

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 11

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus
der Firma SchwörerHaus in der
Musterhausausstellung in Köln-Frechen

Forschungsprogramm

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

Messperiode

März 2012 bis Februar 2014

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-11.1

im Auftrag

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

bearbeitet von

Hans Erhorn
Antje Bergmann
Michael Beckert
Johann Reiß
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

IBP-Bericht WB 176/2015

**Effizienzhaus Plus der Firma SchwörerHaus
Wissenschaftliche Begleitung bei der Konzeption
sowie messtechnische und energetische
Validierung des Musterhauses in Köln-
Frechen**

Durchgeführt im Auftrag von
SchwörerHaus im Rahmen des BMUB-
Förderprogramms „Effizienzhaus Plus“

Hans Erhorn
Antje Bergmann
Michael Beckert
Johann Reiß

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet.

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht WB 176/2015

Effizienzhaus Plus der Firma SchwörerHaus Wissenschaftliche Begleitung bei der Konzeption sowie messtechnische und energetische Validie- rung des Musterhauses in Köln-Frechen

Durchgeführt im Auftrag von SchwörerHaus im
Rahmen des BMUB-Förderprogramms „Effizienzhaus
Plus“

Der Bericht umfasst

43 Seiten Text

13 Tabellen

46 Abbildungen

Hans Erhorn

Antje Bergmann

Michael Beckert

Johann Reiß

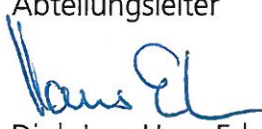
Stuttgart, 22. Mai 2015

Institutsleiter



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Klaus Peter Sedlbauer

Abteilungsleiter



Dipl.-Ing. Hans Erhorn

Bearbeiter



Dipl.-Ing. Antje Bergmann

Inhalt

1	Kurzfassung	3
2	Kontext und Zielsetzung	4
3	Gebäudesteckbrief	4
3.1	Allgemeine Daten	4
3.2	Architektur	5
3.3	Wärmeschutz	6
3.4	Anlagentechnik	7
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	8
3.6	Bewertung der Effizienz	9
4	Messkonzept	11
5	Meteorologische Randbedingungen	12
5.1	Solarstrahlung	13
5.2	Außenlufttemperaturen	14
5.3	Klimabereinigung	15
6	Messergebnisse	16
6.1	Stromertrag	16
6.2	Stromverbrauch	19
6.2.1	Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser	20
6.2.2	Stromverbrauch Beleuchtung	22
6.2.3	Stromverbrauch Hilfsenergie	23
6.2.4	Stromverbrauch Haushaltsgeräte	24
6.2.5	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag	26
6.3	Eigenstromnutzung und Autarkiegrad	29
6.4	Anlagenperformance	31
6.5	Innenraumtemperaturen Sommer	32
6.6	Innenraumtemperaturen Winter	38
7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	40
7.1	Baukosten und laufende Kosten	40
8	Bewertung	41
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	41
8.2	Verbesserungspotentiale	42
9	Literatur	42

1 Kurzfassung

Die Firma SchwörerHaus hat in der FertighausWelt in Köln-Frechen ein Musterhaus im Rahmen der neuen Förderinitiative „Effizienzhaus Plus“ errichtet. Mit diesem hocheffizienten Gebäude sollen die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Konzeptkomponenten erprobt und Erfahrungen für die Breitenanwendung gesammelt werden. Im Rahmen eines Monitoringprogramms wird das Gebäude vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik zwei Jahre lang messtechnisch erfasst und energetisch bewertet. Dieser Bericht beschreibt die Endergebnisse nach Ablauf einer 24monatigen Messperiode von März 2012 bis Februar 2014.

Die Messungen zeigen, dass die Erträge aus der Photovoltaikanlage im 1. Messjahr geringfügig und im 2. Messjahr deutlich höher ausfielen als die Gebäudetechnik und die Nutzer im Laufe der Messperiode für den Gebäudebetrieb benötigten. Der Standard des Effizienzhauses Plus im Hinblick auf die negative End- und Primärenergiebilanz wurde in beiden Messperioden erreicht. Die überschüssige Energie wurde in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Die Energieverbräuche im Gebäude lagen im Messzeitraum rund 40 % höher als vorherberechnet. Dies lag im Wesentlichen an einem erhöhten Stromverbrauch der Lüftungsanlage und Wärmepumpe, der auf Ineffizienzen der Anlagentechnik und ein erhöhtes Temperaturniveau der Raumlufttemperatur während der Heizperiode zurückzuführen ist. Aufgrund der Nutzung des Gebäudes als Musterhaus zeigen sich in den Energieverbräuchen Verschiebungen zu den Prognosen.

Die sommerliche Temperaturentwicklung in den Räumen zeigt eine starke Aufheizung des Gebäudes außerhalb der Heizperiode. Es wird dringend empfohlen, den vorhandenen Sonnenschutz, der aufgrund des Besichtigungsbetriebs nicht genutzt wird, einzusetzen.

Die Ergebnisse des ersten Betriebsjahre zeigen, dass bei hocheffizienten Häusern eine Monitoring- und Einregulierungsphase zwingend eingeplant werden muss, um Ineffizienzen zu lokalisieren und optimieren zu können.

2 Kontext und Zielsetzung

SchwörerHaus möchte proaktiv auf die Herausforderungen des zukunftsorientierten energiesparenden Bauens reagieren und im Vorgriff auf die künftigen Anforderungen (bedingt durch die Europäische Gebäuderichtlinie (EPBD)) bereits ab 2011 Niedrigstenergiegebäude bis hin zu Plus-Energiegebäuden am Markt anbieten. Die Konzeption und Planung von hocheffizienten Gebäuden erfordert ein umfangreiches Wissen über das Zusammenwirken von Architektur, Bau-, Heiz- und Lüftungstechnik und erneuerbaren Energiesystemen. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) hat bereits über 200 von der Bundesregierung geförderte Forschungsvorhaben auf diesem Gebiet erfolgreich begleitet.

SchwörerHaus hat in der FertighausWelt in Köln-Frechen ein Gebäude erstellt, das mehr Energie produzieren soll als es selbst für seinen Betrieb benötigt. Die hauseigenen Anlagen zur Gewinnung erneuerbaren Stroms sollen den Stromverbrauch im häuslichen Bereich decken, überschüssiger Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist. Mit diesem Modellhaus sollen die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Komponenten erprobt und Erfahrungen für die Breitenanwendung gesammelt werden. Für Besucher der FertighausWelt in Köln-Frechen bietet das Haus eine Gelegenheit, sich aus erster Hand zu informieren und dafür zu begeistern, was heute schon möglich ist. Im Rahmen eines Monitoringprogramms wird das Gebäude im Musterhausbetrieb zwei Jahre lang messtechnisch erfasst und energetisch bewertet.

3 Gebäudesteckbrief

Im Rahmen des Begleitforschungsvorhabens zum ehemaligen BMVBS- jetzt BMUB-Fördervorhaben „Effizienzhaus Plus“ wurde der folgende Gebäudesteckbrief [1] entwickelt und im Laufe der Monitoringphase aktualisiert.

3.1 Allgemeine Daten

Die allgemeinen Kenndaten des Gebäudes sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1:
allgemeine Daten.

Baujahr	2011
Bruttogrundfläche	203,69 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	138,55 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	757,9 m ³
Hüllflächenfaktor A / V	0,66 m ⁻¹
Gebäudenutzfläche A _N (nach EnEV)	243 m ²
Kostengruppe KG 300	335.000 €
Kostengruppe KG 400	114.000 €

3.2 Architektur

Das Schwörer-Musterhaus in der FertighausWelt Köln-Frechen interpretiert bekannte Architekturmerkmale auf neue Art und Weise. So schließt das vertraute Satteldach, wie Bild 1 zeigt, ohne Dachvorsprung kantig mit der Außenwand ab. Der Baukörper ist betont sachlich gehalten. Gebrochen wird die architektonische Strenge durch die asymmetrische Anordnung der Fenster in ungewöhnlicher Optik und eine neuartige Holzfassade. Lamellen in drei unterschiedlichen Breiten zeigen sich horizontal gegeneinander versetzt.



Bild 1:
Ansicht von Westen Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer.

Aktuelle Wohntrends präsentiert das Hausinnere, beeinflusst vom modernen skandinavischen Design, das sich durch seine Funktionalität in Kombination mit natürlichen Materialien und Farbeinsatz auszeichnet. Die Anordnung der Räume im Erdgeschoss und Obergeschoss zeigen Bild 2 und Bild 3.

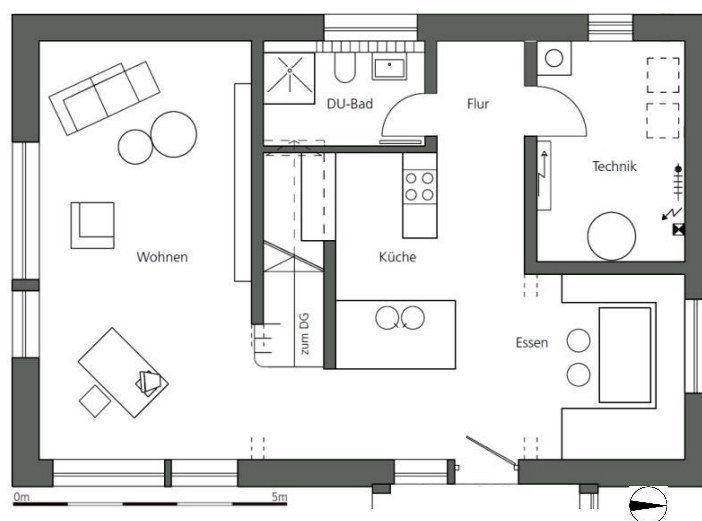


Bild 2:
Erdgeschoss-Grundriss Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer.

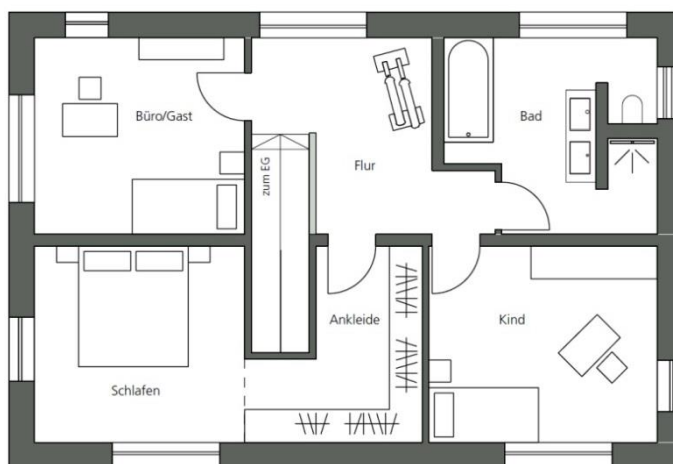


Bild 3:
Obergeschoss-Grundriss Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer.

3.3 Wärmeschutz

Die Transmissionswärmeverluste werden durch die U-Werte der Gebäudehülle, die in Tabelle 2 aufgeführt sind, sowie eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion minimiert.

Tabelle 2:
Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihre U-Werte.

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m²K]
Außenwand (von innen nach außen)	Gipsbauplatte	9,5	0,11
	Holzwerkstoffplatte	16	
	Dampfbremse	-	
	Holzkonstruktion mit Dämmung WLG 035	160	
	Dämmung WLG 035 zwischen Fachwerk	220	
	Diffusionsoffene Bahn	-	
	Zementgebundene Bauplatte	25	
	Dämmung WLG 035	20	
	Putz	10	
Fenster	Fenster mit Dreifachverglasung / Passiv-Solution (g-Wert: 0,47 / 0,5)	-	0,66
Dach (von oben nach unten)	Dachdeckung	-	0,09
	Lattung	40	
	Dämmung Mineralwolle WLG 035	240	
	Dreischichtplatte	19	
	Zwischensparrendämmung WLG 035	240	
	Dampfbremse	-	
	Lattung	64	
	Gipskarton-Beplankung	12,5	
Bodenplatte (von oben nach unten)	Belag	-	0,12
	Schallentkopplungsmatte	-	
	Beton	70	
	Dämmung zw. Holzverbundkonstruktion	160	
	Lattung	48	
	Gipsbauplatte	12,5	

Die Gesamtdicke der Außenwand beträgt 47 cm. Sie wird aus einer 16 cm dicken Holztafelkonstruktion erstellt, auf deren Außenseite eine zweite Dämmschicht, die Schwörer Passivhaushülle, aufgebracht wird. Die Fenster werden mit einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert von 0,78 W/m²K bzw. als Passiv-Solution-Fenster mit einem U-Wert von 0,66 W/m²K ausgeführt. Das um 30 ° geneigte Satteldach erhält insgesamt eine 48 cm dicke Dämmschicht.

