

# **Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 27**

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus  
Tichelmann  
in Darmstadt

## **Forschungsprogramm**

Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

## **Messperiode**

Januar 2014 bis Dezember 2015

## **Aktenzeichen**

SWD - 10.08.82-12.11

## **im Auftrag**

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

## **bearbeitet von**

Dr. rer. nat. Wieland Weise  
TU Darmstadt – FB Architektur

Endbericht

## **Effizienzhaus Plus „energy<sup>+</sup>Home“**

*Messperiode 01.2014 bis 12. 2015*

Für Rückfragen:

Dr. rer. nat. Wieland Weise

Gebäude L3 01 Raum 413  
Tragwerksentwicklung & Bauphysik  
TU Darmstadt - FB Architektur  
El-Lissitzky-Straße 1  
D-64287 Darmstadt

Tel: +49 6151 16 755 09

Fax: +49 6151 16 755 10

E-Mail: [w.weise@twe.tu-darmstadt.de](mailto:w.weise@twe.tu-darmstadt.de)

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Kontext und Zielsetzung</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Gebäudesteckbrief</b>	<b>5</b>
3.1	Allgemeine Daten	5
3.2	Architektur	5
3.3	Wärmeschutz	9
3.4	Anlagentechnik	9
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	11
3.6	Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599	11
<b>4</b>	<b>Monitoring</b>	<b>12</b>
4.1	Messkonzept	12
4.2	Verwendete Messtechnik	13
4.3	Dokumentation	16
<b>5</b>	<b>Meteorologische Randbedingungen</b>	<b>17</b>
5.1	Solarstrahlung	17
5.2	Außenlufttemperaturen	17
5.3	Klimabereinigung	18
<b>6</b>	<b>Messergebnisse</b>	<b>19</b>
6.1	Stromverbrauch	19
6.1.1	Stromverbrauch für Hausbetrieb	19
6.1.2	Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil	20
6.1.3	Stromverbrauch für Elektromobilität	21
6.1.4	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung	21
6.2	Eigenstromnutzung	21
6.3	Anlagenperformance	23
6.3.1	Wärmeerzeuger	23
6.3.2	Lüftungsanlage	24
6.3.3	Raumluftqualität - CO <sub>2</sub> und VOC Gehalt	24
6.4	Innenraumtemperaturen Sommer/Winter	26
<b>7</b>	<b>Kosten / Wirtschaftlichkeit</b>	<b>26</b>

7.1.1	Baukosten und laufende Kosten	26
7.1.2	Kosten Geräte	28
<b>8</b>	<b>Bewertung</b>	<b>29</b>
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	29
8.2	Verbesserungspotentiale	34
8.3	Wirtschaftlichkeit	34
<b>9</b>	<b>Literatur</b>	<b>38</b>

# 1 Kurzfassung

Bei dem energy+Home in Nieder-Ramstadt handelt es sich um ein Bestandsgebäude, das zu einem CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäude umgebaut wurde. Im Rahmen der Initiative ZukunftBau des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung wird mit Fördermitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ein zweijähriges Energiemonitoring des Gebäudes durchgeführt. Dabei wird der Energieverbrauch, getrennt nach verschiedenen Kategorien, z.B. Wärmeerzeugung, Lüftung, Beleuchtung, Haushaltsgeräte, durch Sensoren gemessen und aufgezeichnet. Anhand der Messwerte wird der tatsächliche Verbrauch den projizierten, rechnerischen Bedarfswerten gegenübergestellt.

# 2 Kontext und Zielsetzung

Mehr als die Hälfte aller Wohneinheiten in Deutschland (20,1 Millionen) sind im Zeitraum von 1949 bis 1978 entstanden. Über 56 % der klimaschädlichen Emissionen fallen heute beim Betreiben dieses riesigen Gebäudebestandes an. Deren Ertüchtigung ist ein zwingend notwendiger Beitrag zur Reduktion des globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Das Forschungs- und Modellprojekt energy+Home stellt die erste Sanierung eines bestehenden Wohnhauses aus dieser Zeit zu einem Plusenergiehaus dar. Es erzeugt den für die Nutzung erforderlichen Energiebedarf einschließlich des Heizbedarfs durch eine auf dem Dach installierte Solaranlage. Mit dem Überschuss an selbst gewonnenem Strom kann ein elektrisch betriebenes Fahrzeug betankt werden. Um das Potenzial einer energetischen Sanierung auch architektonisch und räumlich auszuschöpfen, werden die äußere Erscheinung der Fassade, die interne Flächenoptimierung, die Gebäudeflexibilität, die Nutzungsneutralität und die Tageslichtnutzung deutlich verbessert.

Das energy+Home ist in das vom Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zur messtechnischen Begleitung von Plusenergiegebäuden im Rahmen des Programms ZukunftBau aufgenommen. Konkret soll im Rahmen dieses Programmes die energetische Effizienz der eingesetzten Techniken erfasst und beurteilt werden.

Im energy+Home sind Messsensoren zur Erfassung des Innen- und Außenklimas und der erzeugten und verbrauchten Energiemengen installiert. Die klimatischen Aufzeichnungen des Innenklimas umfassen Temperaturen und den CO<sub>2</sub>-Gehalt verschiedener Räume. Überdies wird die Belastung des Innenraumes durch flüchtige organische Verbindungen (VOC) überwacht. Bezüglich des Außenklimas werden die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Globalstrahlung im sichtbaren Bereich gemessen. Sensoren erfassen die Energieströme zu und von den Geräten zur Wärmeerzeugung und -speicherung, den Stromverbrauch getrennt nach unterschiedlichen Nutzungen (Waschen, Kochen, Beleuchtung, etc.), sowie die selbst erzeugten Strommengen (Eigennutzung und Netzeinspeisung). Die Werte werden im Rahmen des Programms ZukunftBau über einen Zeitraum von zwei Jahren gemessen und gespeichert. Das Monitoring orientiert sich dabei am „Leitfaden für das Monitoring“ gemäß Bekanntmachung des BMUB über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte „Plus-Energie-Haus-Standard“.

Das energy+Home ist als Pilotprojekt anzusehen, das sowohl von Fachleuten als auch einer Vielzahl öffentlicher Medien interessiert verfolgt wird. Durch die Messung und Dokumentation des realen Gebäudebetriebs sollen die im Vorfeld getätigten Berechnungen und Prognosen der energetischen Verbesserung durch Modernisierungsmaßnahmen überprüft werden. Eine Auswertung der Messergebnisse und deren Verallgemeinerung auf eine übertragbare Basis dient der Verifizierung der Energiebedarfsberechnungen und der Abschätzung des Energieeinsparpotentials bei Übertragung des Sanierungskonzeptes auf vergleichbare Bauten des Gebäudebestands in Deutschland.

## 3 Gebäudesteckbrief

### 3.1 Allgemeine Daten

	vor Sanierung	energy+Home
Baujahr/ Jahr der Sanierung:	1970	2011
Bruttogrundfläche	255,4	268,5
Beheizte Nettogrundfläche	158 m <sup>2</sup>	182 m <sup>2</sup>
Beheiztes Gebäudevolumen	781	916 m <sup>3</sup>
Hüllflächenfaktor A/V	0,68	0,65
Breitengrad:	49,81°N	
Längengrad:	8,71 °O	
Höhenlage:	173 m über NN	
Mittlere Jahrestemperatur:	11,35 (Mannheim)	
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April):	6,4	
Gradtagzahl am Standort	3688 (langjähriges Mittel)	
TRY - Klimazone / Referenzstation:	TRY 12, Mannheim	

### 3.2 Architektur

Bei dem energy+Home handelte es sich vor der Sanierung um ein Einfamilienhaus einer charakteristischen Wohnsiedlung im Rhein-Main-Gebiet in der Nähe von Darmstadt. Das mit dem unteren Geschoss einseitig in den Hang gebaute zweigeschossige Reihenendhaus aus dem Jahr 1970 ist ausgelegt für einen 4- bis 5-Personen-Haushalt. Es besteht aus einer beidseitig verputzten Mauerwerkskonstruktion, deren Geschosdecke aus Stahlbeton erstellt wurde. Die oberste Geschosdecke, die den Wohnraum vom unbeheizten Dachraum abtrennt, besteht aus Holzbalken mit raumseitiger Gipskartonbeplankung und weist eine Dämmung aus Mineralwolle mit 40 mm Dicke auf. Den oberen Gebäudeabschluss bildet ein ungedämmtes Sparrendach. Die Fenster des Gebäudes weisen den Standard des Jahres 1970 auf und enthalten eine Zweischeiben-Isolierverglasung mit einem U-Wert von etwa 2,9 W/(m<sup>2</sup>K). Die Wohnfläche des Gebäudes beträgt vor der Sanierung 158m<sup>2</sup>. Ölzentralheizung, zentrale Warmwasserversorgung, überdachter Balkon und Terrasse sowie eine beheizte Garage gehörten zur Ausstattung des nach damaligen Vorstellungen hochwertigen Einfamilienhauses. Hiermit ging ein mittlerer Primärenergieverbrauch von 408 kWh/m<sup>2</sup>a einher. Von diesen Wohnhäusern wurden alleine in der Rhein-Main-Region im Zeitraum von 1965 bis 1978 etwa 12.000 Stück gebaut, insbesondere auch von Wohnungsbaugesellschaften als Verkaufs- und Vermietungsobjekt in Form von freistehenden

Häusern, Doppel- und Reihenhäusern. Wie viele Standorte in Deutschland, ist die Wohnsiedlung nicht an die öffentliche Gasversorgung angeschlossen, weshalb seit den 70er Jahren mit Erdöl geheizt wird. Der Einsatz von Heizöl als Energieträger, bedingt die Notwendigkeit von Aufstellflächen für Öltanks in einer Größe von ca. 16 m<sup>2</sup>, hinzu kommen Vorraum und Heizungsraum, die den Bewohnern bisher nicht als Wohn- oder Nutzfläche zur Verfügung standen; gleichzeitig stellen die Tanks eine Gefährdung für Bewohner und Umwelt dar. Die Fensterflächen des Gebäudes entsprachen ca 12 % der Grundfläche und belichteten die Innenräume nur unzureichend.



Frontansicht des Gebäudes im unsanierten Zustand

Durch architektonische Umgestaltung des Gebäudebestands im Äußeren und Inneren wurde das kleinteilige und unzureichend natürlich belichtete Bestandsgebäude zu einem großzügiger Lebensraum für bis zu fünf Personen mit individuellen Privatsphären und einem zentralen Wohn- und Essbereich entwickelt. Dabei vergrößerte sich die nutzbare Grundfläche des Gebäudes von 158 m<sup>2</sup> auf 182 m<sup>2</sup>, verteilt über zwei Etagen. Alle Räume haben eine Niedertemperatur-Fußbodenheizung erhalten. Der Rückbau der Holzbalkendecke im Obergeschoss vergrößerte die lichte Raumhöhe im Wohn- und Essbereich auf bis zu fünf Meter. Großflächige Dachfenster ermöglichen über die vertikale Erschließung eine Tageslichtlenkung bis in das Untergeschoss. Alle Räume des Untergeschosses verfügen über großformatige Fensterflächen mit direktem Zugang in den Garten. Hier wurden der heute nicht mehr benötigte Öltank und die Heizungsanlage entfernt. Die Räume wurden zusammengelegt und zu einem komfortablen Bad umgebaut. Rund 20 Quadratmeter zusätzliche Wohnfläche wurden so gewonnen. Weiterhin wurde der bereits überdachte Teil der ehemaligen Terrasse im Zuge der energetischen Ertüchtigung durch geringe Mehraufwendungen geschlossen und somit ein weiterer Wohnraum gewonnen. Die rückgebauten Holzbalken der ehemaligen Zwischendecke wurden zum Dachraum als Ständerwerk der neuen Außenwände im Bereich der ehemaligen Terrasse wiederverwendet.



Frontansicht des energy+Homes.



Koch- und Essbereich

Natürliche Belichtung, Klimatisierung und Lüftung waren erklärtes Ziel bei der energetischen Sanierung hin zum energy+Home. Der Lichteinfall sollte dabei immer direkt und gleichmäßig sein. Die Tageslicht-



verhältnisse im Haus wurden mittels Lichtstudien und -simulationen untersucht. Auf der Grundlage dieser Analyse wurde ein Konzept zur Erhöhung der natürlichen Belichtung im Haus erarbeitet.

Durch die Vergrößerung der ursprünglichen Fensterflächen und die richtige Positionierung der Dachflächenfenster lassen sich im energy+ Home in den Aufenthaltsbereichen des gesamten Obergeschosses sowie den Spielzonen im Untergeschoss Tageslichtquotienten von im Mittel 7 bis 10 % verwirklichen, gegenüber im Mittel 1,2 % des unsanierten Zustands. Der Tageslichtquotient beschreibt, zu welchem Anteil das außen vorherrschende Tageslicht im Innenraum nutzbar ist. Ein Raum mit einem Tageslichtquotienten von über 5 % wird schon besonders gut mit Tageslicht versorgt.



