd zu einer Wirtschaftlichkeit führen.

## **Medienverbräuche**

Positiv sind dennoch die erreichten Einsparungen – die mit einem guten Solarkonzept sehr viel größer wären und ohne Solarthermie fast genauso hoch (nur kostengünstiger).

Die erreichte Einsparung im Bereich Wärme ist groß. Der Energiekennwert des Gebäudes hat sich von 240 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 135 kWh/(m<sup>2</sup>a) reduziert. Das entspricht einer Einsparung von 44 %. Damit liegt der Verbrauchskennwert des modernisierten Objektes noch unter dem des Gebäudes "Elm" (welches aufgrund des dort betreuten Personenkreises nutzungsintensiver ist).

Im Bereich des Stromverbrauchs ist keine Änderung zu erkennen. Die Abnahme hängt mit der geringeren Belegung zusammen. Die Probleme des Gebäudes "Elm" (höhere technische Ausstattung führt zu Mehrverbrauch) sind nicht eingetreten, da nur wenige Umbauten überhaupt erfolgten.

Hinsichtlich der Wasserkennwerte und der Wasserkosten hat sich die Modernisierung des Gebäudes etwas (und zwar negativ) bemerkbar gemacht. Der absolute Verbrauch ist zwar gesunken, jedoch der pro-Kopf-Kennwert um 11 % gestiegen. Gründe können hier für nicht angegeben werden. Eventuell ist die höhere Verfügbarkeit (bessere Ausstattung) dafür verantwortlich. Es sollte trotz des insgesamt geringen Verbrauches durch angepasstes Nutzerverhalten versucht werden, die Werte aus der Zeit vor der Modernisierung wieder zu erreichen.

## **Fazit für andere Projekte**

Die Umsetzung der Modernisierung im Wabehaus erfolgte deutlich problemärmer als im Gebäude Elm. Es handelte sich um das dritte große Modernisierungsvorhaben. Begründet in der Teilmodernisierung ergibt sich der Umstand, dass keine "wartungs- oder instandsetzungsarme Phase" feststellbar ist. Kurz nach Wiederaufnahme der Nutzung setzt bereits die reguläre Instandhaltung mit z.B. Heizkörpertausch etc. wieder ein. Künftige Projekte sollten dies vermeiden – eine Komplettmodernisierung ist sinnvoller. Zumal dann die Technik in etwa ein Alter hat und der nächste Sanierungszyklus planbarer ist.

Darüber hinaus ist auch der Teilerhalt der Technik dafür verantwortlich, dass es Streitigkeiten über Planungsleistungen – wie den hydraulischen Abgleich der Gesamtanlage (!) – in diesem Projekt aufgekommen sind. Die Konsequenz für künftige Bauprojekte ist, dass die gesamte Erfassung und Dokumentation von bestehenden Anlagenteilen separat beauftragt wird, sofern sie erhalten werden sollen.

Die Umsetzung bzw. auch der Dauerbetrieb der Solarthermieanlage – im Wabehaus die erste innerhalb der Stiftung – stellte sich als kritisch heraus. Sie wird nicht erneut empfohlen.

## 8 Anhang

### 8.1 Quellen

- [1] Mediengrunddaten 2009 - Überarbeitung der Daten des Grundlagenprojektes; Wolff, D. / Jagnow K.; Juli 2010.
- [2] Abschlussbericht 03 "Investitionskosten + Instandhaltung" – mit Anhängen; Dieter Wolff, Kati Jagnow, Cedrik Strüver, Anton Ens; Wolfenbüttel, November 2008
- [3] Abschlussbericht 04 "Gebäude" – mit Anhängen; Kati Jagnow, Alex Hübener, Achim Jüttner, Dieter Wolff; Wolfenbüttel, November 2008
- [4] Bericht: "Kostenkennwerte der Modernisierung Wabehaus"; Kati Jagnow, Dieter Wolff, Marius Miehe; Bericht im Rahmen des DBU-Projektes Neuerkerode 2015; 2013
- [5] Bericht: "Mediengrunddaten 2010"; Wolff, D. / Jagnow K. / Miehe, M.; Bericht im Rahmen des DBU-Projektes Neuerkerode 2015; Juli 2011
- [6] Bericht: "Mediengrunddaten 2011"; Wolff, D. / Jagnow K. / Miehe, M.; Bericht im Rahmen des DBU-Projektes Neuerkerode 2015; Mai 2012
- [7] Bericht: "Mediengrunddaten 2012"; Wolff, D. / Jagnow K. / Miehe, M.; Bericht im Rahmen des DBU-Projektes Neuerkerode 2015; April 2013
- [8] Bericht: "Modernisierung des Gebäudes Elm"; Wolff, D. / Jagnow K. / Miehe, M. / Delakowitz, S.; Bericht im Rahmen des DBU-Projektes Neuerkerode 2015; Dezember 2013
- [9] Bericht: "Analyse der thermischen Solaranlagen und deren Alternativen "; Wolff, D. / Jagnow K. / Miehe, M. / Tschiskale, D.; Bericht im Rahmen des DBU-Projektes Neuerkerode 2015; November 2013
- [10] Bericht: "Voranalyse Solarthermie und Photovoltaik "; Wolff, D. / Jagnow K. / Li, X.; Bericht im Rahmen des DBU-Projektes Neuerkerode 2015; Oktober 2009

### 8.2 Separate Anhänge

als separate Dateien sind u. a. folgende Berechnungen verfügbar

- Verbrauchsauswertungen Wärme incl. EAV von 2010 bis 2013 als Exceltabellen
- IWU Energiebilanzen für Wärme für Bestand und die umgesetzte Modernisierung
- LEG Wirtschaftlichkeitsbewertung des Gesamtprojektes