3.4 Anlagentechnik

Die Frischluftheizung des Hauses besteht aus einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung, einer nachgeschalteten Wärmepumpe und keramischen Direktheizelementen, wie in Bild 4 zu sehen ist. Die Be- und Entlüftungsanlage versorgt den Wohnbereich mit gefilterter, vorgewärmter Außenluft. Sie saugt aus den Feuchträumen die verbrauchte, feuchte und geruchsbelastete Luft ab. Der Wärmetauscher im Lüftergerät überträgt während der Heizperiode die Wärme von der Abluft an die kalte zugeführte Außenluft und wärmt diese auf. Die Außenluft kann zusätzlich durch einen Wärmetauscher auf indirektem Wege vorgewärmt werden. Gemäß EnEV-Nachweis wird ein Wärmerückgewinnungsgrad von 81 % angegeben.

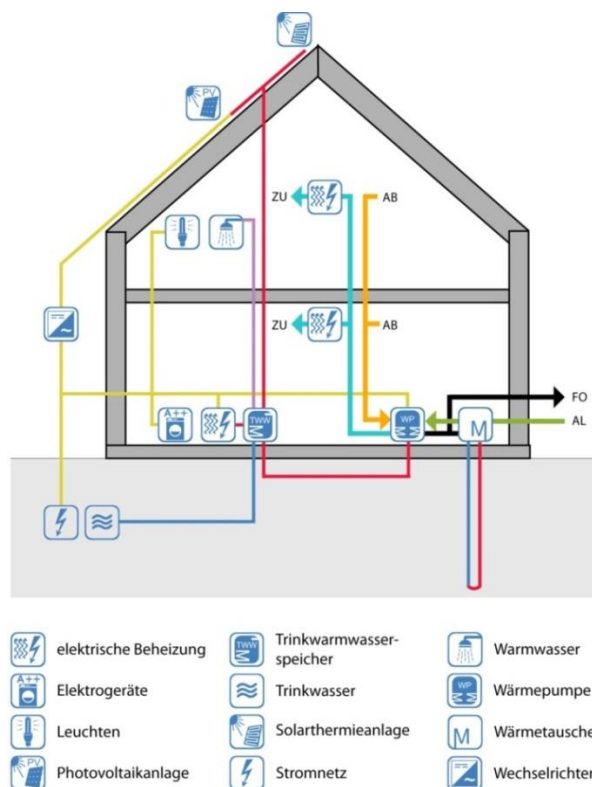


Bild 4:
Haustechnikkonzept Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer.

Die im Lüftergerät eingebaute Wärmepumpe ist die zweite Stufe der Wärmerückgewinnung, denn auch sie nimmt die Restwärme aus der Abluft und setzt

sie in Heizleistung um. Die Heizleistung aus der Wärmerückgewinnung und der Wärmepumpe stellen die Grundversorgung des Hauses mit Heizwärme sicher. Passend zu dieser Basis wird als Führungsgröße für die Heizleistung die Wärmeentwicklung im Führungsraum (hier Wohnzimmer) genommen. Eine Fernbedienung ermöglicht die Regelung der Betriebsart und die Wahl der Lüfterstufe bequem aus dem Pilotraum. Auch kann über das Wochenzeitprogramm eine Temperaturabsenkung als Nachtabenkung gewählt werden, so dass während der Schlafenszeit die Grundwärmeversorgung abgesenkt werden kann. Unterschiedliche Fremd- und Eigenenergien können zu Abweichungen führen. Daher kann der Bewohner durch eine weitere Zusatzheizung Einfluss nehmen. Die Grundversorgung wird nicht zwangsläufig zur Volldeckung erweitert, sondern über eine raumweise regelbare Zusatzheizung, bei der die persönlich gewünschte Temperatur in einem eingegrenzten Rahmen individuell wählbar ist, garantiert.

Die Warmwasserbereitung erfolgt über eine Thermosolaranlage. Die Sonneneinstrahlung wird im Kollektor in Wärme umgesetzt und in einem Pufferspeicher gelagert. Auf diese Weise kann ein kurzer Wetterumschwung ausgeglichen werden. Bei langen Perioden ohne Einstrahlung oder bei außergewöhnlich hohem Warmwasserverbrauch heizt ein elektrisches Ladesystem den oberen Bereich des Wasserspeichers auf. So ist sichergestellt, dass immer Warmwasser zur Verfügung steht, dass aber auch die Möglichkeit der sonnenseitigen Nachladung besteht, wenn das Wetter dies wieder ermöglicht. Des Weiteren kann über die Lüftungsanlage auf Warmwasserbereitung umgeschaltet werden. Dies geschieht automatisch, sobald für die Beheizung des Gebäudes keine Anforderung besteht.

Die Deckung des Energiebedarfs erfolgt über eine Indach-PV-Anlage. Aufgrund der Ausrichtung des Gebäudes befindet sich eine Hälfte der Anlage auf dem Ostdach (22 Module TYP SRP 10/20) und erwirtschaftet einen Ertrag von 4.034 kWh/a. Die zweite Hälfte auf dem Westdach (18 Module Typ SRP 10/20) erwirtschaftet gemäß Simulation 3.356 kWh/a. Integriert in die PV-Anlage ist die Solarthermie-Anlage mit 4 Kollektoren (8,44 m²) auf dem Westdach. Die installierte Leistung liegt bei 5,9 kW. Der solare Warmwasser-Deckungsanteil beträgt 58,1 %.

3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

Gemäß der Vorherberechnung mit dem erweiterten EnEV-Nachweis (EnEV 2009) [2] nach dem Rechenverfahren nach DIN V 18599 [3] weist das Gebäude, wie in Tabelle 3 zu sehen ist, einen jährlichen Endenergiebedarf von 5.127 kWh/a auf. Davon entfallen für den Betrieb der Wärmepumpe einschließlich Lüftungsanlage zur Beheizung, Warmwasserbereitung und Lüftung 2.627 kWh/a. Daneben besteht ein Endenergiebedarf für die Haushaltsgeräte und -prozesse sowie für Beleuchtung von 2.500 kWh/a, mit den Anteilen

- Haushaltsgeräte und -prozesse: 1.625 kWh/a,
- Sonstiges: 500 kWh/a,
- Beleuchtung: 375 kWh/a.

Tabelle 3:
Vorherberechnung des Energiebedarfs des Effizienzhauses Plus Plan 550 Schwörer.

SchwörerHaus Plan 550	Heizung	Warm- wasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt + Kochen	sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	3.687	2.328	-	-	-	-	-
Wärme-/ Kälteabgabe der Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	4.240	4.040	-	-	-	-	-
Endenergie $Q_{x,f}$ [kWh/a]	1.659		-	-	375	1.625	500
Hilfsenergie $Q_{x,f,aux}$ [kWh/a]	968		-	-	-	-	-
Strombedarf [kWh/a]	2.627		-	-	375	1.625	500
Gesamt 5.127							

Für das Gebäude ist keine Kühlung vorgesehen. Die Photovoltaikanlage soll gemäß Vorherberechnung jährlich 7.390 kWh Strom erzeugen. Die Überschüsse zwischen Energiebedarf (5.127 kWh) und erzeugtem Strom (7.390 kWh) in Höhe von 2.263 kWh/a werden in das öffentliche Netz eingespeist.

Derzeit wird das Gebäude als Musterhaus in der FertighausWelt Köln-Frechen genutzt. Von Mittwoch bis Sonntag ist das Gebäude von 11:00 Uhr bis 18:00 Uhr zur Besichtigung geöffnet, am Montag und Dienstag befinden sich keine Besucher im Haus.

3.6 Bewertung der Effizienz

Um eine Aussage über die Effizienz des Gebäudes und der Anlagentechnik vornehmen zu können, können Aufwandszahlen Anwendung finden. Die Aufwandszahl beschreibt das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen, bzw. zwischen Aufwandsenergie und Nutzenergie. Hierzu können unterschiedliche Bezugsgrößen zur Anwendung kommen:

- Nutzenergie (Wärme-, Kälte- und Trinkwarmwasserbedarf in den Räumen)
- Erzeugerabgabe (Energieabgabe der Wärme- und Kälteerzeuger an das Verteilnetz)
- Endenergie Erzeuger (Energiebedarf der Wärme- und Kälteerzeuger)
- Endenergie Haustechnik (Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen)
- Primärenergie Haustechnik (nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt der Endenergie für die Haustechnik)

Die in der Vorherberechnung ermittelten Energien sind in Tabelle 4 zusammengestellt, dabei ist die spezifische Energie auf die Gebäudenutzfläche A_N von 248 m² bezogen.

Tabelle 4:
Vorherberechnung der Energie des Effizienzhauses Plus Plan 550 Schwörer.

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m²a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	6.015	24,8
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	8.280	34,1
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	1.659	6,8
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	2.627	10,8
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	6.830	28,1

In den Räumen tritt ein Nutzwärmebedarf von 6.015 kWh/a für Heizung und Trinkwarmwasser auf. Die Verteilung verursacht Verluste in Höhe von 2.265 kWh/a. Um diese Wärme bereitzustellen, benötigt der Erzeuger (Wärmepumpe) 1.659 kWh/a Strom. Die Hilfsenergie für den Betrieb der Anlagentechnik beträgt ergänzend 968 kWh/a. Der Primärenergieaufwand für die gesamte Haustechnik beträgt somit 6.830 kWh/a. Daraus lassen sich die in Tabelle 5 aufgeführten Aufwands- / Arbeitszahlen ableiten.

Tabelle 5:
Aufwands- / Arbeitszahlen der Vorherberechnung des Effizienzhauses Plus Plan 550 Schwörer.

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,38
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,20
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,44
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	2,29
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	4,99
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	1,14

4 Messkonzept

Das Messkonzept zur messtechnischen Validierung des Gebäudes wurde in Zusammenarbeit mit SchwörerHaus vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Anlehnung an die Vorgaben, die im BMUB-Förderprogramm festgelegt sind, entwickelt und im Verlauf aktualisiert. Es beinhaltet die Erfassung der Strom- und Wärmeverbräuche sowie der Wetterdaten und des Innenraumklimas. Bei diesem Vorhaben wurden für die Wetterdaten lediglich die Außenlufttemperatur und für das Innenraumklima die Raumlufttemperaturen im Erd- und Obergeschoss gemessen. Die Stromverbräuche für die Elektroversorgung des Hauses für Heizung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Haushaltsstrom sowie die Gewinne aus erneuerbaren Energien werden gemäß Bild 5 durch die Messkonfiguration Elektroversorgung erfasst.

ELEKTROVERSORGUNG

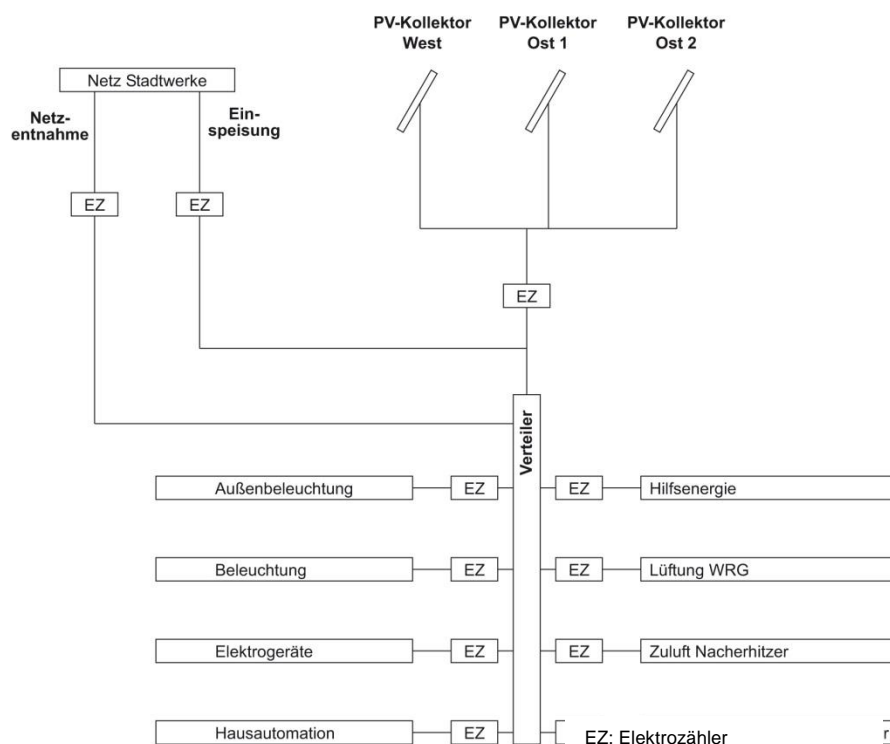


Bild 5:
Messkonfiguration Elektroversorgung Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer.