Koch- und Essbereich

Insgesamt wurde die Fensterfläche auf 76 m<sup>2</sup> vergrößert. Die vertikalen Verglasungen wurden zu raumhohen Panoramafenstern mit hochdämmender Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung erweitert und ermöglichen den Bezug nach draußen. Die Simulationen ergaben, dass die Lichtverhältnisse, vor allem in den Kernzonen des Hauses, wie in den Wohn- und Essbereichen, wesentlich durch eine Belichtung über das Dach verbessert werden könnten. Die Verglasung in Dachflächen fördert die Tageslicht-

qualität im Inneren von Räumen besonders gut, weil von oben einfallendes Tageslicht dreimal stärker ist als Seitenlicht. Es wurden gezielt acht Dachfenster in das Dach integriert, die die sonst tageslichtarmen Mittelzonen intensiv belichten. In den Sommermonaten liefern die Dachfenster einen wesentlichen Beitrag zur Nachtauskühlung, da die erwärmte Raumluft durch den thermischen Auftrieb direkt abgeführt werden kann. Für den zusätzlichen Schutz der Innenräume gegen die sommerliche Hitze sorgen solargesteuerte Rollläden der Dachflächenfenster. Sie ermöglichen eine Reduktion der Wärmelasten von bis zu 95 %. Auch der Raumcharakter der gesamten oberen Etage wird durch den Tageslichteinfall mittels dieser großen Dachfenster zu beiden Seiten des Satteldachs bestimmt. Sie unterstützen die Betonung der neu gewonnenen Raumhöhe. Durch die natürliche Belichtung gelingt es, das Obergeschoss ganztägig natürlich zu belichten und im Winter zusätzliche solare Wärmeenergie zu erzeugen. Somit wird die erforderliche Heizleistung reduziert und die Energiebilanz positiv beeinflusst.

### **3.3 Wärmeschutz**

Der Energiebedarf des Gebäudes wurde im Rahmen der Sanierung auf ein Minimum reduziert. Hierzu wurden an den Außenwänden, der Kellergrundfläche sowie dem Dach Dämmschichten mit Dicken zwischen 100 und 280 mm angebracht. Diese wurden bereichsweise als Außen- und Innendämmung ausgeführt. Der im Hang an das Erdreich angrenzende Bereich der Außenwände wurde ebenfalls außen- und teilweise mit Innendämmung gedämmt, um Wärmebrücken zu vermeiden. In unzugänglichen Bereichen, z.B. zur Nachbarbebauung hin, wurde eine Innendämmung mit Hochleistungsdämmstoffen ausgeführt. Ebenso wurde die Qualität der Gebäudehüllfläche durch das Ersetzen der Fenster verbessert. Dabei wurden die Fensterflächen durch Entfernen der Brüstung vergrößert und eine hochwertige Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung eingesetzt. Hierbei wurden gemittelte U-Werte der opaken Außenbauteile von  $< 0,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  erzielt, bei den transparenten Bauteilen im Mittel von  $< 0,78 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Insgesamt wurde der spezifische Transmissionswärmeverlust  $H'_{\tau}$  durch die genannten Maßnahmen von  $1,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  auf  $0,298 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  gesenkt, dies entspricht einer Verbesserung von über 80 %.

In Gebäuden entsteht stets neben den Transmissionswärmeverlusten ein großer Wärmeverlust durch den Luftwechsel der warmen Innenluft mit kalter Außenluft. Dieser ist zwar bei alten Bestandsgebäuden bezogen auf die Transmissionswärmeverluste gering, sein Anteil kann jedoch nach einer Verbesserung der thermischen Hülle ohne Weiteres auf über 50 % der Gesamtwärmeverluste ansteigen. Der Wärmeverlust durch unkontrollierten Luftwechsel infolge Infiltration wird durch den Einbau neuer Fenster mit einer höheren Dichtigkeit und die Ausbildung einer lückenlosen Luftdichtheitsebene reduziert. Die aufgrund des benötigten Mindestluftwechsels auftretenden Wärmeverluste werden durch den Einbau einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vermindert. Die verbrauchte warme Luft wird abgesaugt und nach außen geführt. Dabei wird die enthaltene Wärme über einen Gegenstromwärmetauscher an die dem Gebäude zugeführte Frischluft übertragen.

### **3.4 Anlagentechnik**

Neben der Reduktion der Wärmeverluste ist die Verwendung von regenerativen Energien zur Deckung des Energiebedarfs ein Teil des Konzepts. Als Wärmeerzeuger wird im energy<sup>+</sup>Home eine Luft-Wasser-

Wärmepumpe eingesetzt (Vaillant geoTHERM VWL 101/3 S, Baujahr 2011) Ihre Heizleistung beträgt maximal 10,78 kW (nach EnEV bei 7°C Außentemperatur und 35°C Heizwassertemperatur 7,5 kW). Die Wärmepumpe entzieht der Außenluft Umweltwärme und überträgt diese an einen Warmwasserspeicher (Vaillant allSTOR VPS 800/2, Baujahr: 2011). Dieser besitzt ein Speichervolumen von 765 l. Falls die Leistung der Wärmepumpe im Extremfall nicht ausreicht, ist sie mit einem Elektro-Heizstab mit 6 kW Leistung als Zusatzheizung ausgestattet. Vorteil einer Wärmepumpe ist, dass für die Gewinnung von 3 kWh Wärme im Jahresdurchschnitt nur etwa 1 kWh Strom benötigt wird. Es werden dementsprechend etwa 66 % der benötigten Energie regenerativ aus der Umwelt gewonnen.

Das Heizkonzept sieht eine individuelle Beheizung der einzelnen Räume mit einer Niedertemperatur-Flächenheizung im Fußboden vor. Damit wird den üblichen unterschiedlichen Behaglichkeitsanforderungen der Bewohner Rechnung getragen. Das Flächenheizsystem arbeitet mit niedrigen Temperaturen von etwa 35° C, was sich günstig auf den Wirkungsgrad der Wärmepumpe und somit den Strombedarf auswirkt. Die mechanische Be- und Entlüftungsanlage verfügt über Wärmerückgewinnung, die Luft wird jedoch nicht beheizt.

Auf den Einsatz von Solarthermie zur Warmwassererzeugung im Sommer wird bewusst verzichtet, da die Wärmepumpe bei hohen Außenlufttemperaturen im Sommer einen besonders hohen Wirkungsgrad von teilweise über 85 % besitzt. Der Effizienzgewinn wäre somit beim Einsatz einer Solarthermie-Anlage gering und daher wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Der notwendige Strom zum Betrieb der Wärmepumpe wird durch eine in beide Dachflächen des Gebäudes integrierte Photovoltaikanlage aus monokristallinen Solarzellen mit einer Leistung von 12,58 kWp erzeugt (PV-Bruttofläche von 83,1m<sup>2</sup>-/Bezugsfläche von 95,61). Der Jahresertrag der Anlage beträgt 9880 kWh. Insbesondere in der Sommerperiode erwirtschaftete Energieüberschüsse von über 3.400 kWh werden in das öffentliche Netz eingespeist, das im Gegenzug im Winter den Stromverbrauch über den Netzverbund absichert. Aus ästhetischen Gründen werden die neuartigen Photovoltaikmodule ebenflächig in das Dach integriert und nicht als Fremdkörper additiv aufmontiert.

### 3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

In der folgenden Tabelle sind die Prognosewerte nach DIN 18599 der Energiebedarfe zusammengestellt:

Name	Heizung	Warmwasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt + Kochen	sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	9.024	2814	-	-			
Wärme-/Kälteabgabe d. Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	10.725	7858	-	-			
Strombedarf [kWh/a]	3.410	1.883	684	-	250	1250	1000
	Gesamt kWh/a						

Die Nutzenergie unterscheidet sich von der Wärmeabgabe der Erzeugung dadurch, dass die Verteilungs- und Übergabeverluste herausgenommen wurden.

Die prognostizierte Leistung der Photovoltaikanlage ist in nachfolgender Tabelle aufgeführt:

Deckung (geplant)	
Komponente	[kWh/a]
PV-Dach	9.881
PV-Wand	-
PV-weitere	-
Gesamt	9.881

### 3.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m <sup>2</sup> a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	$9023,99+2813,89=11837,88$	$11837,88/182=65,0$
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trink-	$10.725+7858=18583$	$18583/182=102,1$

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m <sup>2</sup> a]
	warmwassererwärmung und Kühlung		
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	3410+1883= 5293	5293/182= 29,1
Endenergie Haustechnik	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	6367	6367/182= 35,0
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	12775	12775/182= 70,2

Die Zeile „Endenergie Erzeuger“ enthält keine Hilfsenergie für die Heizung. Der Primärenergiebedarf enthält die Wärmeenergie und die Hilfsenergie.

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,19
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,18
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,45
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	2,23
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	5,47
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik/ Nutzenergie)	1,16

## 4 Monitoring

### 4.1 Messkonzept

Im Rahmen des Monitorings im energy<sup>+</sup>Home in Nieder-Ramstadt werden verschiedene Sensoren zur Erfassung von Messdaten im Gebäude installiert und über einen Zeitraum von 24 Monaten erfasst. Die

Messwerte sind über ein KNX Bussystem mit dem Steuerungs- und Visualisierungsprogramm „tebis“ verbunden. Dieses Programm übermittelt die stündlichen Messwerte einmal pro Woche zum Zwecke der Auswertung. Das Programm kann auch per Fernabfrage gesteuert werden.

## **4.2 Verwendete Messtechnik**

In Folge des Zuwendungsbescheids wurde die Planung der messtechnischen Ausstattung weiter vorangetrieben, um die Positionierung der Sensoren und die Wege der Kabelführung innerhalb des Gebäudes festzulegen. Nach Abschluss der Planung wurde erneut ein Angebot für die Installation der Sensoren bei der mit dem Einbau der Elektrik im Gebäude betrauten Firma angefordert. Nach Vorlage des Angebots konnte im März 2013 die Beauftragung an die Firma erteilt werden. Von Seite des Auftragnehmers wurde ein Zeitraum von 4 bis 6 Wochen für Bestellung und Montage der Sensoren kommuniziert.

In der Folge hat sich der Einbau der Sensoren durch die beauftragte Firma immer wieder verzögert. Zunächst wurde ein Ausfall von Zulieferern der Sensoren infolge einer Insolvenz angeführt, so dass sich die Beschaffung der Sensoren bis in den September verzögerte. Im September wurde dann zügig mit der Installation der Sensoren begonnen. Dabei stellte sich heraus, dass der Montageaufwand im Gebäude mit einem größeren Zeitaufwand als ursprünglich vorgesehen verbunden war. In Folge dessen konnte die Installation aller Sensoren erst Ende November 2013 fertiggestellt werden. Im Gebäude wurden folgende Messwerte erfasst:

### **Stromerzeugung**

- Menge des erzeugten Stroms
- Menge des in das öffentliche Stromnetz eingespeisten Stroms
- Menge des aus dem öffentlichen Stromnetz bezogenen Stroms
- Menge des eigenen Verbrauchs als Differenzwert



Messgerät zur Erfassung der Strommengen

### Wärmeerzeugung

- Stromverbrauch Wärmepumpe
- Wärmeabgabe der Wärmepumpe an den Warmwasserspeicher mittels zwei Ultraschall-Wärmemengenzählern (Je Rücklauf 1 Zähler)
- Elektrische Energie des Zusatzheizstabs



Wärmemengenzähler für die Wärmeabgabe der Wärmepumpe an den Warmwasserspeicher

### Wärmespeicherung

- Wärmeabgabe an Heizsystem (Fußbodenheizung) mittels Ultraschall-Wärmemengenzählers
- Wärmeabgabe Trinkwarmwasser mittels Wasserzähler und zwei Temperatursensoren in Kaltwasserzulauf und Warmwasserabgabe
- Zirkulationswärmeverluste mittels Wasserzähler und Temperatursensor
- Speicherwärmeverluste als Differenz aus Wärmeeingang und Wärmeabgabe



Wasserzähler für den Trinkwarmwasserverbrauchs und die Zirkulationswärmeverluste

### Hilfsenergien

- Stromverbrauch für Heizungspumpen
- Stromverbrauch der Lüftungsanlage

### Sonstige Energieverbraucher

- Beleuchtungsstromverbrauch in verschiedenen Zonen
- Küche: Spülmaschine, Backofen/Kochfeld, Kühlschrank, Wasserarmatur „Grohe Red“ (Erzeugt kochendes Wasser)
- Haushaltsraum: Trockner, Waschmaschine
- Stromverbrauch aller Steckdosen getrennt nach Räumen

### Klimakenngrößen im Gebäude

- Raumlufttemperaturen in Küche, Wohnzimmer, WC, Bad, Schlafzimmer 1-4



- Schadstoffbelastung VOC in drei ausgewählten Räumen

#### **Effizienz der Wärmerückgewinnung**

- Frischlufttemperatur
- Zulufttemperatur
- Ablufttemperatur
- Fortlufttemperatur

#### **Klimadaten/Wetterstation**

- Außenlufttemperatur
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung auf horizontale Fläche
- Globalstrahlung auf senkrecht ausgerichtete Fläche in Richtung Süd

### **4.3 Dokumentation**

Neben den Sensoren wurde ein Rechner an das Bussystem angeschlossen, der die Messdaten der Sensoren erfasst, visualisiert und speichert. Die Messwerte werden gemäß den Vorgaben als stündliche Summen- oder Mittelwerte gespeichert.