Die Messkonfiguration der Wärmeversorgung erfasst gemäß Bild 6 die Wärmemengen, die die Wärmepumpe an den Brauchwasserspeicher für die Erwärmung des Trinkwarmwassers abgibt. Die zusätzlich zur Erwärmung beitragenden Wärmemengen aus dem Solarkollektor und dem elektrischen Ladesystem sowie die dem Speicher entnommene Wärmemenge wird ebenfalls aufgezeichnet. Ferner werden die Volumenströme und Temperaturen der Zu-, Ab-, Fort- und Außenluft der Lüftungsanlage gemessen. Mit der installierten Messtechnik lassen sich die Effizienzen der eingesetzten Anlagensysteme im praktischen Betrieb ermitteln.

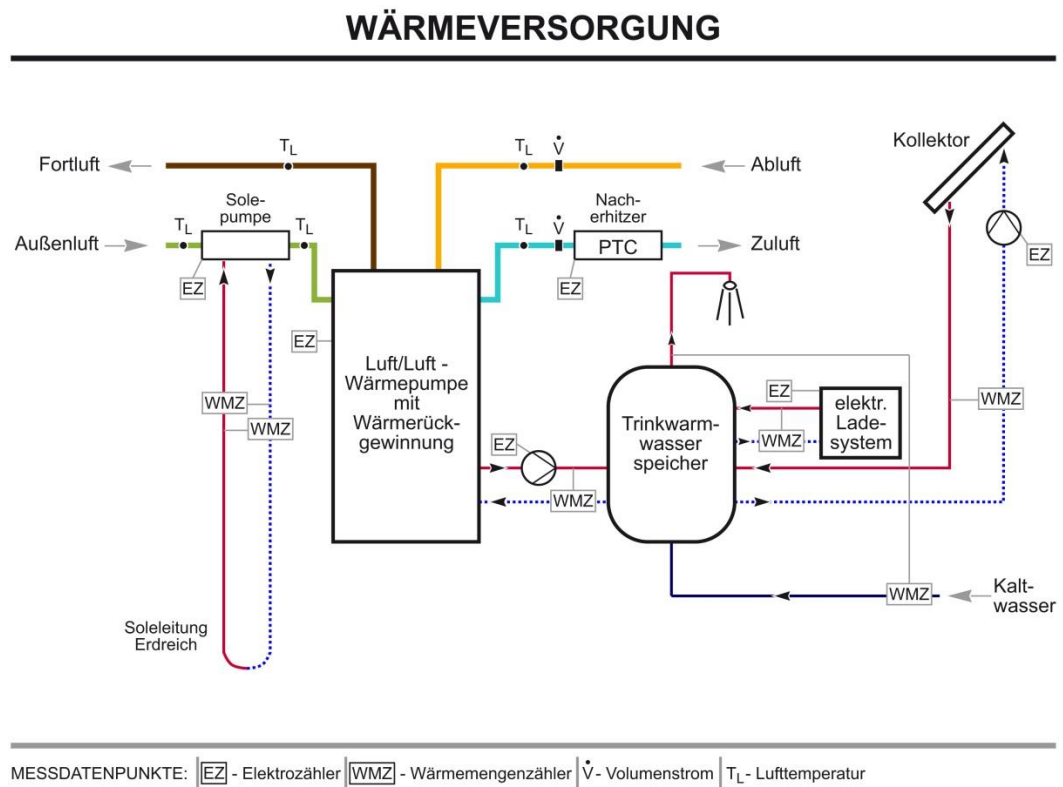


Bild 6:
Messkonfiguration Wärmeversorgung Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer.

5 Meteorologische Randbedingungen

Der Energiebedarf eines Gebäudes hängt wesentlich von der Außenlufttemperatur und der Solarstrahlung ab. Da bei der Berechnung des Energiebedarfs nach der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) ein mittleres Klima in Deutschland herangezogen wird (Referenzklima Deutschland), wird das während der Messperiode vorhandene Klima, hier Wetterstation am Gebäude und Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), mit den Stationen in Köln-Bonn (Außentemperatur) und Bochum (mittlere Strahlungsintensität) dem Referenzklima gegenübergestellt. Im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2014 wurde am Standort des Musterhauses in Köln-Frechen selbst lediglich die Außenlufttemperatur aufgezeichnet.

5.1 Solarstrahlung

Der Ertrag der Photovoltaikanlage ist maßgeblich von der Strahlungsintensität der Solarstrahlung abhängig. Die im Monitoringzeitraum aufgezeichneten monatlichen Strahlungsintensitäten der Wetterstation des DWD in Bochum und die Werte des Referenzklimas nach EnEV 2009 sind für die beiden Messjahre in Bild 7 und Bild 8 gezeigt. Es zeigen sich im Jahr 2012 auffällige Abweichungen zwischen gemessener Strahlung und Referenzklima für die Monate April bis Juli: Das Referenzklima weist vor allem im April und in den Monaten Juni und Juli bis auf den Monat Mai eine höhere monatliche Strahlungsintensität auf.

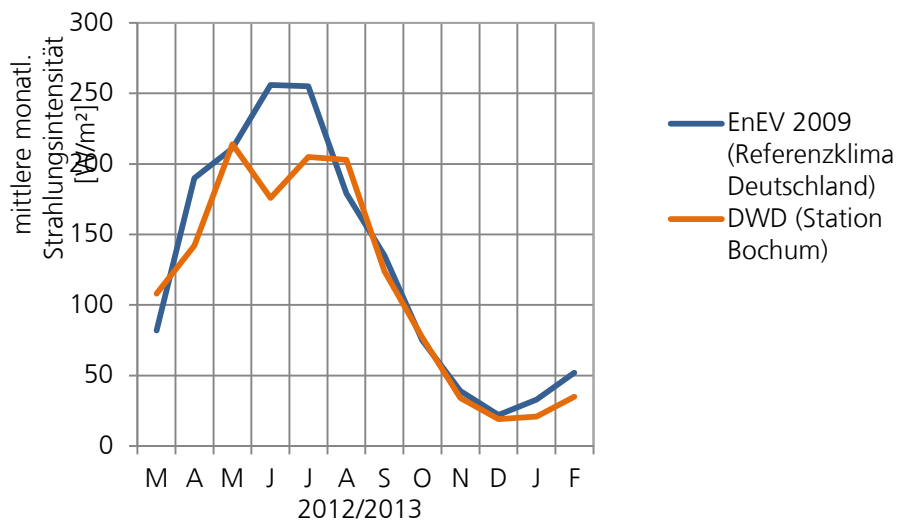


Bild 7: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

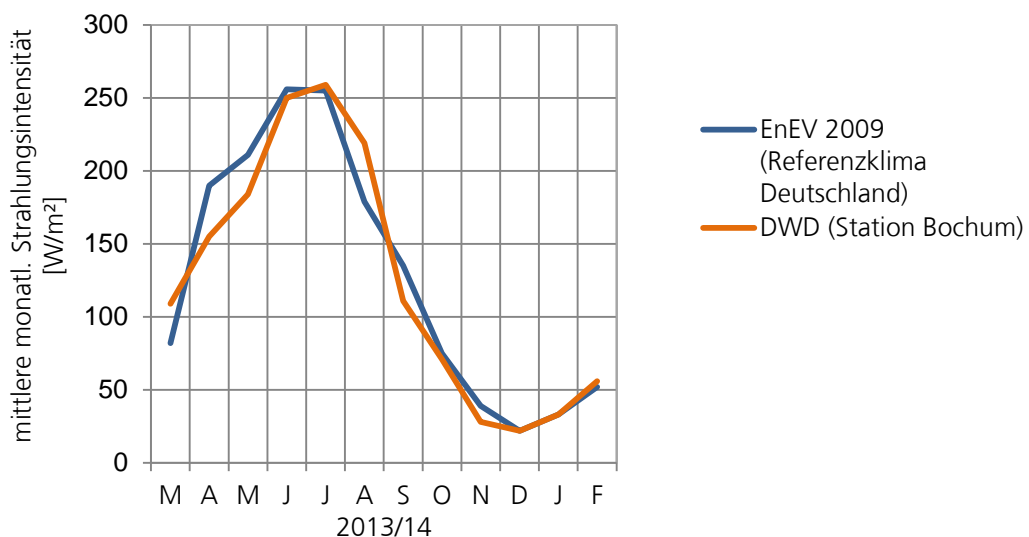


Bild 8: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Im Frühjahr 2013 treten geringere Strahlungsintensitäten gegenüber dem Referenzklima nur in den Monaten April und Mai auf. Im August ist der gemessene Wert etwas höher als das Referenzklima.

Am Musterhaus selbst wurden keine Strahlungsdaten aufgezeichnet. In der weiteren Betrachtung werden daher die Strahlungsdaten der Wetterstation Bochum herangezogen.

5.2 Außenlufttemperaturen

Die am Gebäude gemessenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen sowie die der Wetterstation Köln-Bonn und die Werte des Referenzklimas sind für die 2 Messjahre in Bild 9 und Bild 10 gezeigt.

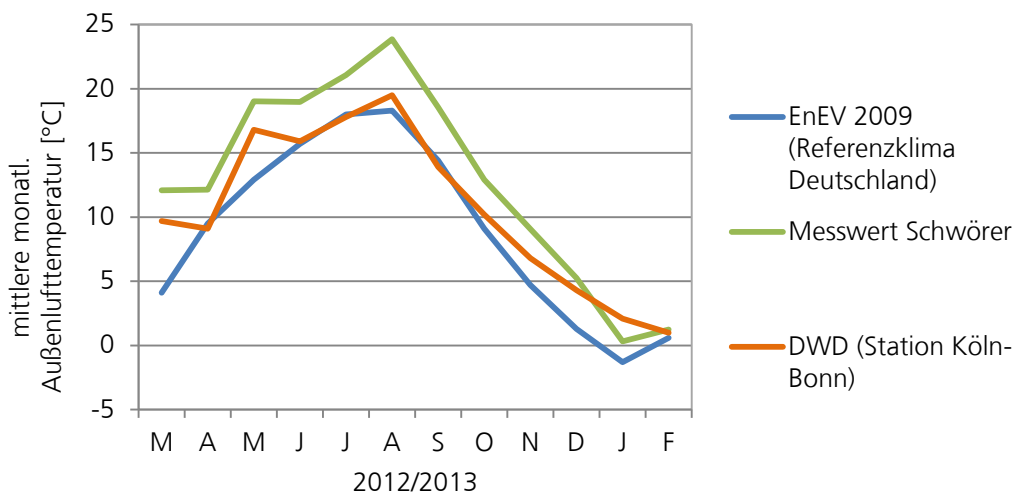


Bild 9: gemessene und vorherberechnete mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

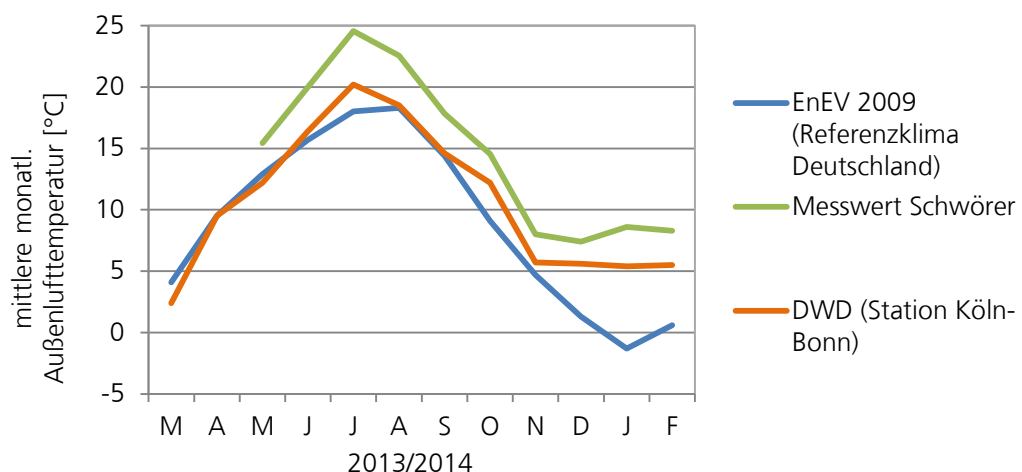


Bild 10: gemessene und vorherberechnete mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Für beide Messjahre zeigen die am Haus gemessenen Daten höhere Werte als die des DWD, mit einer maximalen Abweichung von ca. 4,6 K. Dieses ist auf die Anordnung der Wetterstation an der Südfassade mit einem nur geringen Abstand von der Fassade, wie in Bild 11 zu sehen, zurückzuführen. Für die Außenlufttemperaturmessung ist die Anordnung ungünstig, da Einflüsse durch die Fassade bestehen. Es werden daher die Wetterdaten des DWD vom Standort Köln-Bonn herangezogen.



Bild 11:
Anordnung der Wetterstation an Südfassade Gebäude.

5.3 Klimabereinigung

Messwerte sind stark vom lokalen und saisonalen Klima geprägt, das während der Messperiode vorherrscht. Daher ist zur besseren Vergleichbarkeit von messtechnisch ermittelten Verbräuchen eine Klimakorrektur vorzunehmen. Im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen sind die gemessenen Heizenergieverbräuche auf mittlere deutsche Klimaverhältnisse zu normieren. Zur Klimakorrektur wird die Gradtagzahl verwendet, die das Produkt aus der Länge der Heizzeit (Tage) und der hierin aufgetretenen mittleren Temperaturdifferenz (Kelvin) zwischen beheiztem Bereich und Außenluft ist. Zur Heizzeit zählen alle Tage, an denen die mittlere Außenlufttemperatur unterhalb von 12 °C liegt. Die für den Messzeitraum ermittelten Gradtagzahlen für die Randbedingung $G_{20/12}$ sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6:
Gradtagzahlen für den Standort Köln-Frechen und Referenzklima Deutschland.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl $G_{20/12}$ [Kd]
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen März 2012 bis Februar 2013 (1. Messperiode)	2.955
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen März 2013 bis Februar 2014 (2. Messperiode)	2.780
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	2.901
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Das Wetter war während der 1. Messperiode geringfügig kälter und während der 2. Messperiode wärmer als am Standort Köln-Frechen im langjährigen Mittel üblich, aber wesentlich wärmer als unter mittleren deutschen Klimaverhältnissen üblich.

Es ergeben sich daraus folgende Klimafaktoren:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Köln-Frechen:
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 2.955 \text{ Kd} = 0,98$ (1. Messjahr)
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 2.780 \text{ Kd} = 1,04$ (2. Messjahr)
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.955 \text{ Kd} = 1,22$ (1. Messjahr)
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.780 \text{ Kd} = 1,30$ (2. Messjahr)

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 0,98 bzw. 1,04 multipliziert werden, um den klimabereinigten Heizenergieverbrauch am Standort Köln-Frechen zu erhalten. Bei Bezug auf das mittlere deutsche Normklima (wie bei der Ausstellung von Energieausweisen erforderlich) müsste der Heizenergieverbrauch mit dem Klimafaktor 1,22 bzw. 1,30 multipliziert werden.

6 Messergebnisse

6.1 Stromertrag

Bild 12 zeigt die vor Ort gemessenen monatlichen Erträge der Photovoltaikanlage sowie die gemessene mittlere Strahlungsintensität an der Wetterstation des DWD in Bochum und die Vorgaben nach EnEV 2009 für das 1. Messjahr. Gemäß der Berechnungen nach EnEV 2009 liefert die Photovoltaikanlage einen Ertrag von 7.390 kWh pro Jahr. Im Messzeitraum von März 2012 bis Februar 2013 hat die Anlage einen geringfügig höheren Ertrag (20 kWh) als vorherberechnet, nämlich 7.410 kWh, erzeugt.

Auffällig war die Abweichung einzelner Monaterträge trotz der guten Übereinstimmung der Gesamterträge. Die mittlere gemessene Strahlungsintensität im Jahr 2012 ist vor allem in den Monaten April, Juni und Juli geringer als die des vorgegebenen Referenzklimas nach EnEV 2009 (Referenzklima Deutschland). Für die Monate März 2012 (108 W/m^2) und August 2012 (203 W/m^2)

wurde eine höhere mittlere Strahlungsintensität aufgezeichnet als die EnEV (März 82 W/m², August 179 W/m²) vorgibt. Aus den Tendenzen der Strahlungsintensitäten zeigen sich wiederum unterschiedliche PV-Erträge. Obwohl im April 2012 die gemessene Strahlungsintensität an der Station Bochum geringer ausfällt als in der EnEV 2009 vorgegeben, ist der tatsächliche Ertrag der PV-Anlage höher als vorherberechnet. Hier kann lokal, am Standort Frechen, eine höhere Strahlungsintensität als an der Station Bochum vorgelegen haben. Im August ist die gemessene mittlere Strahlungsintensität an der Station Bochum höher als die der EnEV-Vorgabe, hingegen fällt der gemessene PV-Ertrag geringer aus als vorherberechnet. In den übrigen Monaten stimmen die Tendenzen der Strahlungsintensität mit denen des PV-Ertrages überein.

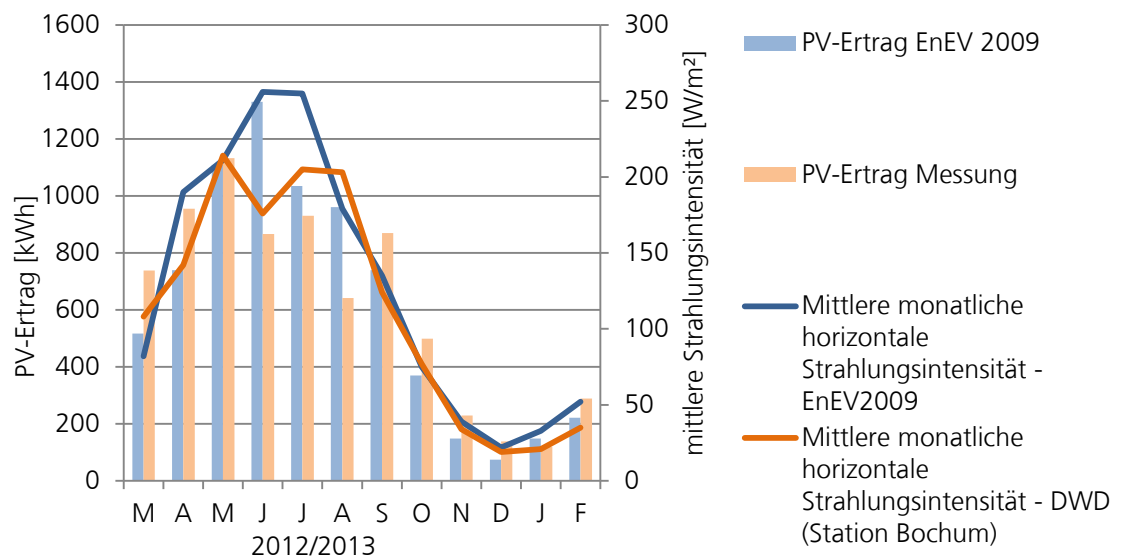


Bild 12: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im zweiten Messjahr sind die PV-Erträge, wie Bild 13 zeigt, bis auf den Monat Juni 2013 höher als die prognostizierten Werte. Auffallend hohe Erträge werden im April 2013 und Juli 2013 sowie im Februar 2014 erzeugt. Insgesamt liefert die PV-Anlage 9.115 kWh, das sind 1.725 kWh mehr als prognostiziert.

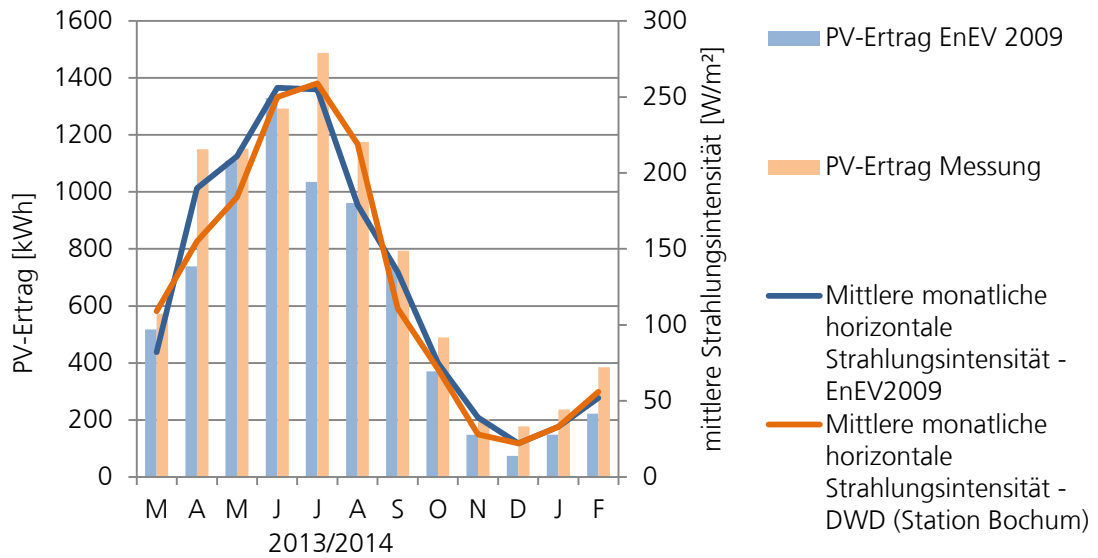


Bild 13: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Den spezifischen, auf die Photovoltaikfläche von 87,27 m² bezogenen monatlichen Stromertrag zeigen Bild 14 für das 1. Messjahr und Bild 15 für das 2. Messjahr. Er beträgt im Mittel im 1. Messjahr 7,1 kWh/m²_{PV} und 8,7kWh/m²_{PV} im 2. Messjahr.

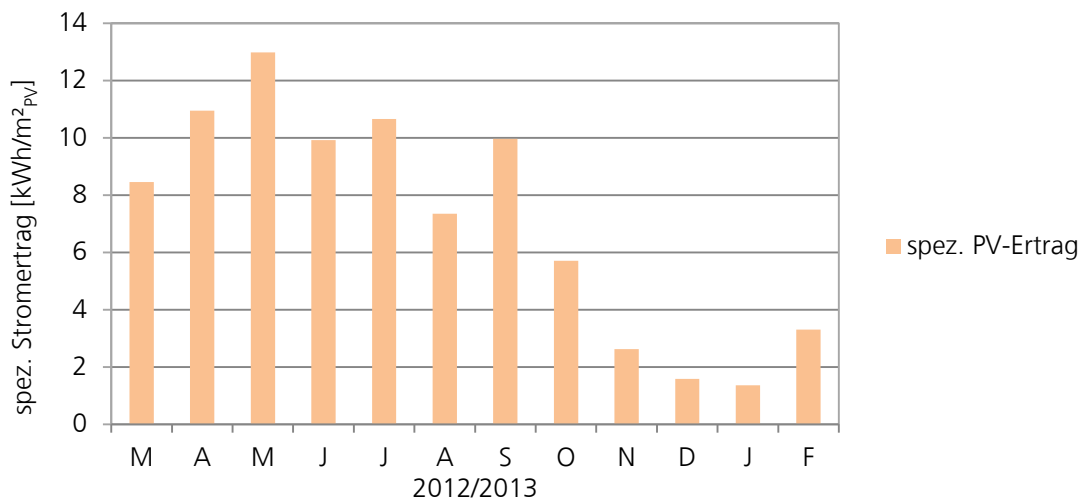


Bild 14: spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag der PV-Module auf dem Ost- und Westdach im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

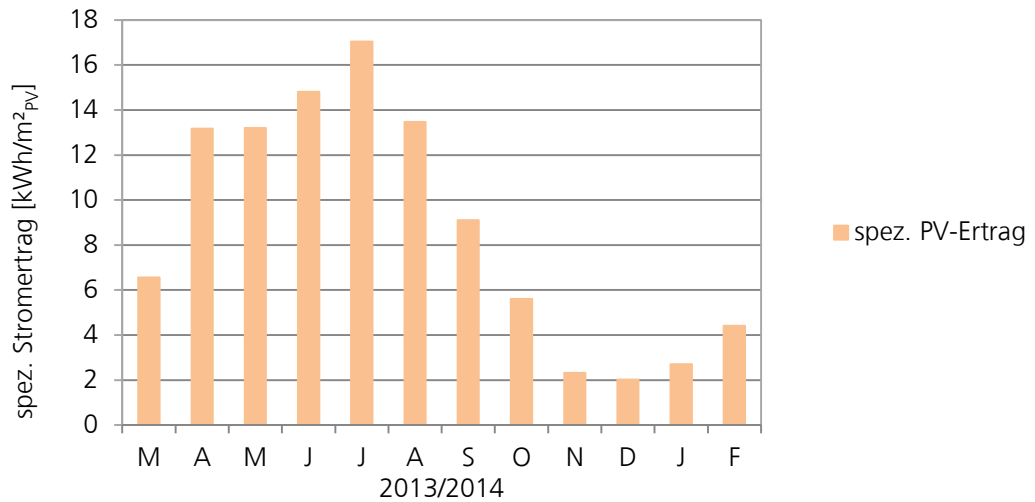


Bild 15:
spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag der PV-Module auf dem Ost- und Westdach im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch (Hausverbrauch) im Effizienzhaus Plus Plan 550 von Schwörer setzt sich aus den Anteilen Heizung und Trinkwarmwasser, Beleuchtung, Hilfsenergie und Elektrogeräte einschl. Sonstiges zusammen. Die monatlichen Summen für das 1. und 2. Messjahr sind in Bild 16 dargestellt.