## 5 Meteorologische Randbedingungen

### 5.1 Solarstrahlung

Klimadaten 2014												
Globalstrahlung horizontal in [W/m <sup>2</sup> ]												
	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
<b>Prognose</b>	33,0	52,0	82,0	190,0	211,0	256,0	255,0	179,0	135,0	75,0	39,0	22,0
<b>Messung</b>	34,0	≈ 55	≈135	≈175	≈215	≈250	≈210	165,1	120,2	70,0	30,1	12,2
Globalstrahlung vertikal Süd in [W/m <sup>2</sup> ]												
<b>Prognose</b>	56,0	61,0	80,0	137,0	119,0	130,0	135,0	112,0	115,0	81,0	54,0	33,0
<b>Messung</b>	47,9	0,1	-	-	-	-				78,4	36,3	10,4
Klimadaten 2015												
Globalstrahlung horizontal in [W/m <sup>2</sup> ]												
	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
<b>Prognose</b>	33,0	52,0	82,0	190,0	211,0	256,0	255,0	179,0	135,0	75,0	39,0	22,0
<b>Messung</b>	53,8	51,8	110,3	190,8	202,1	218,0	225,4	244,8	110,9	69,2	27,7	21,4
Globalstrahlung vertikal Süd in [W/m <sup>2</sup> ]												
<b>Prognose</b>	56,0	61,0	80,0	137,0	119,0	130,0	135,0	112,0	115,0	81,0	54,0	33,0
<b>Messung</b>	24,8	62,3	117,1	157,1	125,4	117,0	128,7	173,1	112,1	77,2	34,5	43,7

Für die Monate Februar bis Juli 2014 sind aufgrund von Defekten der Messapparatur keine eigenen Messdaten der Solarstrahlung vorhanden. Die angegebenen näherungsweise Werte wurden aus Angaben des Deutschen Wetterdienstes extrapoliert. Die Prognose enthält jeweils das Referenzklima Deutschland nach DIN 18599-10 von 2007.

### 5.2 Außenlufttemperaturen

Das langjährige Mittel der Außentemperaturen am Standort beträgt 9,6°C. Das langjährige Mittel an den durchschnittlich 263 Heiztagen beträgt 6,0 °C. Für das Jahr 2014 betragen die Temperaturen 12,1°C bzw. 8,3°C an den 231 Heiztagen, für das Jahr 2015 betragen die Temperaturen 11,7°C bzw. 7,8°C an den 250 Heiztagen. Die Werte wurden mit dem Tool „Gradtagezahlen\_Deutschland“ des Instituts für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, entsprechend der "Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand vom 26. Juli 2007“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung berechnet.

### 5.3 Klimabereinigung

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Nieder-Ramstadt für 2014 / 2015	2691 / 3053
Gradtagzahl am Standort Nieder-Ramstadt für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	3.688
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Potsdam ab.2014:  
 $KF = K_d / K_d = 1,23$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:  
 $KF = 3.601 K_d / K_d = 1,2$

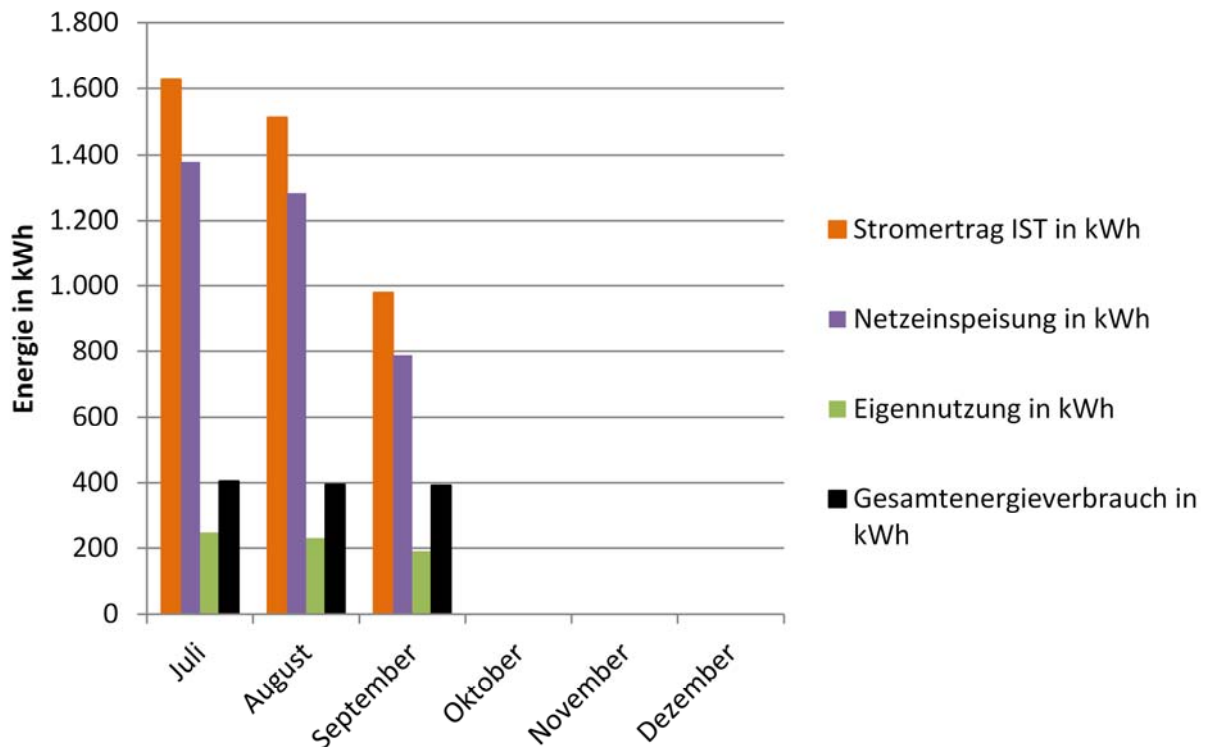
Die Gradzahltag sind nach VDI 3807 unter der Annahme einer Innentemperatur von 20°C, einer Heizgrenztemperatur von 15°C und der Klimazone 11 nach DIN V 4108-6 von 2003 mit dem Tool „Gradtagszahlen\_Deutschland“ des Instituts für Wohnen und Umwelt, Darmstadt entsprechend der "Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand vom 26. Juli 2007" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ermittelt.

## 6 Messergebnisse

### 6.1 Stromverbrauch

#### 6.1.1 Stromverbrauch für Hausbetrieb

Anhand von Ablesungen an den Stromzählern konnte bereits vor Fertigstellung der Installationen des Messsystems die Energiebilanz des Gebäudes, zumindest monatsweise, ermittelt werden. Für die Monate Juli bis September 2013 haben sich dabei Nettoenergiegewinne eingestellt. Die Werte sind in der folgenden Abbildung dargestellt.



Energiebilanz in den Monaten Juli bis September 2013

Für 2014 und 2015 sind die Mithilfe des Messsystems gewonnenen Werte in der sich anschließenden Tabelle aufgelistet. Die Werte von August und September sind lediglich in der Summe korrekt, da in der Zeit um den Monatswechsel keine stündlichen Werte dokumentiert werden konnten. Die Differenz zwischen dem Gesamtstromverbrauch und der Summe der Verbräuche in der Tabelle wird für Heizung/Warmwasser (Wärmepumpe), Heizungspumpe und Lüftung aufgewendet.

<b>Messdaten Stromver- brauch</b>						
	Gesamtstrom- verbrauch	Beleuchtung	Kochen	Haushalts- geräte *	Hilfsenergie Anlagentechn.	Steckdosen
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>2014</b>						
Januar	1470,10	17,9	41,7	122,10		33,2
Februar	1004,87	25,15	28,36	93,10	38,03	21,78
März	971,19	19,94	47,41	121,95	52,18	31,27
April	596,26	24,88	36,23	97,35	53,37	22,55
Mai	672,77	15,51	50,50	120,08	58,65	28,03
Juni	499,21	14,75	55,35	127,45	60,06	27,63
Juli	505,91	19,54	40,09	105,59	55,14	24,74
August	500,40	76,82	30,51	71,27	60,94	20,13
September	642,46	23,20	43,44	110,02	70,32	31,13
Oktober	768,45	24,61	44,20	121,73	75,63	27,19
November	1165,21	11,43	42,30	103,32	71,40	24,65
Dezember	1384,87	11,07	44,12	105,53	71,16	24,83
gesamt	10181,70	284,79	504,20	1299,48	666,90	317,12
<b>2015</b>						
Januar	1637,53	17,23	43,51	116,17	72,85	29,80
Februar	1434,72	11,73	38,05	97,30	65,67	26,37
März	1273,07	19,34	51,99	128,39	71,40	42,03
April	788,45	15,83	34,06	99,59	70,11	23,44
Mai	650,94	17,48	45,26	119,16	71,71	25,17
Juni	584,94	13,11	45,42	112,47	75,71	32,84
Juli	619,71	11,11	129,95	194,24	79,90	25,51
August	774,23	21,63	113,71	190,73	101,68	35,13
September	439,38	9,85	33,37	80,85	44,14	20,26
Oktober	804,74	5,37	36,59	85,86	70,41	22,70
November	1081,23	10,19	48,44	116,81	76,24	28,63
Dezember	983,86	23,81	35,82	83,09	75,59	17,41
gesamt	11072,80	176,68	656,17	1424,67	875,41	329,29

\*(Kochen, Waschmaschine, Spülmaschine, Trockner, Kühlschrank, Gefrierschrank)

### 6.1.2 Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil

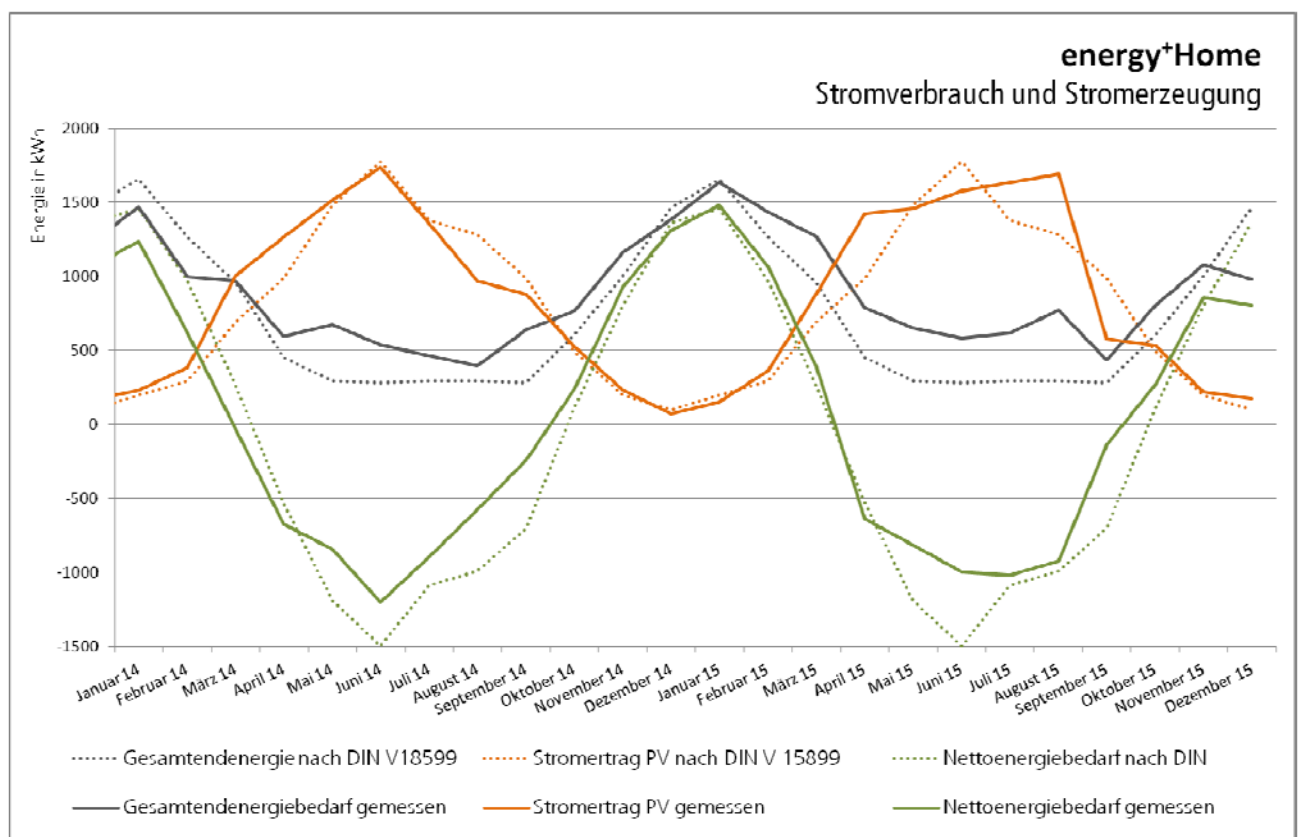
Der Stromverbrauch für das Bussystem sowie für die zur Gebäudeüberwachung benötigte EDV beläuft sich auf ca.55 kWh im Monat.

### 6.1.3 Stromverbrauch für Elektromobilität

Zur Zeit nutzen die Bewohner des Gebäudes kein Elektrofahrzeug.

### 6.1.4 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung

In den folgenden Grafiken sind für die erfassten Messzeiträume 2014 und 2015 der Gesamtenergiebedarf, der ausschließlich aus elektrischer Energie besteht, der Stromertrag und der Nettoenergiebedarf den Werten der Berechnung nach DIN V 18599 gegenübergestellt. Der Nettoenergiebedarf ist die Differenz aus Gesamtenergiebedarf und Stromertrag. Aufgrund des vom energy+Home erzeugten Energieüberschusses ist dieser Wert im Jahresmittel negativ. Die Werte von August und September sind lediglich in der Summe korrekt, da in der Zeit um den Monatswechsel keine stündlichen Werte dokumentiert werden konnten.



Vergleich des Energieverbrauchs mit den berechneten Werten nach DIN V 18599 für 2014 und 2015.