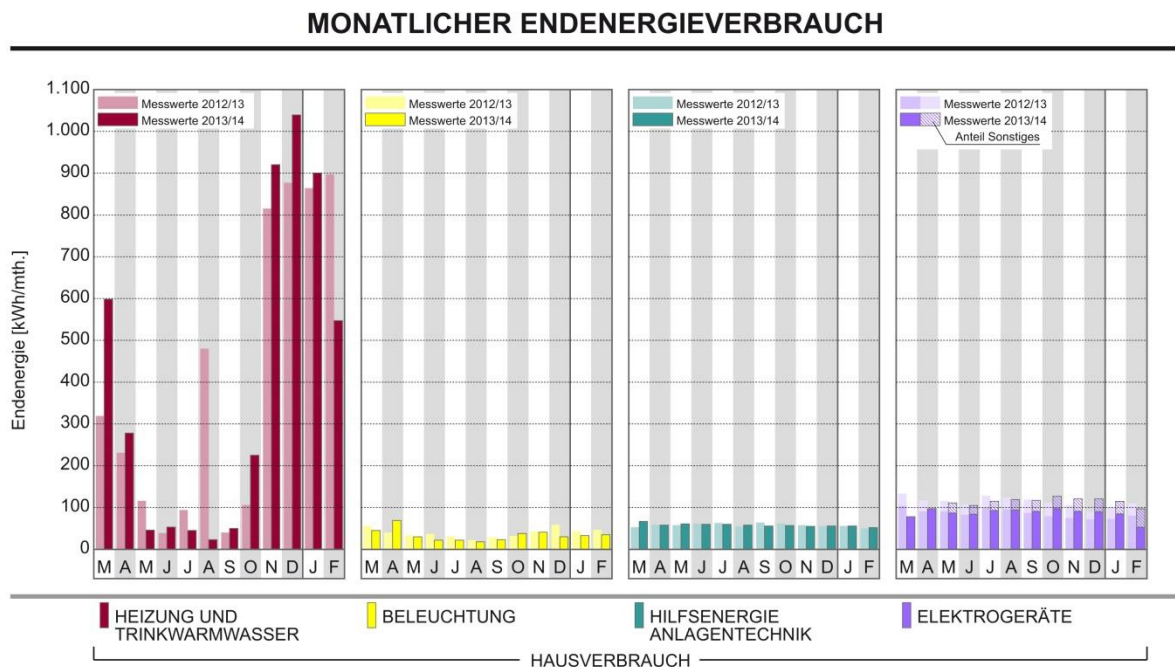


Bild 16:
gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer.

Die numerischen Werte der monatlichen Endenergieverbräuche sind in Anhang A in Tabelle 10 und Tabelle 11 zusammengefasst. Für den Betrieb des Hauses wurden in den beiden Messperioden die Energieverbräuche gemäß Tabelle 7 registriert:

Tabelle 7:
Endenergieverbrauch des Effizienzhauses Plus Plan 550 Schwörer im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013 und März 2013 bis Februar 2014.

Messjahr	Endenergieverbrauch				
	Heizung + Trinkwarmwasser einschl. Lüftung	Beleuchtung	Hilfsenergie Regler und Gebäudeautomation	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und sonstiges	Summe
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
2012/2013	4.877* *(versehentlicher Heizbetrieb im August, ca. 440 kWh)	470	696	1.363	7.406 6.966* *(ohne versehentlichen Heizbetrieb)
2013/2014	4.724	406	696	1.329	7.155

6.2.1 Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser

Bild 17 zeigt den monatlichen Stromverbrauch für die Heizung und die Trinkwarmwasserbereitung, welche durch den Betrieb der Wärmepumpe, des Nacherhitzers und des elektrischen Ladesystems sicher gestellt werden. Über das Jahr 2012/2013 wurden die folgenden Verbräuche gemessen:

- Luft / Luft Wärmepumpe: 2.769 kWh
- PTC-Heizelemente: 2.063 kWh
- Elektr. Ladesystem: 45 kWh

Im August 2012 war die Heizung versehentlich in Betrieb. Da das Gebäude das ganze Jahr durchgängig mechanisch belüftet wird und die Lüftungsanlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung außerhalb der Heizperiode beiträgt, ist die Wärmepumpe ganzjährig in Betrieb.

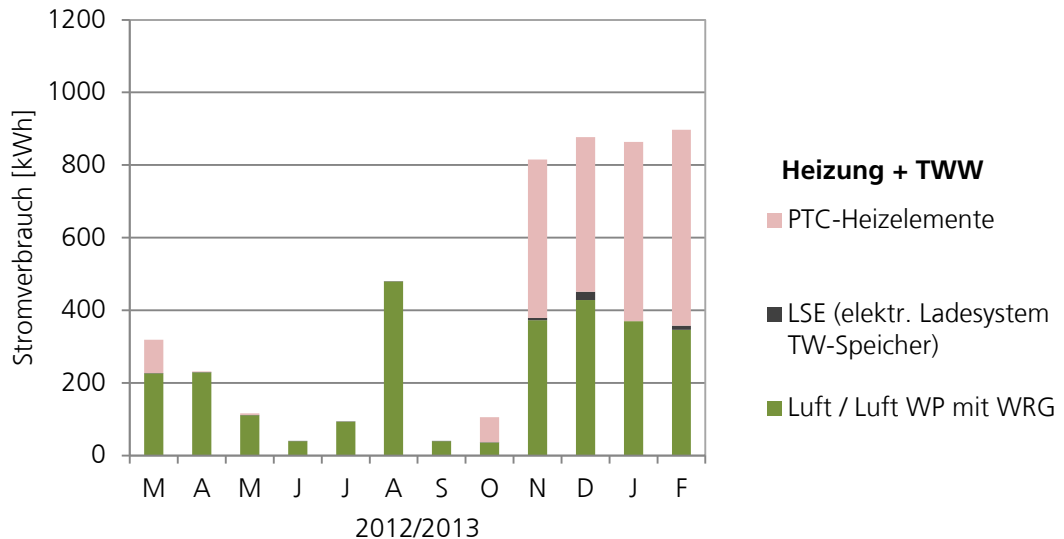


Bild 17:
Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

In den Wintermonaten November 2012 bis Februar 2013 wurde zusätzlich zur Frischluftheizung (November bis Februar 1.517 kWh) ein starker Gebrauch von den raumweise regelbaren Zusatzheizelementen (November bis Februar 1.896 kWh) gemacht. Der Stromverbrauch für die PTC-Elemente beträgt während der Heizperiode etwas über 50 % des gesamten Stromverbrauchs für die Heizung.

Das elektrische Ladesystem für den Trinkwasserspeicher zeigt aufgrund der sehr geringen Warmwassernutzung durch den Musterhausbetrieb nur geringe Verbräuche. Im 1. Messjahr wurden 7 m³ Wasser entnommen.

In der 2. Messperiode zeigt sich ein ähnliches Bild. Während der Heizperiode liefert die Wärmepumpe die Grundwärmeversorgung und wird unterstützt durch die PTC-Elemente. Die Verbräuche für die Heizelemente und das elektrische Ladesystem liegen etwas über den Verbräuchen des Vorjahres. Über das Jahr wurden, wie in Bild 18 gezeigt, die folgenden Verbräuche gemessen:

- Luft / Luft Wärmepumpe: 2.460 kWh
- PTC-Heizelemente: 2.158 kWh
- Elektr. Ladesystem: 105 kWh

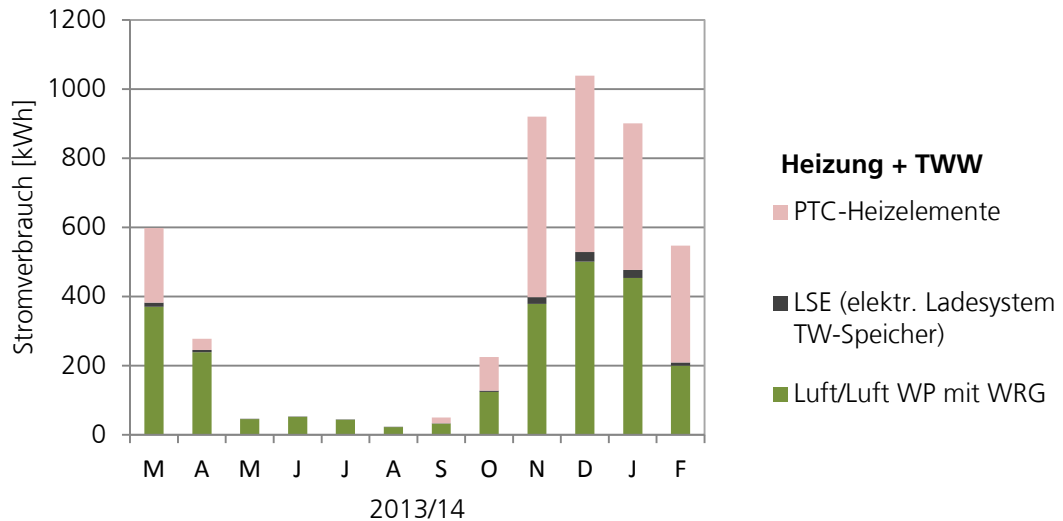


Bild 18:
Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2.2 Stromverbrauch Beleuchtung

Der Jahresstromverbrauch für die Beleuchtung hat im 1. Messjahr eine Größe von 470 kWh/a, im 2. Messjahr liegt er bei 406 kWh/a. Das sind 95 kWh/a bzw. 31 kWh/a mehr als die Vorgabe nach Effizienzhaus Plus-Standard von 375 kWh/a. Bild 19 zeigt die monatlichen Verläufe für 2012/2013 sowie die vorherberechneten Werte gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus-Standard.

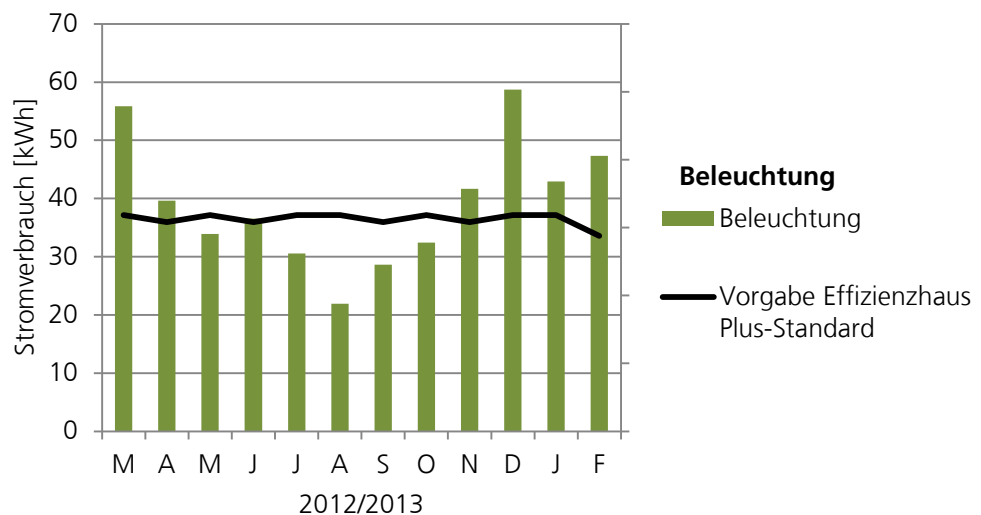


Bild 19:
Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Das monatliche Maximum des Stromverbrauchs liegt im Dezember 2012 84 % über dem vorherberechneten Monatswert von 32 kWh/mth und das monatliche Minimum liegt im Monat August 2012 31 % darunter. Im Mittel werden monatlich ca. 8 kWh Strom mehr für die Beleuchtung verbraucht als nach Vorgabe Effizienzhaus Plus vorgesehen.

In Bild 20 sind die monatlichen Messwerte für den Messzeitraum 2013/2014 dargestellt.