### 6.2 Eigenstromnutzung

In der folgenden Tabelle ist die Photovoltaikproduktion dem Eigenverbrauch und der Rückspeisung gegenübergestellt. Es sind sowohl nach DIN 18599 prognostizierte als auch gemessene Werte angegeben. Da Stromproduktion und Strombedarf nicht immer gleichzeitig erfolgen, wird jedoch in jedem Monat sowohl Strom aus dem Netz bezogen, als auch in dieses eingespeist.

<b>Stromverbrauch und Stromerzeugung 2014</b>															
[kWh]		<b>Total</b>	<b>Jan.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mrz.</b>	<b>Apr.</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Aug.</b>	<b>Sept.</b>	<b>Okt.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>	
<b>Stromertrag PV</b>	Prognose	9.881,0	198,0	296,0	692,0	988,0	1.482,0	1.778,0	1.383,0	1.285,0	988,0	494,0	198,0	99,0	
	Messung	10.190,0	232,8	382,9	1.002,8	1.269,4	1.517,3	1.739,3	1.358,4	970,0	881,1	529,1	234,5	72,2	
<b>Netzeinspeisung</b>	Prognose	7.567,0	0,0	0,0	52,0	840,0	1.392,0	1.691,0	1.293,0	1.196,0	901,0	202,0	0,0	0,0	
	Messung	7.974,7	122,9	257,0	797,7	1.058,6	1.256,5	1.459,2	1.108,9	786,0	653,4	341,4	116,9	16,3	
<b>Eigenverbrauch</b>	Prognose	2.314,0	198,0	296,0	640,0	148,0	90,0	87,0	90,0	89,0	87,0	292,0	198,0	99,0	
	Eigenverbrauchsanteil	Prognose	0,2	1,0	1,0	0,9	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,6	1,0	1,0
	Messung	2.207,6	109,9	125,9	205,1	210,7	260,9	280,0	246,1	179,9	227,7	187,8	117,6	56,0	
	Eigenverbrauchsanteil	Messung	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8
<b>Netzstrombezug</b>	Prognose	6.553,0	1.458,3	969,8	317,3	308,5	205,3	198,5	204,3	205,3	198,5	314,3	808,5	1.364,3	
	Messung	7.870,8	1.360,2	879,0	766,0	385,5	411,9	259,8	219,2	217,3	414,7	580,7	1.047,6	1.328,9	
<b>Gesamtenergiebedarf</b>	Prognose	8.867,1	1.656,3	1.265,8	957,3	456,5	295,3	285,5	294,3	294,3	285,5	606,4	1.006,5	1.463,4	
	Messung	10.104,0	1.469,8	1.004,2	996,7	596,3	672,8	539,8	465,3	398,1	642,5	768,4	1.165,2	1.384,9	
<b>Nettoenergieverbrauch</b>	Prognose	-1.013,9	1.458,3	969,8	265,3	-531,5	-1.186,7	-1.492,5	-1.088,7	-990,7	-702,5	112,4	808,5	1.364,4	
	Messung	-85,9	1.237,0	621,3	-6,1	-673,1	-844,6	-1.199,5	-893,1	-571,9	-238,7	239,3	930,7	1.312,6	

<b>Stromverbrauch und Stromerzeugung 2015</b>															
[kWh]		<b>Total</b>	<b>Jan.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mrz.</b>	<b>Apr.</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Aug.</b>	<b>Sept.</b>	<b>Okt.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>	
<b>Stromertrag PV</b>	Prognose	9.881,0	198,0	296,0	692,0	988,0	1.482,0	1.778,0	1.383,0	1.285,0	988,0	494,0	198,0	99,0	
	Messung	10.785,2	232,8	364,7	877,3	1.427,3	1.461,8	1.581,6	1.637,3	1.692,7	576,6	533,7	221,7	177,6	
<b>Netzeinspeisung</b>	Prognose	7.567,0	0,0	0,0	52,0	840,0	1.392,0	1.691,0	1.293,0	1.196,0	901,0	202,0	0,0	0,0	
	Messung	7.955,5	122,9	222,8	648,7	1.173,3	1.163,3	1.270,2	1.300,1	1.100,1	395,4	373,1	105,6	80,1	
<b>Eigenverbrauch</b>	Prognose	2.314,0	198,0	296,0	640,0	148,0	90,0	87,0	90,0	89,0	87,0	292,0	198,0	99,0	
	Eigenverbrauchsanteil	Prognose	0,2	1,0	1,0	0,9	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,6	1,0	1,0
	Messung	2.829,6	109,9	141,9	228,7	254,1	298,5	311,4	337,2	592,6	181,2	160,6	116,1	97,5	
	Eigenverbrauchsanteil	Messung	0,3	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5
<b>Netzstrombezug</b>	Prognose	6.553,0	1.458,3	969,8	317,3	308,5	205,3	198,5	204,3	205,3	198,5	314,3	808,5	1.364,3	
	Messung	8.075,7	1.360,2	1.292,8	1.044,4	534,4	352,4	273,6	282,5	181,6	258,2	644,1	965,1	886,4	
<b>Gesamtenergiebedarf</b>	Prognose	8.867,1	1.656,3	1.265,8	957,3	456,5	295,3	285,5	294,3	294,3	285,5	606,4	1.006,5	1.463,4	
	Messung	10.905,1	1.469,8	1.434,7	1.273,1	788,5	650,9	584,9	619,7	774,2	439,4	804,7	1.081,2	983,9	
<b>Nettoenergieverbrauch</b>	Prognose	-1.013,9	1.458,3	969,8	265,3	-531,5	-1.186,7	-1.492,5	-1.088,7	-990,7	-702,5	112,4	808,5	1.364,4	
	Messung	119,9	1.237,0	1.070,0	395,7	-638,9	-810,9	-996,6	-1.017,6	-918,5	-137,2	271,1	859,6	806,3	

## 6.3 Anlagenperformance

### 6.3.1 Wärmeerzeuger

Wärmeerzeugung und Wärmespeicherung 2014														
[kWh]		Total	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Stromverbr. Wärmeerzeuger	Prognose	5.293,1	1.243,1	910,1	596,6	152,8	82,8	79,7	82,0	81,9	79,9	272,2	649,1	1.063,1
	Messung	5.297,7	1.111,9	657,4	557,5	217,3	257,7	119,5	87,1	72,8	202,9	309,6	739,2	964,9
Stromverbr. Wärmepumpe	Messung	4.976,5	1.025,6	622,9	526,8	208,5	248,8	114,0	82,4	68,3	196,6	300,7	708,3	873,6
Stromverbr. Zusatzheizstab	Messung	321,2	86,3	34,5	30,7	8,8	8,9	5,5	4,7	4,5	6,3	8,9	30,9	91,3
Endenergie Heizung	Prognose	3.409,9	971,8	680,5	375,7	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,1	441,4	815,3
	Messung	4.148,1	829,6	616,7	458,8	140,0	169,0	28,7	0,0	10,7	126,3	221,2	664,4	882,6
Endenergie Warmwasser	Prognose	1.883,2	271,3	229,6	220,8	142,8	82,8	79,7	82,0	81,9	79,9	157,1	207,8	247,7
	Messung	1.145,2	251,3	67,3	98,7	77,3	88,7	90,9	87,1	62,1	76,6	88,4	74,8	82,2
Wärmeerzeug. Wärmepumpe	Messung	11.689,0	0,0	1.860,0	1.604,0	655,0	715,0	263,0	156,0	183,0	559,0	939,0	2.244,0	2.511,0
Heizungsnutzwärme	Prognose	10.725,2	2.797,6	2.036,1	1.323,7	42,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	478,7	1.563,6	2.483,5
Heizung Nutzenergie	Prognose	9.024,0	2.368,4	1.717,4	1.103,7	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	386,0	1.313,5	2.101,4
Heizung Verteilung	Prognose	908,9	221,3	167,9	123,1	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,7	134,8	197,5
Heizung Übergabe	Prognose	792,3	208,0	150,8	96,9	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,9	115,3	184,5
Heizungsnutzwärme	Messung	11.688,5	2.377,5	1.677,0	1.320,0	422,0	469,0	63,0	0,0	27,0	348,0	671,0	2.017,0	2.297,0
Brauchwassernutzwärme	Prognose	2.814,0	239,0	215,9	239,0	231,3	239,0	231,3	239,0	239,0	231,3	239,0	231,3	239,0
	Messung	364,2	48,8	42,8	35,2	21,2	25,0	18,7	17,9	7,5	23,5	82,2	18,1	23,4
Zirkulationswärmeverluste	Prognose	5.043,7	441,7	396,8	434,7	413,9	423,3	406,1	416,7	416,3	407,8	428,2	419,9	438,4
	Messung	35,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	26,1	5,2	3,9
Speicherwärmeverluste	Prognose	44,5	10,8	8,2	6,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	6,6	9,7
	Messung	2.026,0	0,0	137,4	248,8	211,8	221,0	181,3	138,1	148,5	186,8	159,8	205,7	186,7

Wärmeerzeugung und Wärmespeicherung 2015														
[kWh]		Total	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Stromverbr. Wärmeerzeuger	Prognose	5.293,1	1.243,1	910,1	596,6	152,8	82,8	79,7	82,0	81,9	79,9	272,2	649,1	1.063,1
	Messung	5.593,0	1.180,6	1.028,8	775,0	350,0	180,9	127,0	94,5	139,0	131,1	404,2	626,0	555,9
Stromverbr. Wärmepumpe	Messung	5.151,9	1.025,6	919,4	734,7	336,1	174,6	121,6	89,2	131,7	126,9	390,6	576,5	524,9
Stromverbr. Zusatzheizstab	Messung	441,1	155,0	109,3	40,3	13,9	6,3	5,4	5,4	7,3	4,2	13,6	49,5	31,0
Endenergie Heizung	Prognose	3.409,9	971,8	680,5	375,7	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,1	441,4	815,3
	Messung	3.744,3	829,6	616,7	458,8	140,0	169,0	28,7	0,0	34,6	77,9	341,0	555,2	492,9
Endenergie Warmwasser	Prognose	1.883,2	271,3	229,6	220,8	142,8	82,8	79,7	82,0	81,9	79,9	157,1	207,8	247,7
	Messung	1.115,9	251,3	67,3	98,7	77,3	88,7	90,9	87,1	104,4	53,2	63,2	70,9	63,0
Wärmeerzeug. Wärmepumpe	Messung	14.967,0	2.950,0	2.570,0	2.192,0	1.004,0	466,0	245,0	145,0	289,0	372,0	1.273,0	1.776,0	1.685,0
Heizungsnutzwärme	Prognose	10.725,2	2.797,6	2.036,1	1.323,7	42,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	478,7	1.563,6	2.483,5
Heizung Nutzenergie	Prognose	9.024,0	2.368,4	1.717,4	1.103,7	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	386,0	1.313,5	2.101,4
Heizung Verteilung	Prognose	908,9	221,3	167,9	123,1	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,7	134,8	197,5
Heizung Übergabe	Prognose	792,3	208,0	150,8	96,9	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,9	115,3	184,5
Heizungsnutzwärme	Messung	10.764,5	2.377,5	1.677,0	1.320,0	422,0	469,0	63,0	0,0	72,0	221,0	1.074,0	1.575,0	1.494,0
Brauchwassernutzwärme	Prognose	2.814,0	239,0	215,9	239,0	231,3	239,0	231,3	239,0	239,0	231,3	239,0	231,3	239,0
	Messung	237,1	48,8	42,8	35,2	21,2	25,0	18,7	17,9	0,0	6,5	6,2	9,4	5,4
Zirkulationswärmeverluste	Prognose	5.043,7	441,7	396,8	434,7	413,9	423,3	406,1	416,7	416,3	407,8	428,2	419,9	438,4
	Messung	28,4	0,0	0,6	1,5	1,3	8,3	7,5	2,5	0,0	1,5	1,3	0,7	3,2
Speicherwärmeverluste	Prognose	44,5	10,8	8,2	6,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	6,6	9,7
	Messung	2.063,3	0,0	137,4	248,8	211,8	221,0	181,3	138,1	217,0	143,0	191,5	190,9	182,4



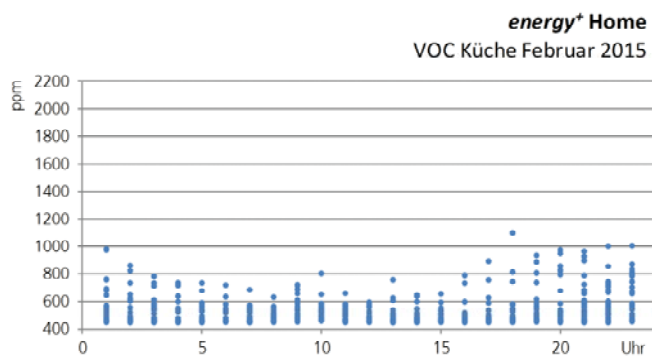
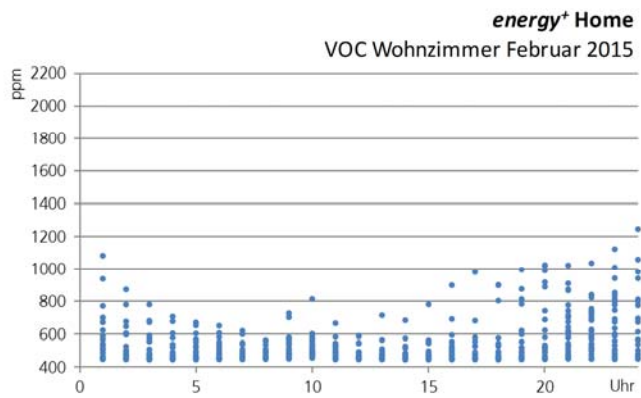
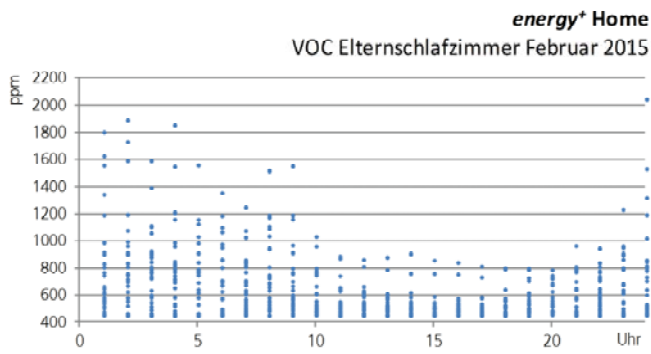
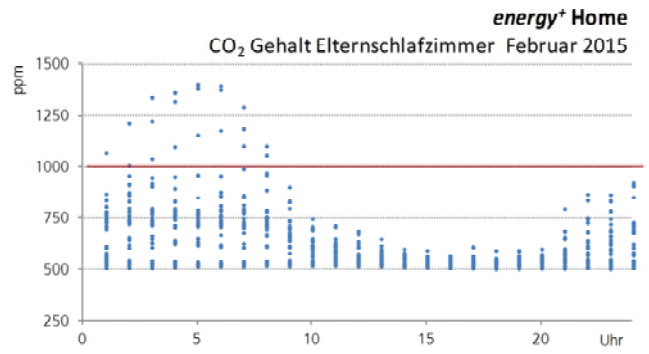
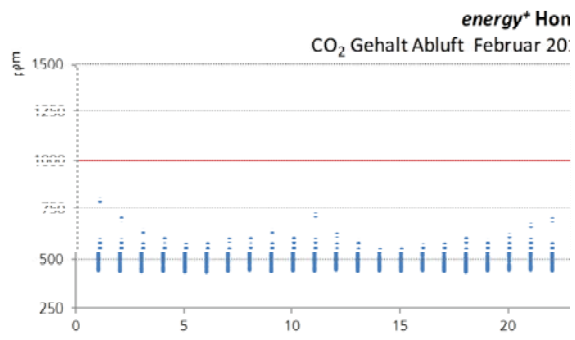
### 6.3.2 Lüftungsanlage

Hilfsenergien und Effizienz der Wärmerückgewinnung 2014														
[kWh]		Total	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
<b>Stromverbr. Heiz.-pumpe</b>	Prognose	391	101,2	73,4	48,8	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3	55,4	88,1
Hilfsenergie Erzeuger	Prognose	201	56,6	39,4	23,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	26,8	47,5
Hilfsenergie Übergabe	Prognose	190	44,6	34,0	25,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	28,6	40,6
<b>Stromverbr. Lüftungsanl.</b>	Prognose	684	100,0	90,0	100,0	97,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	97,0	100,0
	Messung	431	27,1	21,9	28,7	30,0	33,2	35,2	32,9	28,6	44,9	50,9	49,4	47,9
Volumenstrom [1000 m <sup>3</sup> /h]	Messung		0,0	99,4	126,9	123,1	127,3	123,5	111,2	101,6	124,0	128,3	123,9	126,3
Temperatur Frischluft [°C]	Messung		5,3	6,9	9,0	13,3	14,4	18,4	20,5	15,7	16,0	13,2	7,9	4,7
Temperatur Zuluft [°C]	Messung		11,2	12,2	13,8	17,3	18,5	22,2	23,9	19,3	21,4	20,2	17,4	15,3
Temperatur Abluft [°C]	Messung		18,7	19,0	19,8	21,8	23,0	25,7	26,8	22,8	23,7	22,5	21,5	20,3
Temperatur Fortluft [°C]	Messung		9,1	10,5	12,6	16,6	17,7	21,7	23,7	18,7	18,5	15,5	10,9	8,2
<b>Sum. Hilfsen. Lüftung+WP</b>	Messung	681	27,1	38,0	52,2	53,4	58,7	60,1	55,1	48,4	70,3	75,6	71,4	71,2

Hilfsenergien und Effizienz der Wärmerückgewinnung 2015														
[kWh]		Total	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
<b>Stromverbr. Heiz.-pumpe</b>	Prognose	391	101,2	73,4	48,8	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3	55,4	88,1
Hilfsenergie Erzeuger	Prognose	201	56,6	39,4	23,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	26,8	47,5
Hilfsenergie Übergabe	Prognose	190	44,6	34,0	25,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	28,6	40,6
<b>Stromverbr. Lüftungsanl.</b>	Prognose	684	100,0	90,0	100,0	97,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	97,0	100,0
	Messung	597	47,1	41,1	48,0	47,6	47,4	50,2	53,6	69,0	33,8	51,3	53,5	54,1
Volumenstrom [1000 m <sup>3</sup> /h]	Messung		205,0	115,0	127,7	123,8	120,5	124,1	128,1	31,5	68,3	124,8	124,1	128,1
Temperatur Frischluft [°C]	Messung		3,8	2,9	7,1	11,0	15,1	18,4	22,4	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV
Temperatur Zuluft [°C]	Messung		14,9	14,2	16,4	19,0	21,8	23,9	27,4	26,9	20,8	17,9	17,0	15,7
Temperatur Abluft [°C]	Messung		20,8	20,6	21,7	23,3	24,7	25,7	28,9	27,6	23,7	22,0	22,0	20,6
Temperatur Fortluft [°C]	Messung		7,5	7,0	10,7	14,3	17,9	20,9	25,0	25,6	16,9	13,6	12,7	12,2
<b>Sum. Hilfsen. Lüftung+WP</b>	Messung	875	72,9	65,7	71,4	70,1	71,7	75,7	79,9	101,7	44,1	70,4	76,2	75,6

### 6.3.3 Raumluftqualität - CO<sub>2</sub> und VOC Gehalt

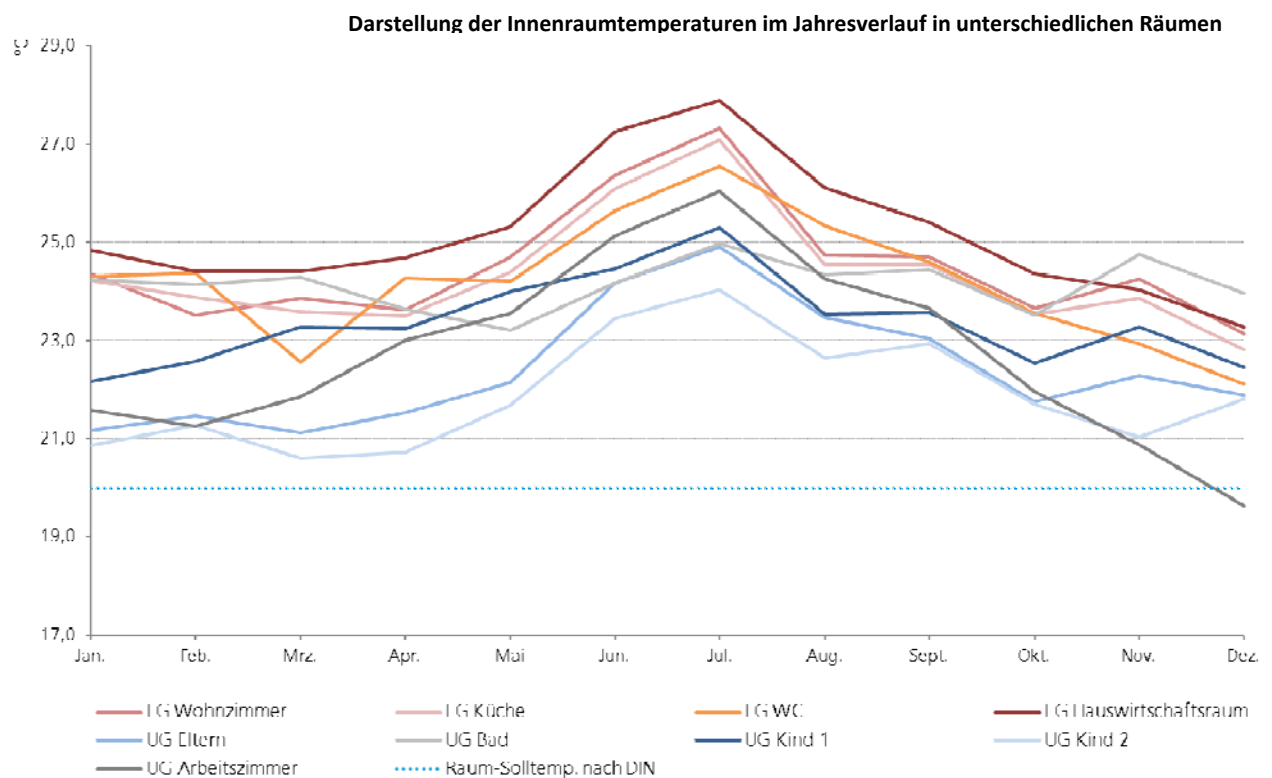
Exemplarisch für den Februar 2015 sind die Stunden-Messwerte von VOC (Volatile Organic Compound) und CO<sub>2</sub> für verschiedene Räume grafisch dargestellt. Die Datenerfassung erfolgt über Messwertaufnehmer mit Halbleitersensoren. Der Sensor für VOC spricht auf verschiedene Luftschadstoffe wie Zigarettenrauch, Formaldehyde, Toluene, Ethanol, Ammoniak, Hydrogen Sulfid, Sulfur und Dioxide an. Als Richtwerte für die Luftqualität hat das Umweltbundesamt Richtwerte für den CO<sub>2</sub>-Gehalt definiert. Ein CO<sub>2</sub>-Gehalt <1.000 ppm in der Raumluft gilt als hygienisch einwandfrei. CO<sub>2</sub>-Gehalte 1.000 bis 2.000 ppm gelten als hygienisch auffällig und CO<sub>2</sub>-Gehalte >2.000 ppm als hygienisch bedenklich. Aus den Grafiken wird deutlich, dass die Belastung der Raumluft durch vor allem in den sehr frühen Morgenstunden am höchsten ist, da in dieser Zeit die Lüftungsanlage im Absenkbetrieb arbeitete. Über eine Anpassung der Betriebseinstellungen der Lüftungsanlage kann die Raumluftqualität verbessert werden.



## 6.4 Innenraumtemperaturen Sommer/Winter

Darstellung der Innenraumtemperaturen im Jahresverlauf in unterschiedlichen Räumen													
[°C]		Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Innenraumtemperatur	Prognose	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
EG Wohnzimmer	Messung	24,4	23,5	23,9	23,6	24,7	26,4	27,3	24,7	24,7	23,7	24,3	23,1
EG Küche	Messung	24,2	23,9	23,6	23,5	24,4	26,1	27,1	24,5	24,6	23,5	23,9	22,8
EG WC	Messung	24,3	24,4	22,6	24,3	24,2	25,6	26,6	25,3	24,6	23,6	22,9	22,1
EG Hauswirtschaftsraum	Messung	24,8	24,4	24,4	24,7	25,3	27,2	27,9	26,1	25,4	24,4	24,0	23,3
UG Eltern	Messung	21,2	21,5	21,1	21,5	22,1	24,2	24,9	23,5	23,0	21,8	22,3	21,9
UG Bad	Messung	24,2	24,1	24,3	23,6	23,2	24,2	25,0	24,4	24,4	23,5	24,8	24,0
UG Kind 1	Messung	22,2	22,6	23,3	23,3	24,0	24,5	25,3	23,5	23,6	22,5	23,3	22,5
UG Kind 2	Messung	20,9	21,3	20,6	20,7	21,7	23,5	24,0	22,7	22,9	21,7	21,0	21,8
UG Arbeitszimmer	Messung	21,6	21,3	21,9	23,0	23,6	25,1	26,0	24,3	23,7	22,0	20,9	19,6

energy+Home



## 7 Kosten / Wirtschaftlichkeit

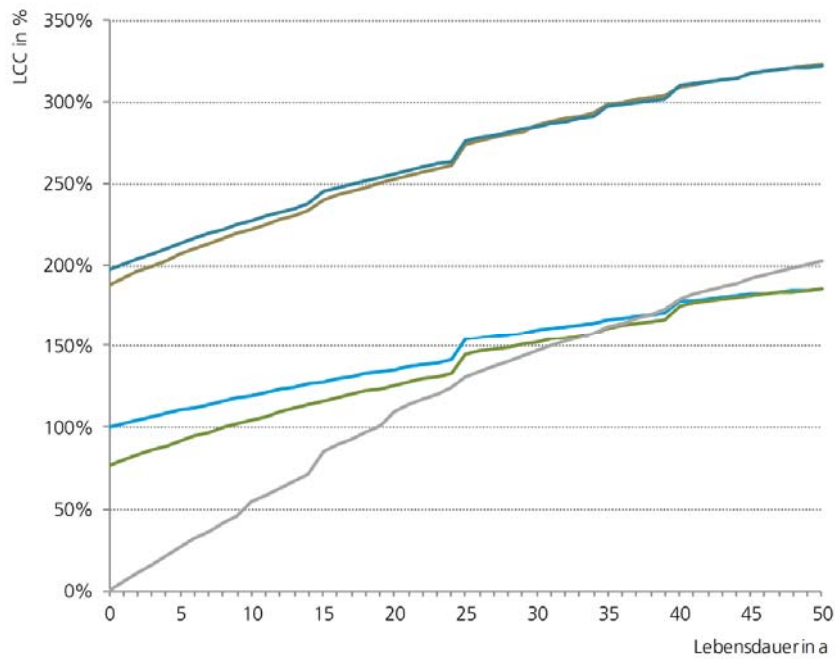
### 7.1.1 Baukosten und laufende Kosten

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr-/Minderkosten inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard [€]
Außenwand	-	+3500
Dach	-	+2000
Wand gegen Erdreich	-	+500
Bodenplatte	-	-830

Fenster	-	+24.000
Heizungsanlage incl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	+3000
Solarthermie	Vorhanden	nicht vorhanden
Lüftungsanlage	Vorhanden	+3600
Photovoltaik	Keine	+35.000
Batterie		nicht vorhanden
Beleuchtung	Standard	2000
Geräte	Standard	1160
Mehrinvestitionskosten	-	+73.930
Energie- + Betriebskosten		
Gas		
Strom	750	-150
Wartung Heizung		
Netzeinspeisevergütung	0 €	-1171
Laufende Kosten pro Jahr	1637,02	-911,04

Die Mehrinvestitionskosten enthalten die energieeffizienzbedingten Mehrosten und die Mehrkosten der Instandsetzung incl. Mehrwertsteuer. Die Stromkosten verstehen sich vor der Rückzahlung der Netzeinspeisevergütung. Die laufenden Kosten enthalten die Betriebskosten für Heizwärme, Warmwasser, Lüftung, Beleuchtung, Hilfsenergie und Einspeisevergütung sowie Eigennutzung Strom.