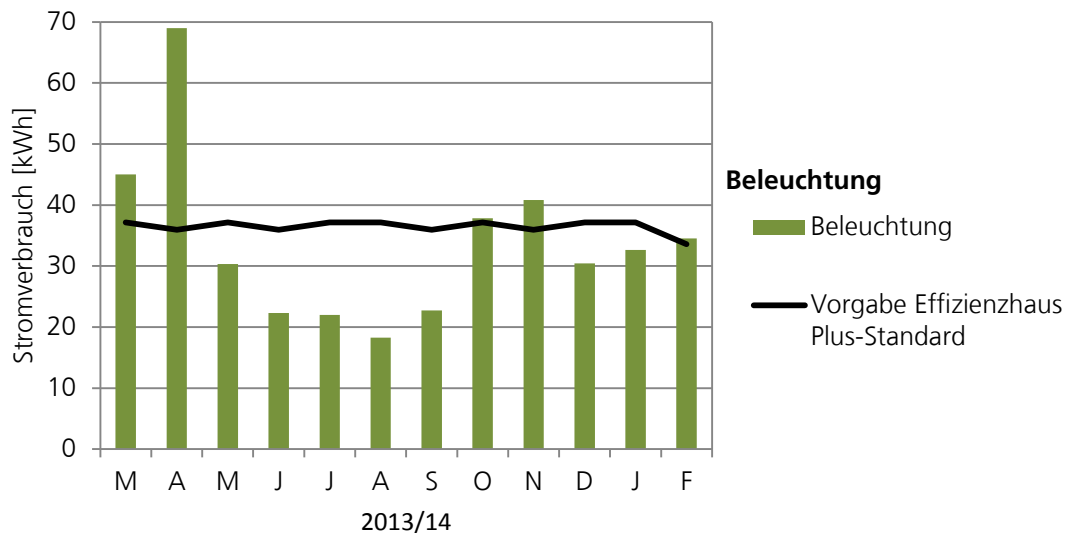
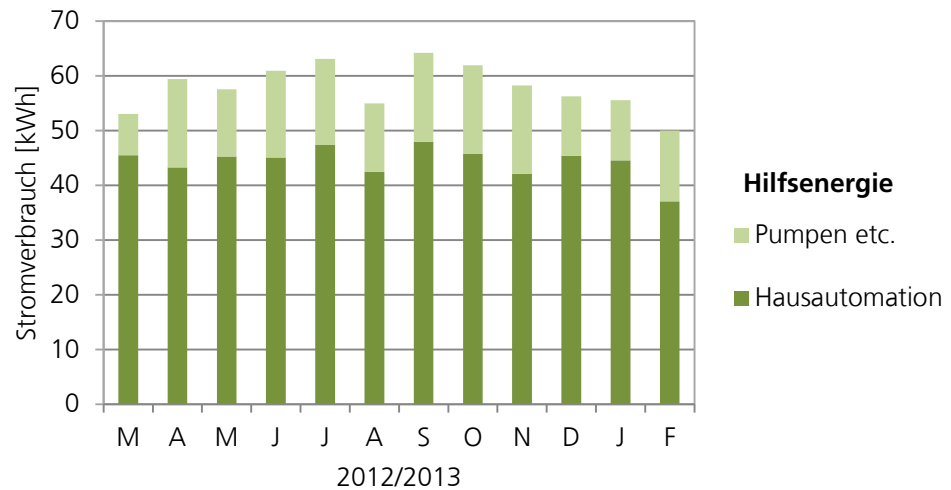


Bild 20:
Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Im 2. Messjahr liegt das monatliche Maximum des Stromverbrauchs im April 2013 124 % über dem vorherberechneten Monatswert von 32 kWh/mth und das monatliche Minimum liegt im Monat August 2013 43 % darunter. Im Mittel werden monatlich ca. 3 kWh Strom mehr für die Beleuchtung verbraucht als nach Vorgabe Effizienzhaus Plus vorgesehen.

6.2.3 Stromverbrauch Hilfsenergie

Der Endenergieverbrauch für die Hilfsenergie wird in die Anteile Pumpen (Solaregler, Solarstation) und Hausautomation (EIB, Home One) unterschieden. Die Jahreswerte für den Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013 ergeben sich zu 163 kWh/a für die Pumpen und 532 kWh/a für die Hausautomation. Damit beträgt der Anteil der Gebäudeautomation an der Hilfsenergie ca. 76 %. Die monatlichen Verläufe sind in Bild 21



dargestellt.

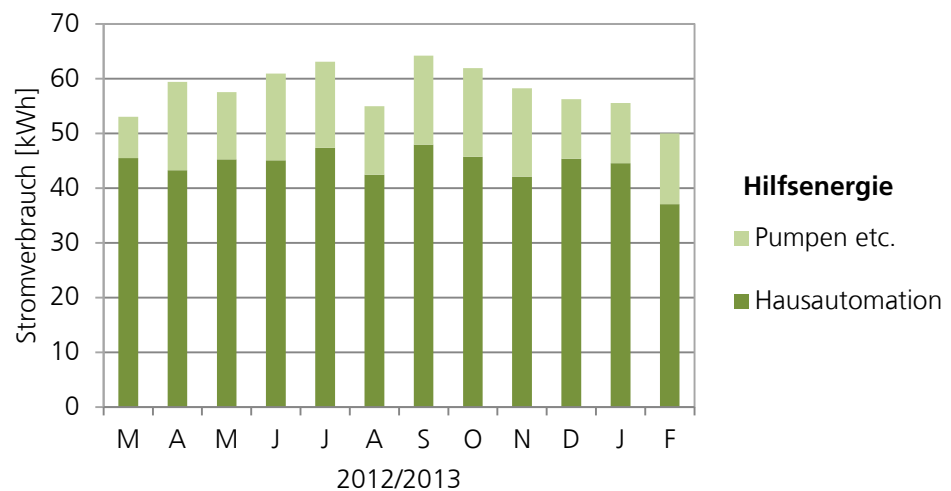


Bild 21:
Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im 2. Messjahr betrug der gesamte Endenergiebedarf für die Hilfsenergie, wie in Bild 22 gezeigt, 696 kWh/a. Er teilte sich zu 182 kWh/a auf die Pumpen und zu 514 kWh/a auf die Hausautomation auf. Damit wurden 74 % der Hilfsenergie für die Gebäudeautomation verwendet.



Bild 22:
Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2.4 Stromverbrauch Haushaltsgeräte

Der Endenergieverbrauch für die Haushaltsgeräte sowie die Vorgabe gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus-Standard sind in Bild 23 gezeigt. Der monatliche Stromverbrauch für die Haushaltsgeräte und sonstigem nicht zuzuordnendem Verbrauch lag im Mittel bei 113 kWh/mth und damit ca. 40 % unter der Vorgabe gemäß Effizienzhaus Plus-Standard. Dieser geringe Verbrauch ist auf die Nutzung des Hauses als Musterhaus zurückzuführen.

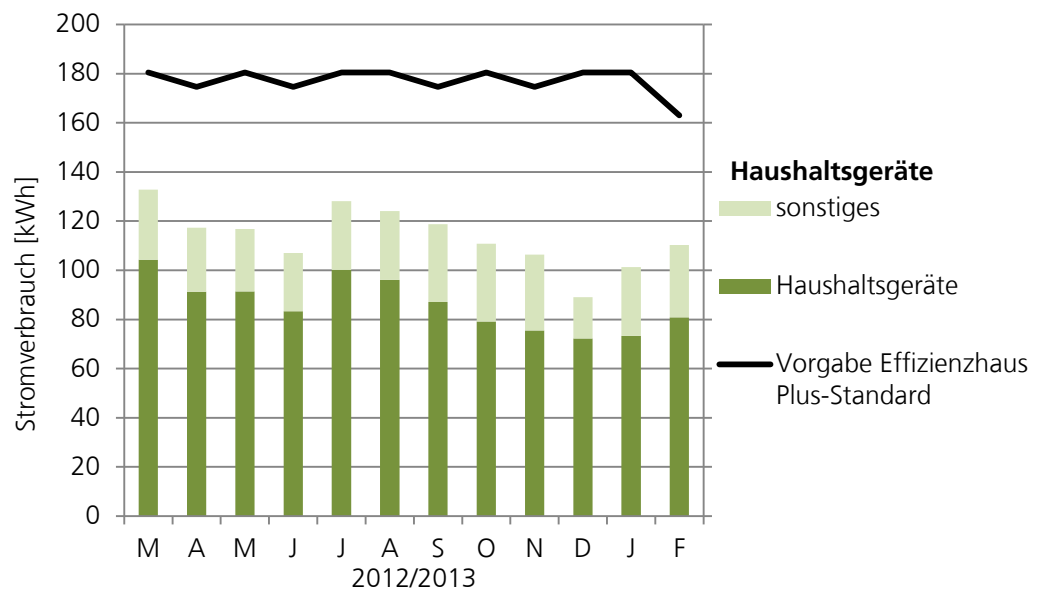


Bild 23:
Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Ähnliches zeigt sich wie in Bild 24 dargestellt im 2. Messjahr, insgesamt wurden für die Haushaltsgeräte und –prozesse 1.329 kWh/a verbraucht. Im Mittel lag der monatliche Stromverbrauch bei 111 kWh, damit wird die Vorgabe nach Effizienzhaus Plus-Standard um ca. 37 % unterschritten.

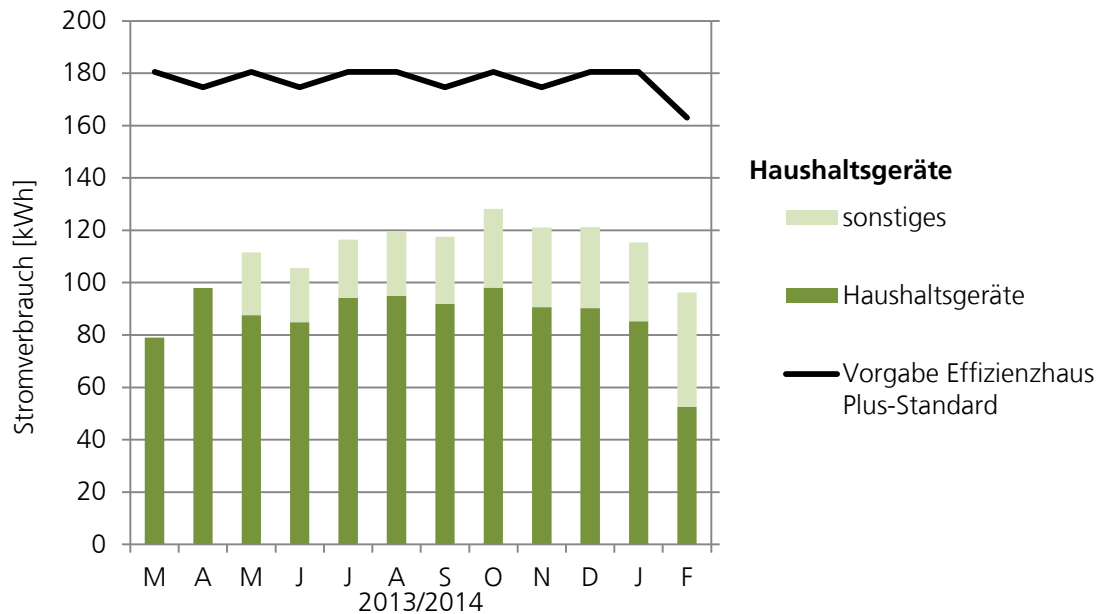


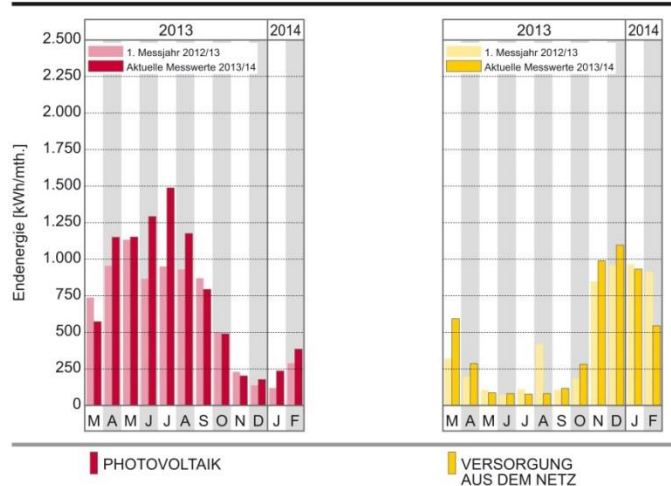
Bild 24: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2.5 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag

Von der Photovoltaikanlage wurden, wie Bild 25 zeigt, im 1. Messjahr 7.410 kWh/a und im 2. Jahr 9.115 kWh/a Strom generiert, davon wurden 2.204 kWh/a bzw. 1.984 kWh/a im Haus selbst genutzt und 5.206 kWh/a bzw. 7.131 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im 1. Messzeitraum 5.201 kWh/a und im 2. Zeitraum 5.171 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch von 7.406 kWh/a im 1. Messjahr und 7.155 kWh/a im 2. Messjahr.

Der Mehrertrag der PV-Anlage im 2. Messjahr folgt dem Wettertrend des Jahres 2013/2014, vor allem in den Sommermonaten Juni bis August wurde eine höhere mittlere Solarstrahlung aufgezeichnet als im 1. Messjahr. Ähnliches gilt für den Hausverbrauch; dieser fiel im 2. Messjahr aufgrund des milden Winters vorrangig im Februar 2014 geringer aus.

ENERGIEQUELLE



ENERGIENUTZUNG

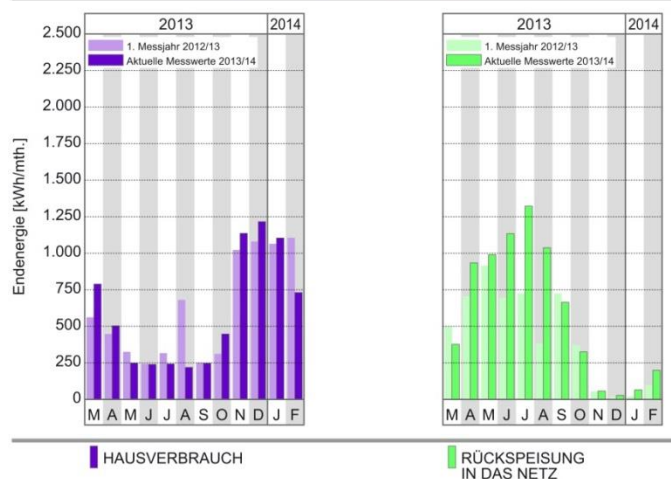


Bild 25:
Endenergie Bilanz im Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2014.