Wie der nachfolgenden Grafik zu entnehmen ist, amortisieren sich unter Berücksichtigung der Wertsteigerung durch den Flächengewinn im UG bei der energy+Home Sanierung die höheren Herstellungskosten gegenüber der EnEV-Sanierung nach 50 Jahren aufgrund der niedrigeren Betriebskosten und den Erträgen der Eigenstromproduktion nahezu. Gegenüber dem unsanierten Bestand sind die Lebenszykluskosten des energy+Home nach 40 Jahren geringer.



### 7.1.2 Kosten Geräte

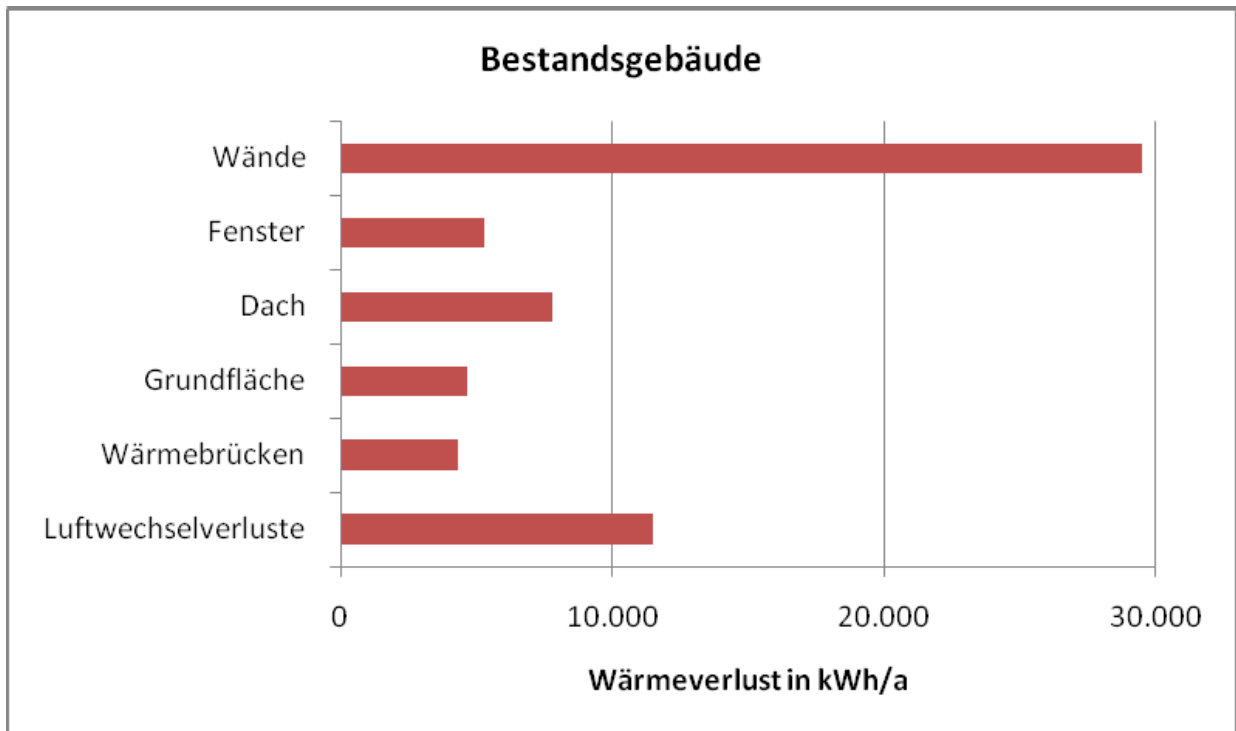
Gerät	Effizienzklasse	Kosten [€]
Herd	-	
Backofen	-	
Dunstabzugshaube	-	
Mikrowelle		
Spülmaschine	A+++	
Kühlschrank	A+++	
Gefrierschrank	A+++	
Waschmaschine	A+++	
Wäschetrockner	A+++	
Beleuchtung		
Investitionskosten		

## 8 Bewertung

### 8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

Bei dem energy+ Home handelte es sich vor der Sanierung um ein zweigeschossiges Reihenendhaus aus dem Jahr 1970, ausgelegt für einen 4- bis 5-Personen-Haushalt. Es wurde als beidseitig verputzte Mauerwerkskonstruktion erbaut, mit einer Geschossdecke aus Stahlbeton. Die Wohnfläche des Gebäudes beträgt vor der Sanierung 158m<sup>2</sup>. Die Wohnsiedlung ist nicht an die öffentliche Gasversorgung angeschlossen, weshalb da Gebäude seit den 70er Jahren mit Erdöl beheizt wird. Für die letzten 10 Jahre ist ein Brennstoffverbrauch für Heizung und Warmwasser im Mittel von 5.680 Litern Heizöl pro Jahr dokumentiert. Dies entspricht einem Primärenergieverbrauch von 408 kWh / m<sup>2</sup> a und einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von mehr als 16.000 kg/Jahr.

Die Grundlage für die Konzeption von effizienten energetischen Modernisierungsmaßnahmen bildet eine energetische Bewertung des Bestandsgebäudes. Diese wurde in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 durchgeführt. Das Ergebnis ist eine detaillierte Energiebilanz für das Gebäude, die die energetische Bewertung einzelner Bauteile und Anlagenteile ermöglicht. Die entsprechende Berechnung bestätigt, dass die Transmissionswärmeverluste der in Teilen ungedämmten Gebäudehülle aufgrund der hohen Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile erwartungsgemäß sehr hoch sind. In nachfolgender Abbildung sind die bauteilbezogenen Wärmeverluste und die Luftwechselverluste des Bestandsgebäudes dargestellt. Die berechneten Wärmeverluste verdeutlichen das hohe Energieeinsparpotential, das die thermische Verbesserung der Gebäudehüllfläche bietet. Wie bei Bestandsgebäuden typisch, sind die Lüftungswärmeverluste im Vergleich zu den Transmissionswärmeverlusten gering. Da am Standort des Gebäudes keine Gasversorgung vorhanden ist, war zur Beheizung und Warmwasserversorgung ein Öl-Kessel installiert. Dies bedingt einen großen Heizöltank im Untergeschoss des Gebäudes, der einerseits die Wohnflächen reduziert und andererseits die Gefahr von toxischen Emissionen im Gebäude erzeugt.



Bauteilbezogene Transmissionswärme- und Luftwchselverluste des Bestandsgebäudes

Um die Effizienz der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen zum energy<sup>+</sup>Home zu bewerten, wurden parallel zwei weitere Modernisierungsvarianten betrachtet, die die obere und untere Grenze der heutigen Neubaustandards bilden. Eine Variante entspricht der Ausführung nach Standard EnEV 2009 zur Berechnung des Grenzwertes des Primärenergiebedarfs für Neubauten. Die zweite Variante entspricht im Hinblick auf die Bauteilkennwerte den Anforderungen an den Passivhausstandard. Da die Wohnflächen bei der Modernisierung zum CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäude ebenso wie beim Passivhausstandard aufgrund des Wegfalls der Brennstofflagerflächen größer werden, sind alle Energiekennzahlen in ihrer absoluten Größe dargestellt und nicht auf die Wohnfläche oder die Gebäudenutzfläche bezogen. Dies dient der besseren Vergleichbarkeit der verschiedenen Varianten untereinander.

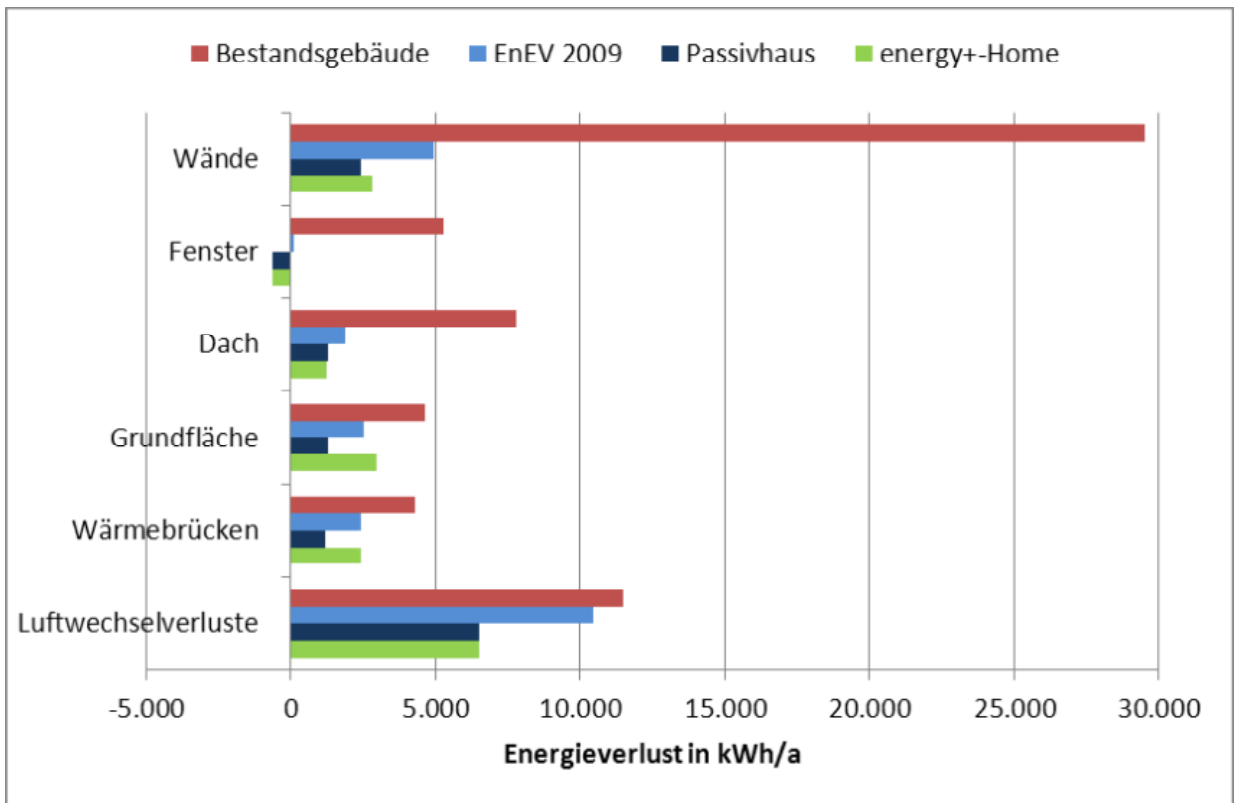
## Geometrie und Bauteilkennwerte des Bestandsgebäudes und der Sanierungsvarianten

Variante	Bestands- gebäude	EnEV- Referenz- gebäude	Passivhaus- standard	<i>energy+</i> Home 2011
Gebäudevolumen in m <sup>3</sup>	781	918	918	918
Gebäudehüllfläche in m <sup>2</sup>	530	592	592	592
A/V-Verhältnis	0,68	0,64	0,64	0,64
Wohnfläche in m <sup>2</sup>	158*	158*	185	185
Fensterfläche in m <sup>2</sup>	43	75	75	75
U-Wert der Außenwände in W/(m <sup>2</sup> K)	1,91	0,28	0,15	0,16
U-Wert der Dachfläche in W/(m <sup>2</sup> K)	0,93	0,20	0,13	0,12
U-Wert der Kellergrundfläche in W/(m <sup>2</sup> K)	4,00	0,35	0,15	0,45
U-Wert der Fenster inkl. Rahmen in W/(m <sup>2</sup> K)	2,90	1,30	0,80	0,80
Energiedurchlassgrad der Verglasung	0,78	0,60	0,50	0,50
Wärmebrückenzuschlag $\Delta_{WB}$ in W/(m <sup>2</sup> K)	0,10	0,05	0,025	0,05
Spezifischer Transmissions- wärmeverlust $H_T$ in W/(m <sup>2</sup> K)	1,550	0,408	0,230	0,298

\*) Brennstofflagerflächen erforderlich

In der nachfolgenden Abbildung sind die Wärmeverluste infolge Transmission und die Lüftungswärmeverluste für das Bestandsgebäude und das energy+Home 2011 sowie die beiden Vergleichsvarianten dargestellt. Die Transmissionswärmeverluste werden in allen Varianten ähnlich stark reduziert. Der Luftwechselperverlust kann in der EnEV-Referenzvariante aufgrund des fehlenden mechanischen Belüftungssystems nur unwesentlich reduziert werden.



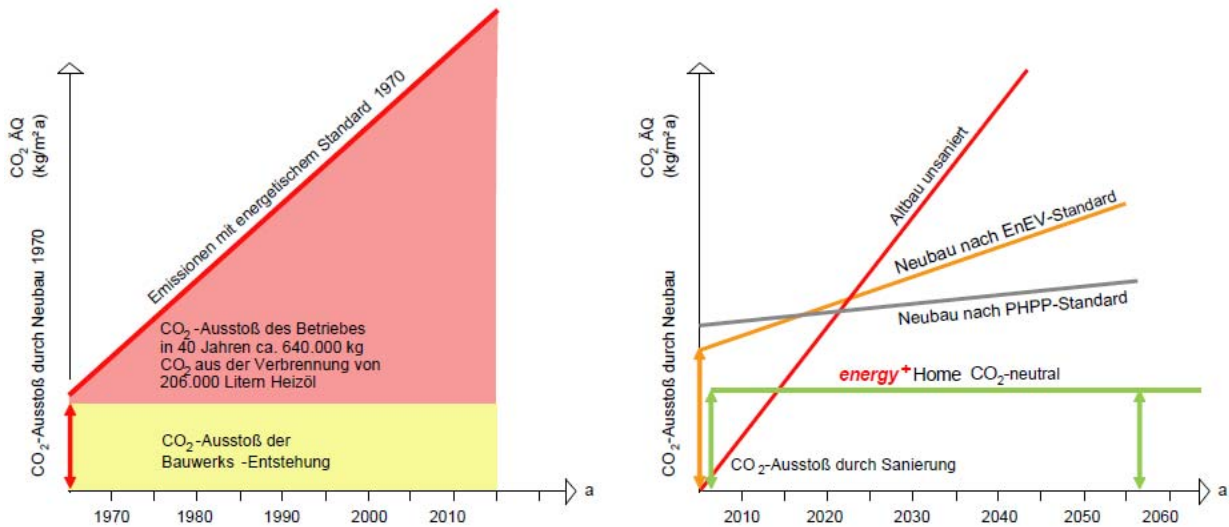


Vergleich der Energieverluste vor und nach der Sanierung mit zwei Vergleichsvarianten

In nachfolgender Tabelle sind die Energiebedarfe des Bestandsgebäudes, des sanierten energy+Home 2011 sowie der beiden Vergleichsvarianten detailliert dargestellt. Der Heizenergiebedarf wird in allen drei sanierten Varianten auf einen Bruchteil des Ausgangswertes reduziert. Der Passivhausstandard weist dabei einen um etwa 28% geringeren Wert als das energy+Home 2011 auf.

Variante	Bestands- gebäude	EnEV Referenzgebäude	Passivhaus- standard	<b>energy<sup>+</sup>Home 2011</b>
Heizenergiebedarf in kWh/a	48.080	13.363	8.165	<b>12.262</b>
Energiebedarf Warmwasser in kWh/a	2.090	2.090	2.090	<b>2.090</b>
Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage in kWh/a	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden	5.041	<b>5.041</b>
Wärmeerzeugungssystem	Öl-Kessel	Öl-Brennwertkessel, Solarthermie	elektrisch	<b>Wärmepumpe</b>
Endenergie Wärme in kWh/a	65.645	14.982	5.110	<b>3.384</b>
Hilfsenergien in kWh/a	2.455	962	1.342	<b>1.342</b>
Haushaltsstrom in kWh/a	4.500	4.100	4.100	<b>4.100</b>
Gesamtenergiebedarf in kWh/a	72.600	20.044	10.552	<b>8.826</b>
CO <sub>2</sub> -Emission in kg/a	24.690	7.776	6.500	<b>5.437</b>
Stromerzeugung in kWh/a	0	0	0	<b>9.200</b>
CO <sub>2</sub> -Einsparung in kg/a	0	0	0	<b>5.667</b>

Anhand der Werte in Tabelle ist zu erkennen, welche enormen Auswirkungen die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage auf den Endenergiebedarf zur Wärmeerzeugung hat. Durch den Wärmetauscher im Lüftungssystem können bereits 45% des Heizwärmebedarfs beim energy<sup>+</sup>Home bzw. sogar 60% beim Passivhausstandard gedeckt werden. Der Nachteil des höheren Heizwärmebedarfs des energy<sup>+</sup>Home gegenüber dem Passivhausstandard wird durch den Einsatz einer effizienteren Anlagentechnik wieder ausgeglichen. Zur Deckung des resultierenden Endenergiebedarfs inklusive Hilfsenergien sind beim Passivhaus etwa 6.450 kWh/a notwendig, die Wärmepumpe im energy<sup>+</sup>Home hat einen Bedarf von nur 4.150 kWh/a. Zum Endenergiebedarf der Wärmeerzeugung werden die Hilfsenergien für Pumpen und sonstige Geräte sowie der Haushaltsstrombedarf hinzugerechnet. Damit ergibt sich der Jahresgesamtenergiebedarf des Gebäudes. Dieser Energiebedarf wird nun, getrennt für Öl und Strom, mit den jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energieproduktion bewertet und zu einem Gesamt-CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Gebäudes zusammengefasst.



In obigen Abbildungen sind die so ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionen für alle Varianten dargestellt. Das energy+ Home weist mit etwa 4.100 kg/a die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Dieser CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird nun mit der Energie bilanziert, die das Gebäude im Jahresverlauf erwirtschaftet. Die im Dach des energy+ Home integrierte Photovoltaik-Anlage erzeugt eine mittlere Leistung von etwa 9.200 kWh/a. Diese Energie wird zum Betrieb der Wärmepumpe und für den Haushaltsstrom genutzt. Teilweise wird sie in das öffentliche Stromnetz eingespeist und ersetzt dort Strom, der andernfalls unter dem Einsatz von fossilen Rohstoffen erzeugt werden würde. Der dadurch eingesparte CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird dem energy+Home mit 5.667 kg/a gutgeschrieben. Damit ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der durch die Stromerzeugung am Gebäude eingespart wird, größer als der Betrag, der bei der Beheizung und Nutzung des energy+Home entsteht.

## 8.2 Verbesserungspotentiale

## 8.3 Wirtschaftlichkeit

Der wirtschaftliche Nutzen aus Investorensicht besteht bei selbst genutzten Wohngebäuden aus dem Mehrertrag, welcher aus der Energiekostensparnis nach der Sanierung gegenüber dem nicht modernisierten Gebäude entsteht. Im Rahmen eines parallel laufenden DBU-Projekts (s. Literaturnachweis) werden die Herstellungskosten von verschiedenen Sanierungsstrategien des Bestandsgebäudes ermittelt.

Zunächst bedarf es einer Untersuchung der Heizkosten vor der Sanierung, um die Energiekostensparnis der Sanierung ermitteln zu können. Dazu wird der Energieverbrauch eines Jahres je m<sup>2</sup> Wohnfläche mit dem durchschnittlichen Brennstoffpreis des betreffenden Jahres multipliziert. Die so ermittelten Brennstoffkosten werden anschließend um die Heiznebenkosten ergänzt, welche sich aus dem Betriebsstrom für den Betrieb, Wartungskosten, Messdienstkosten und Kosten der Kaminreinigung ergeben. Brennstoff- und Heiznebenkosten ergeben zusammen die Heizkosten des jeweiligen Jahres pro m<sup>2</sup> Wohnfläche.

## **Energiekosten vor der Sanierung**

Das energy<sup>+</sup>Home weist einen dokumentierten mittleren Heizölverbrauch vor der Sanierung von 5680 l Heizöl pro Jahr auf. Das entspricht einem Endenergieverbrauch bezogen auf die Wohnfläche von 279 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Heizung und Warmwasser. Der durchschnittliche Heizölpreis wird in dieser Untersuchung mit 9 cent/kWh angenommen, woraus sich Heizkosten in Höhe von 25,11 €/ (m<sup>2</sup>a) ergeben.

Um die Verbrauchswerte auf einer allgemeinen Basis vergleichen zu können, wird dieses Ergebnis den statistischen Daten des Heizspiegels<sup>11</sup> gegenübergestellt. Dieser enthält eine systematische Auswertung gemessener Energieverbrauchswerte auf kommunaler und bundesweiter Ebene und beruht auf den Heizdaten von über einer Millionen zentral beheizter Ein- und Mehrfamilienhäusern. Die Auswertung dieser Daten ergibt einen durchschnittlichen Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 239 kWh/(m<sup>2</sup>a) für zentral beheizte kleine Wohngebäude bis 250 m<sup>2</sup> Wohnfläche, die mit einer Öl- bzw. Gasheizung ausgestattet sind. Die Gebäude werden darüber hinaus in Gebäude mit niedrigem, mittlerem, erhöhtem und zu hohem Heizenergieverbrauch eingeteilt. Für Gebäude mit einer Wohnfläche bis 250 m<sup>2</sup> wird ein Verbrauch von mehr als 229 kWh/(m<sup>2</sup>a) als zu hoch eingeschätzt. Das energy<sup>+</sup>Home liegt damit vor der Sanierung im Bereich der im Heizspiegel als Gebäude mit zu hohem Verbrauch dokumentierten Bestandsgebäude und stellt daher ein gutes Beispiel für eine repräsentative Sanierung mit großer Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere zu sanierende Gebäude und mit einem großen Einsparpotential dar.

Zur Ermittlung wird der Energieverbrauch nach der Sanierung mit den Energiekosten nach der Sanierung multipliziert, um in Gegenüberstellung mit den Energiekosten vor der Sanierung die Energiekostenersparnis zu ermitteln.

## **Energiekosten nach der Sanierung**

Der Heizwärmebedarf wurde anhand DIN 18599 mit 3410 kWh für die Bereitstellung von Heizwärme und mit 1883 kWh für Warmwasser berechnet. Hinzu kommen noch 2500 kWh für den Haushaltsstrom und 1073 kWh für Hilfenenergie und den Betrieb der Lüftungsanlage. In der Summe ergibt sich ein Endenergiebedarf bezogen auf die Wohnfläche von 44,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) und damit Kosten in Höhe von 10,79€/ (m<sup>2</sup>a). Aufgrund der Umstellung auf Strom als alleinige Energiequelle sind die Kosten nicht mehr vom Ölpreis, sondern vom Strompreis abhängig, welcher zum Zeitpunkt der Untersuchung 24,25 cent/kWh beträgt.

Dem gegenüber stehen Erträge aus der Photovoltaik-Anlage von 9980 kWh/a, von denen 2314 kWh direkt selber genutzt werden und 7567 kWh in das Stromnetz eingespeist werden. Aufgrund der Einspeisevergütung, welche über das EEG in Abhängigkeit von der Leistung der PV-Anlage und dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme geregelt ist, ergibt sich ein Ertrag von 8,69 €/ (m<sup>2</sup> Wohnfläche a). Die Energiekosten nach der Sanierung belaufen sich demnach auf gerade einmal 2,10 €/ (m<sup>2</sup>a). Das entspricht einer Energiekostenersparnis von 23,02 €/ (m<sup>2</sup>a) bzw. 1,92 €/ (m<sup>2</sup> Mon.)

Im Folgenden werden unterschiedliche Sanierungsvarianten miteinander verglichen. Dafür wurde der Mehrertragsansatz als Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung unter Verwendung der Kapitalwert- und Annuitätenmethode zur Berücksichtigung der zeitlichen Struktur der Zahlungen, angewen-

det. Bei diesen dynamischen Verfahren werden die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen mit Hilfe der Zinseszinsrechnung auf einen gemeinsamen Zeitpunkt diskontiert.