Das Photovoltaiksystem hat somit, wie Bild 26 zeigt, im 1. Messjahr einen Überschuss von 4 kWh (bzw. 444 kWh bei Nichtberücksichtigung Fehlbetrieb Heizung im August) erzielt. Dieser wird aus der Differenz des kumulierten Photovoltaikertrags und kumulierten Hausverbrauchs ermittelt. Der vorherberechnete Energieüberschuss von 2.271 kWh wird nicht erreicht.

Die größte Abweichung zwischen der Vorherberechnung und der Messung resultiert aus dem erhöhten Stromverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasserbereitstellung einschließlich der Hilfsenergien. Es waren 2.627 kWh vorherberechnet und es wurden im Laufe des ersten Messjahres 5.573 kWh verbraucht (bzw. 5.133 kWh bei Nichtberücksichtigung Fehlbetrieb Heizung im August).

KUMULIERTE ENDENERGIE - 1. Messjahr 2012/13

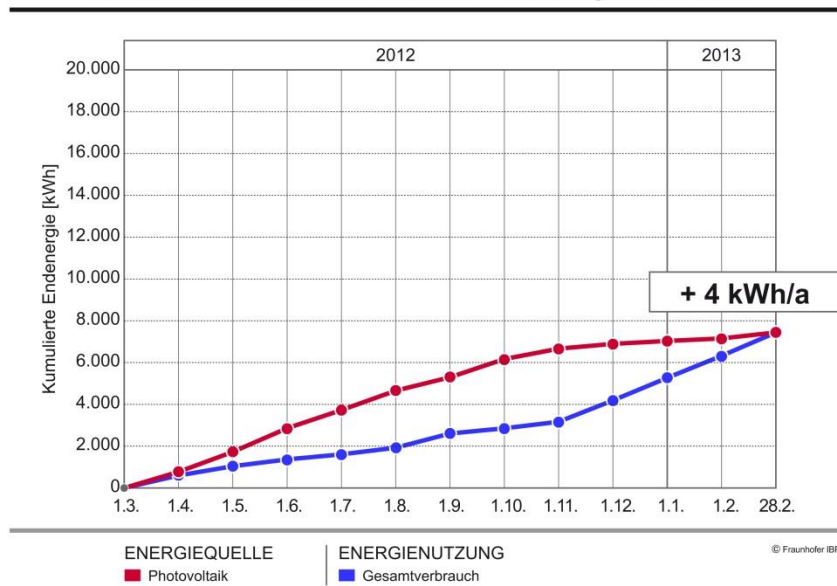


Bild 26:
kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus den Photovoltaikanlagen des Effizienzhauses Plus Plan 550 Schwörer im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Die Abweichung zwischen Prognose und Messung ist für das 1. Messjahr in Bild 27 gezeigt. Hier sind der berechnete und gemessene kumulierte PV-Ertrag und Endenergiebedarf / -verbrauch einander gegenübergestellt. In Bezug auf die Prognose des PV-Stroms zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung. Für die Endenergie zeigt sich im August eine Abweichung zwischen Prognose und Messung durch den versehentlichen Betrieb der Heizung. Dies führte zu einem erhöhten Endenergieverbrauch (ca. 440 kWh). Ferner wird an der größeren Steigung der Messkurve erkennbar, dass in den Wintermonaten von November bis März mehr Energie benötigt wird als vorherberechnet.

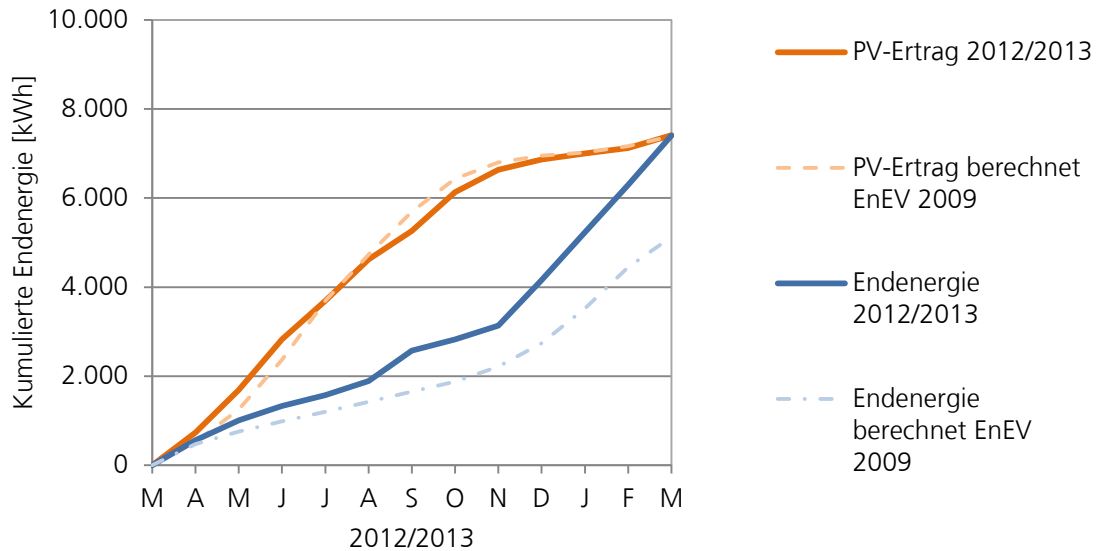


Bild 27:
Vergleich Vorherberechnung und Messung kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im 2. Messjahr konnte, wie Bild 28 zeigt, ein Überschuss von 1.960 kWh/a erzielt werden. Der vorherberechnete Energieüberschuss von 2.271 kWh konnte nicht ganz erreicht werden.

KUMULIERTE ENDENERGIE - 2. Messjahr 2013/14

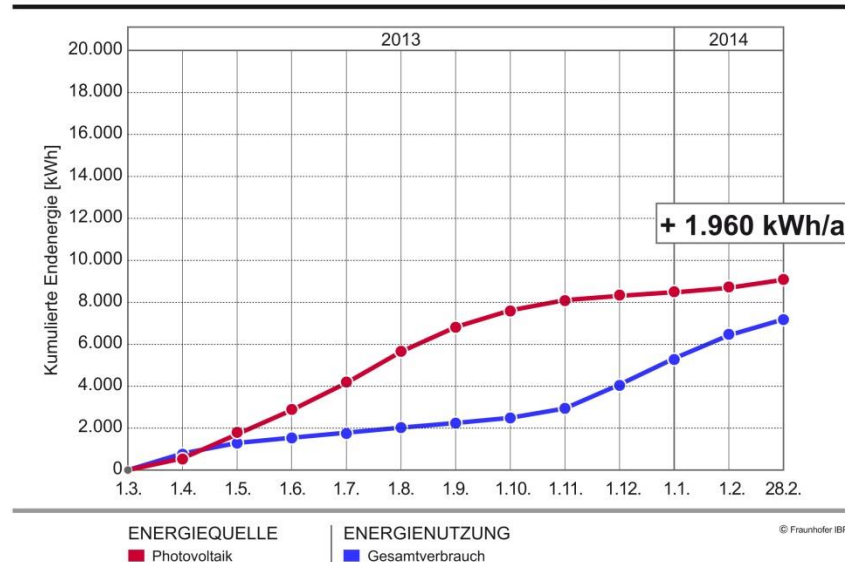


Bild 28:
kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus den Photovoltaikanlagen des Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Der Überschuss ist vorrangig, wie Bild 29 zeigt, auf den erhöhten PV-Ertrag gegenüber der Vorherberechnung zurückzuführen. Für den Verlauf der Endener-

gie zeigt sich eine ähnliche Tendenz wie im 1. Messjahr, in den Wintermonaten wird mehr Energie verbraucht als prognostiziert. Die größten Abweichungen werden für den Energieverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung einschließlich Hilfsenergie registriert, vorherberechnet waren 2.627 kWh/a und es wurden 5.420 kWh/a Strom verbraucht.

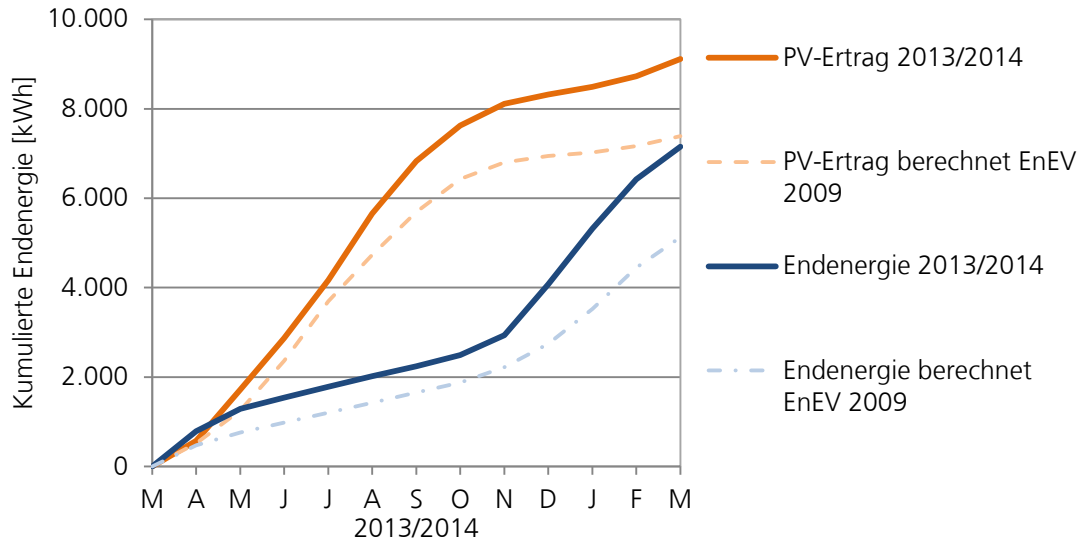


Bild 29: Vergleich Vorherberechnung und Messung kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.3 Eigenstromnutzung und Autarkiegrad

Bild 30 zeigt die monatlichen Photovoltaikerträge für das 1. Messjahr, aufgeteilt in die Anteile Eigenverbrauch und Einspeisung in das öffentliche Netz.

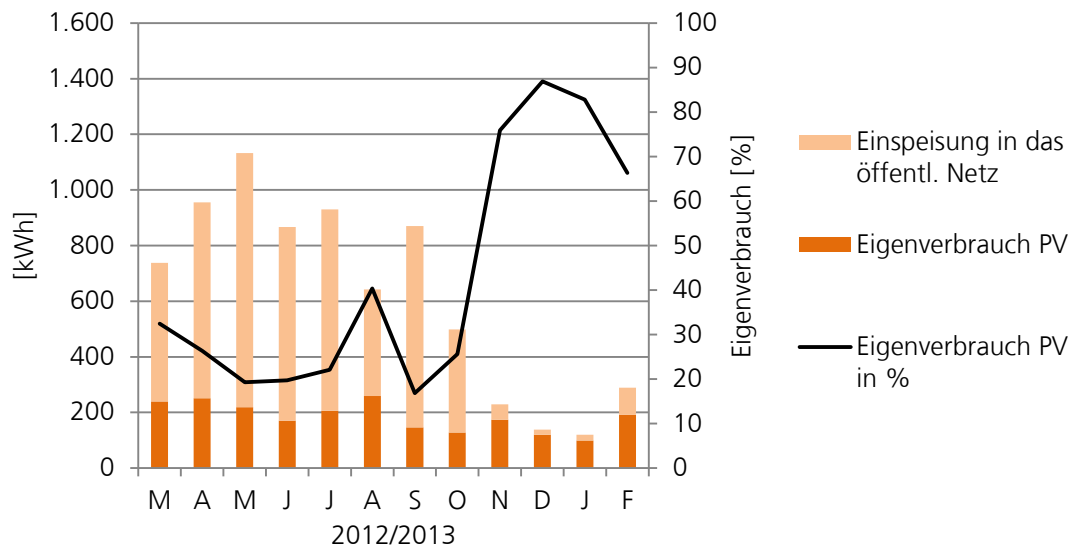


Bild 30: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch, Netzeinspeisung, prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Der Wert des von der Photovoltaikanlage produzierten und im Gebäude selbst genutzten Stroms betrug im 1. Messjahr 2.204 kWh, davon wurden in den Monaten April bis September 2012 im Mittel lediglich 24 % genutzt. In den Wintermonaten steigt der selbstgenutzte Anteil aufgrund des geringen Angebots auf über 85 % an. Eine Erhöhung des Anteils des selbst genutzten Photovoltaikstroms ist wünschenswert.