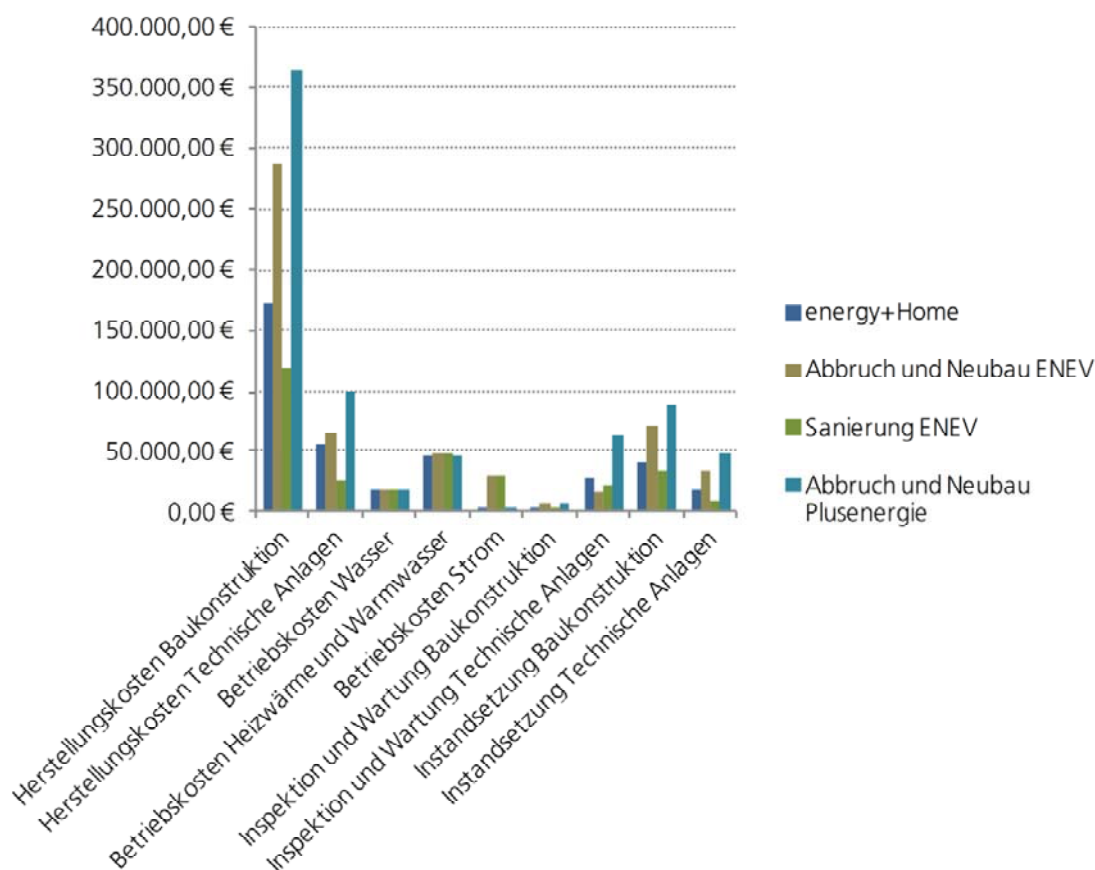
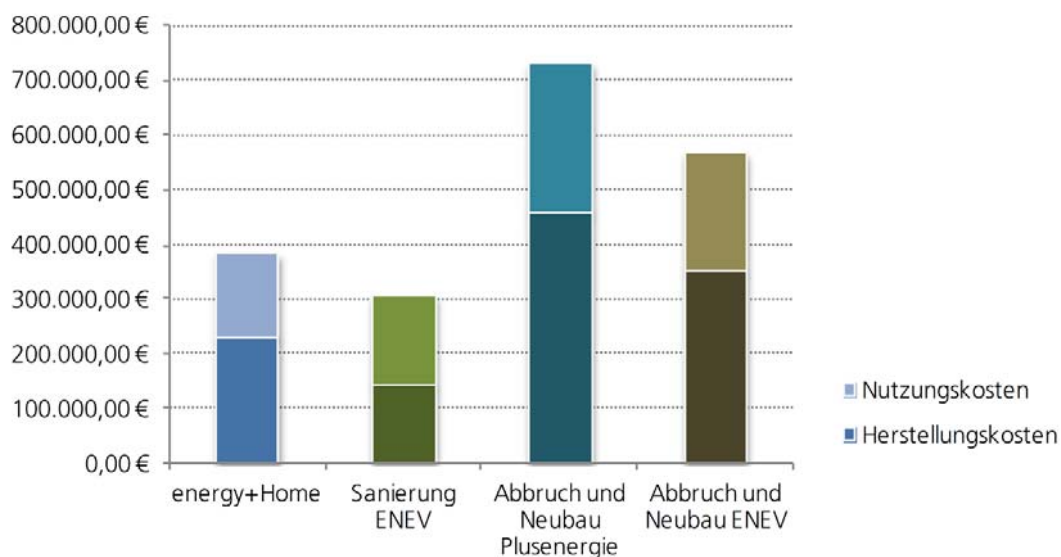
Hierbei zeigt sich, dass die Sanierung zum energy<sup>+</sup>Home zwar ökonomisch im Sinne der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist, jedoch nicht die günstigste Alternative hinsichtlich der Herstellungskosten darstellt. Um zu untersuchen, ob sich die Mehrkosten für die Sanierung zum energy<sup>+</sup>Home im Laufe der Nutzungsdauer durch geringere Nutzungskosten wieder amortisieren, werden im Folgenden die Lebenszykluskosten für die untersuchten Sanierungsvarianten dargestellt. Bei den EnEV-Varianten wurde bei der Ermittlung der Betriebskosten für Heizwärme und Warmwasser von einer Beheizung mit Heizöl mit einem Heizwert von 11,8 kWh/kg bzw. 9,8 kWh/l ausgegangen. Bei einem Wirkungsgrad des Heizkessels von 90% ergibt sich ein Brennwert von 8,8 kWh/l. Der durchschnittliche Ölpreis wurde mit 80 cent/l angenommen und mit einer Preissteigerung von 4% behaftet. Bei der Ermittlung der Inspektions- und Wartungskosten bzw. der Instandsetzungskosten wurden Prozentsätze der Herstellungskosten entsprechend dem „Bewertungssystem nachhaltiges Bauen“ des BMUB angenommen.

		energy+Home	Sanierung EnEV	Abbruch und Neubau Plusenergie	Abbruch und Neubau EnEV
<b>Herstellungskosten</b>					
KG 300	Herstellungskosten Baukonstruktion	173.859 €	118.215 €	363.349 €	287.293 €
KG 400	Herstellungskosten Technische Anlagen	55.015 €	25.362 €	99.577 €	64.110 €
	Summe	<b>228.874 €</b>	<b>143.577 €</b>	<b>462.926 €</b>	<b>351.403 €</b>
<b>Nutzungskosten</b>					
KG 311/321	Betriebskosten Wasser	18.534 €	18.534 €	18.534 €	18.534 €
KG 316	Betriebskosten Heizwärme und Warmwasser	45.502 €	47.800 €	45.502 €	47.800 €
KG 316	Betriebskosten Strom	743 €	29.753 €	743 €	29.753 €
KG 352	Inspektion und Wartung Baukonstruktion	3.345 €	2.752 €	7.390 €	5.910 €
KG 353	Inspektion und Wartung Technische Anlagen	26.830 €	22.183 €	63.060 €	15.545 €
KG 410	Instandsetzung Baukonstruktion	40.145 €	33.029 €	88.322 €	70.916 €
KG 420	Instandsetzung Technische Anlagen	18.356 €	7.473 €	48.067 €	32.121 €
	Summe	<b>153.455 €</b>	<b>161.524 €</b>	<b>271.617 €</b>	<b>220.578 €</b>
<b>TOTAL LCC</b>	<b>Herstellung+Nutzung</b>	<b>382.329 €</b>	<b>305.101 €</b>	<b>734.543 €</b>	<b>571.981 €</b>

Werte inkl. MwSt.

Die Sanierungsvarianten sind auch im Bezug auf die Lebenszykluskosten erwartungsgemäß günstiger als die Varianten Abbruch und Neubau. Die günstigste Variante stellt die Sanierung nach EnEV dar, gefolgt von der Sanierung zum energy<sup>+</sup>Home. Die Annahme, dass sich die höheren Investitionskosten für eine Sanierung zum Plusenergiehaus durch niedrigere Nutzungskosten wieder amortisieren, konnte nicht bestätigt werden. Allerdings ist die Kostendifferenz zwischen der Sanierung zum energy<sup>+</sup>Home und der Variante Sanierung nach EnEV nicht mehr so groß wie bei alleiniger Betrachtung der Herstellungskosten. Diese beträgt bei den Herstellungskosten 32%, bei den Lebenszykluskosten hingegen lediglich 25%. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Erträge aus der PV-Anlage und der geringere Energiebedarf des energy+Home nicht ausreichen, um die Mehrkosten der Herstellungskosten auszugleichen. Der Grund hierfür liegt vor allem bei den höheren Investitionskosten der technischen Anlagen, welche

ebenso höhere Instandsetzungskosten mit sich bringen. Die energy+Home Sanierung ist somit zwar wirtschaftlich, jedoch im Rahmen der betrachteten Varianten nicht die günstigste Variante in Bezug auf die zu erwartenden Lebenszykluskosten.



## 9 Literatur

energy+Home, Karsten Tichelmann, Bastian Ziegler, „Die erste Sanierung eines Wohnhauses zu einem Plusenergiehaus mit Elektromobilität“, Technische Universität Darmstadt, ISBN 978-3-9815131-0-3

Abschlussbericht des Projekts „Ökologische und ökonomische Untersuchung zur Umwandlung eines repräsentativen Wohngebäudes zu einem Plusenergiehaus mit Elektromobilität - Anwendungsempfehlungen für vergleichbare Bauten“, Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Forschungsprojekt 31232, Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Tragwerksentwicklung und Bauphysik, Bearbeiter Ingmar Kurtz, Förderzeitraum 03.07.2013 - 02.01.2015

Die Darstellungen des vorliegenden Berichts sind teilweise der Dissertation von Ingmar Kurtz entnommen: „Plusenergie im Bestand. Ökonomologische Transformationsanalyse einer energetischen Einfamilienhaussanierung und Überprüfung der Übertragbarkeit des konzeptionellen Ansatzes auf einen exemplarischen Geschosswohnungsbau“, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) im Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt, Ingmar Kurtz, 2016

Anhang A

Tabelle 10:

Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasser, Elektromobilität und projektspezifisch

Monat	Heizung + TWW + Lüftung +Kühlung		Elektromobilität	Projektspezifisch
	Heizungswärme+TWW	Lüftung+ Heizungspumpe		
	[kWh]	[kWh]		
Jan 14	1025,60			
Feb 14	622,89	38,03		44,51
Mrz 14	526,85	52,18		57,06
Apr 14	208,46	53,37		55,48
Mai 14	248,79	58,65		57,23
Jun 14	113,99	60,06		55,42
Jul 14	82,40	55,14		49,87
Aug 14	68,33	60,94		45,85
Sep 14	196,63	70,32		55,38
Okt 14	300,71	75,63		57,25
Nov 14	708,27	71,40		55,47
Dez 14	873,57	71,16		57,28
Summe	4976,49	666,90		590,81



Monat	Heizung + TWW + Lüftung +Kühlung		Elektromobilität	Projektspezifisch
	Heizungswärme+TWW	Lüftung+ Heizungspumpe		
	[kWh]	[kWh]		
Jan 15	1019,68	72,85		57,22
Feb 15	919,44	65,67		51,74
Mrz 15	734,71	71,40		57,60
Apr 15	336,15	70,11		56,28
Mai 15	174,6	71,71		54,66
Jun 15	121,58	75,71		56,20
Jul 15	89,17	79,90		57,71
Aug 15	131,73	101,68		75,13
Sep 15	126,88	44,14		37,45
Okt 15	390,62	70,41		55,44
Nov 15	576,51	76,24		54,47
Dez 15	524,88	75,59		56,25
Summe	5145,95	875,41		612,94

## Anhang B

Tabelle 11:  
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufthtemperaturen im EG.

	EG Wohnzimmer	EG Küche	EG WC	EG Hauswirtschaftsr.
	°C	°C	°C	°C
Jan 14	24,4	24,2	24,3	24,8
Feb 14	23,5	23,9	24,4	24,4
Mrz 14	23,9	23,6	22,6	24,4
Apr 14	23,6	23,5	24,3	24,7
Mai 14	24,7	24,4	24,2	25,3
Jun 14	26,4	26,1	25,6	27,2
Jul 14	27,3	27,1	26,6	27,9
Aug 14	24,7	24,5	25,3	26,1
Sep 14	24,7	24,6	24,6	25,4
Okt 14	23,7	23,5	23,6	24,4
Nov 14	24,3	23,9	22,9	24,0
Dez 14	23,1	22,8	22,1	23,3
Mittelwert	24,5	24,3	24,2	25,2

Tabelle 12:  
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufthtemperaturen im UG.

Monat	UG Eltern	UG Bad	UG Kind 1	UG Kind 2	UG Arbeitszimmer
		°C	°C		°C
Jan 14	21,2	24,2	22,2	20,9	21,6
Feb 14	21,5	24,1	22,6	21,3	21,3
Mrz 14	21,1	24,3	23,3	20,6	21,9
Apr 14	21,5	23,6	23,3	20,7	23,0
Mai 14	22,1	23,2	24,0	21,7	23,6
Jun 14	24,2	24,2	24,5	23,5	25,1
Jul 14	24,9	25,0	25,3	24,0	26,0
Aug 14	23,5	24,4	23,5	22,7	24,3
Sep 14	23,0	24,4	23,6	22,9	23,7
Okt 14	21,8	23,5	22,5	21,7	22,0
Nov 14	22,3	24,8	23,3	21,0	20,9
Dez 14	21,9	24,0	22,5	21,8	19,6
Mittelwert	22,4	24,1	23,4	21,9	22,7

Tabelle 13:  
Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumluftheuchten im EG.


Tabelle 14:  
Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumluftfeuchten im UG.

Monat	UG Eltern	UG Kind 1	UG Arbeitszimmer
	%	%	%
Jan 15	27,2	26,0	32,7
Feb 15	23,8	23,0	30,5
Mrz 15	27,5	26,1	32,2
Apr 15	27,2	28,2	31,0
Mai 15	34,7	35,2	37,6
Jun 15	41,2	41,2	42,8
Jul 15	43,3	42,8	45,9
Aug 15	43,7	43,5	45,4
Sep 15	42,2	43,2	46,6
Okt 15	37,1	38,6	42,4
Nov 15	34,1	35,6	39,3
Dez 15	33,7	33,1	36,5