Der Eigenverbrauch des Photovoltaikstroms ist für das 2. Messjahr in Bild 31 gezeigt, er betrug 1.984 kWh. Er fällt mit einem Mittelwert von 14 % in den Monaten April bis September geringer aus als im 1. Messjahr.

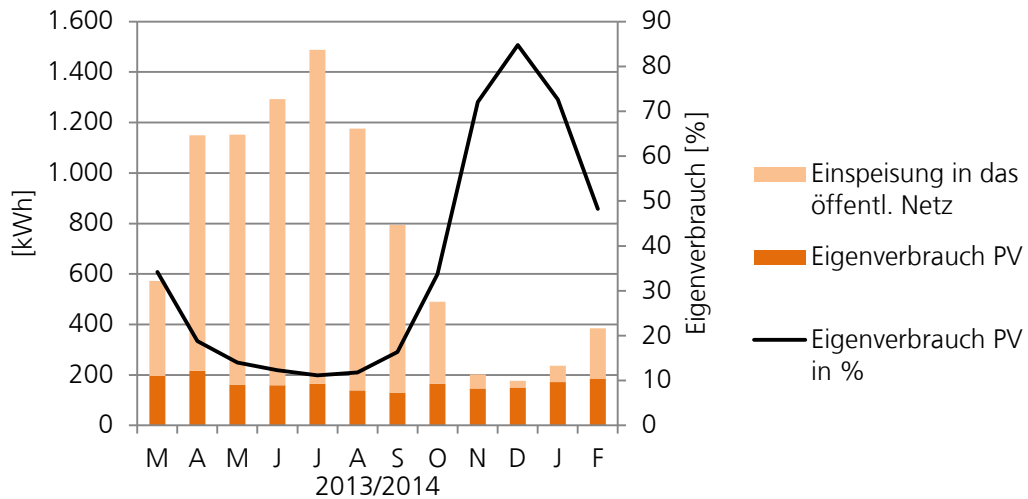


Bild 31: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch, Netzeinspeisung und prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Der monatliche Autarkiegrad in Bezug auf den PV-Strom ist für das 1. Messjahr in Bild 32 und das 2. Messjahr in Bild 33 gezeigt. Der Autarkiegrad beträgt im Sommer ca. 70 % und im Winter 10 %, im Mittel liegt er bei 41 %.

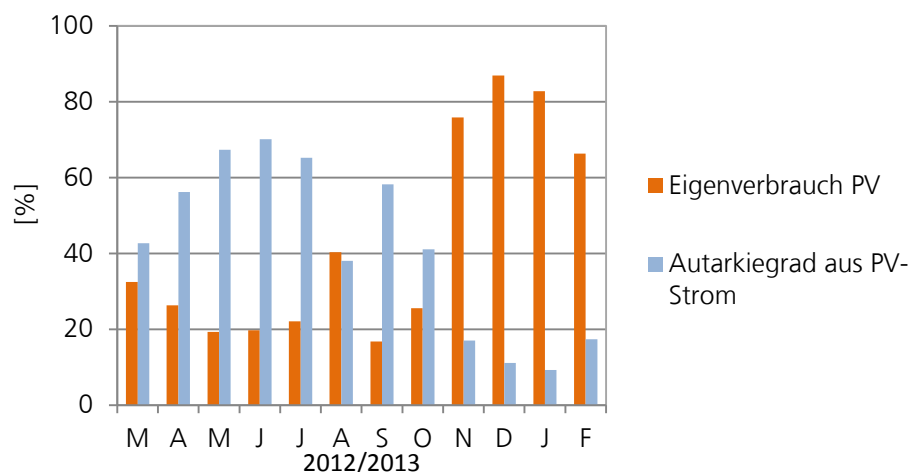


Bild 32: monatliche Autarkie- und Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

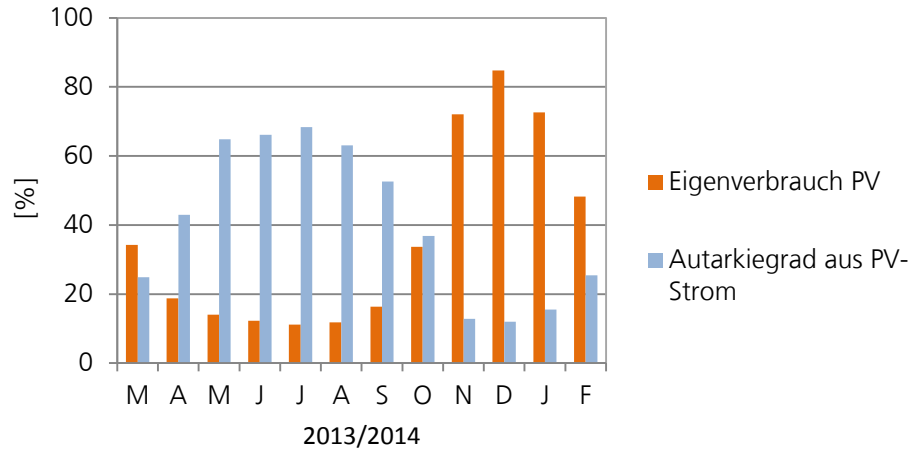


Bild 33: monatliche Autarkie- und Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.4 Anlagenperformance

Die Anlagenperformance der Luftheizung, bestehend aus der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und der nachgeschalteten Wärmepumpe lässt sich durch die monatliche Arbeitszahl beschreiben. Als Bilanzgrenze wird das Kompaktgerät Lüftung mit integrierter Wärmepumpe ohne Trinkwasserspeicher, Solelepumpe und Nacherhitzer gewählt. Die Arbeitszahl wird bestimmt aus der Wärmemenge der Zuluft und der Aufwandsenergie. Die monatliche Wärmemenge der Zuluft wird aus dem Volumen der Zuluft, der spezifischen Wärmekapazität der Luft, der Zeitdauer eines Monats sowie der Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur der Zuluft und der Temperatur nach dem Solewärmetauscher berechnet.

Die monatlichen Werte sind für das 1. Messjahr in Bild 34 gezeigt, die Arbeitszahl beträgt über das Jahr 3,2. Im 2. Messjahr wird eine Jahresarbeitszahl von 3,3 erreicht, wie in Bild 35 gezeigt. Aufgrund der engen Rohrleitungsführung kommt es zur Beeinflussung der Messsensorik. Die Arbeitszahl kann daher nur als Näherungswert angesehen werden.

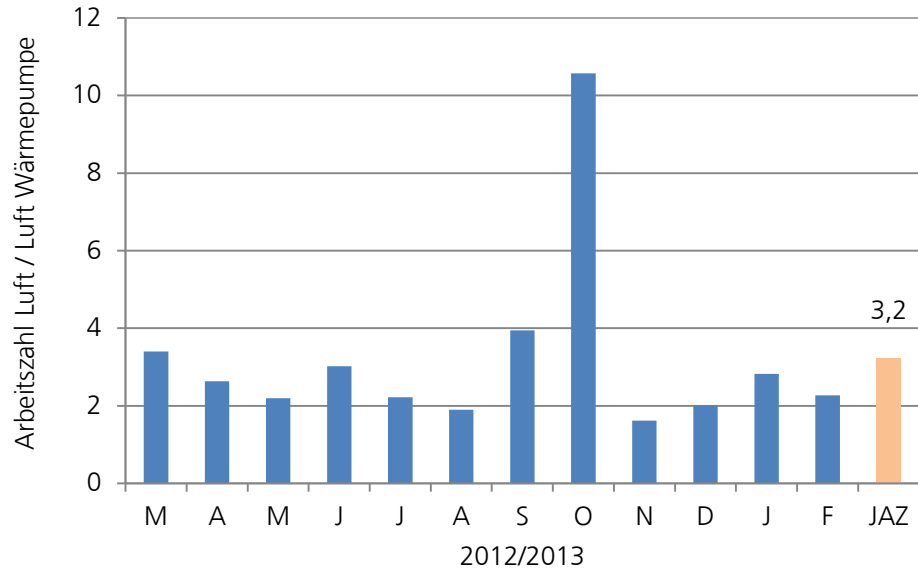


Bild 34: monatliche Arbeitszahl Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Luft / Luft Wärmepumpe im Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

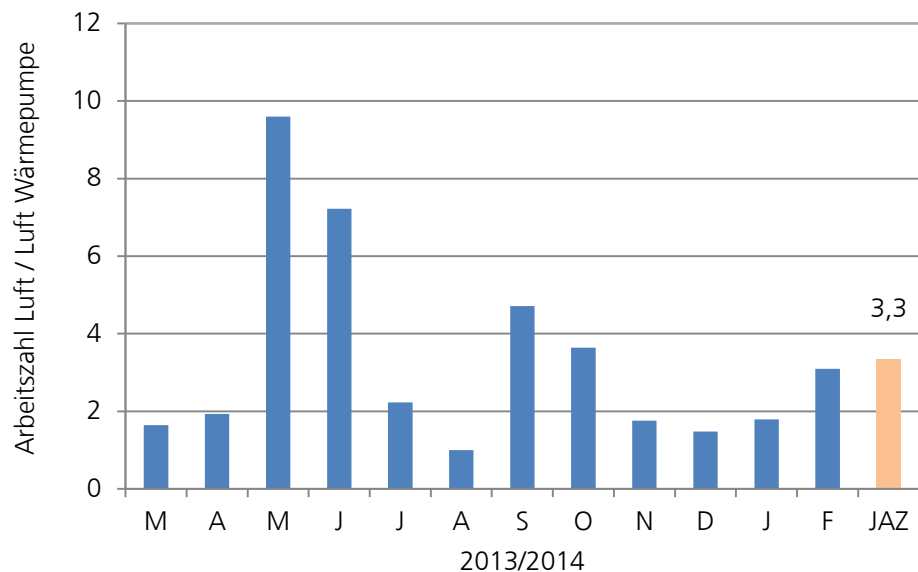


Bild 35: monatliche Arbeitszahl Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Luft / Luft Wärmepumpe im Effizienzhaus Plus Plan 550 Schwörer im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.5 Innenraumtemperaturen Sommer

In den Räumen des Erd- und Obergeschosses wurden ganzjährig die Lufttemperaturen gemessen. Einen Überblick über die sommerliche Temperaturentwicklung in den wärmsten Räumen Wohnen (EG), Schlafen (OG) und Büro / Gast (OG) für die Monate Juni und Juli der beiden Messperioden zeigen Bild 36 bis

Bild 39. Zum Vergleich ist jeweils der Temperaturverlauf der Außentemperatur des DWD der Station Köln-Bonn eingezeichnet. Die Außen- und Innenraumlufttemperaturen sind als Stundenmittelwerte dargestellt. Die Monatsmittelwerte über das Jahr aller Räume im EG und OG sind Tabelle 12 und Tabelle 13 im Anhang B zu entnehmen.

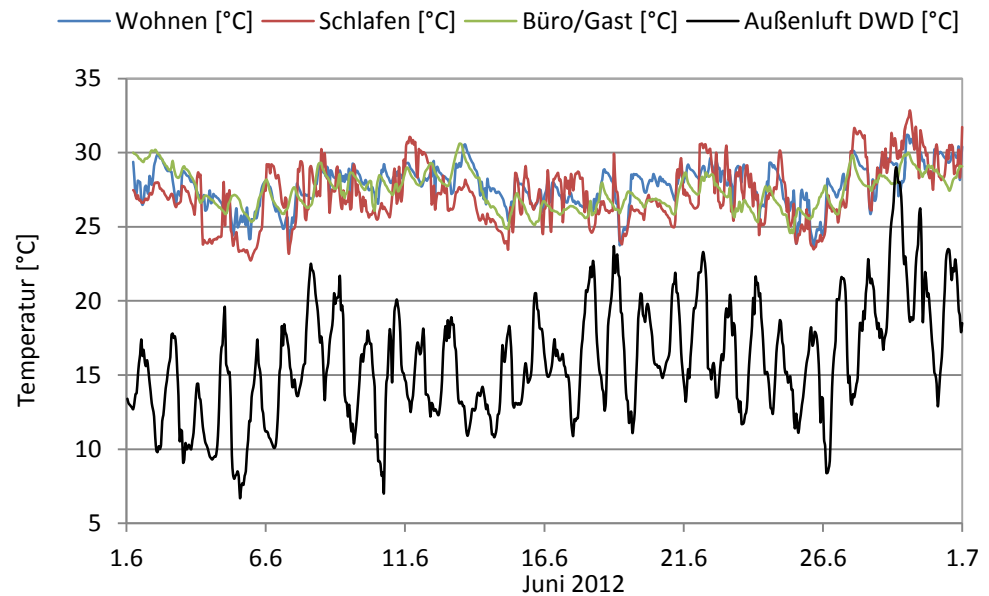


Bild 36: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2012.

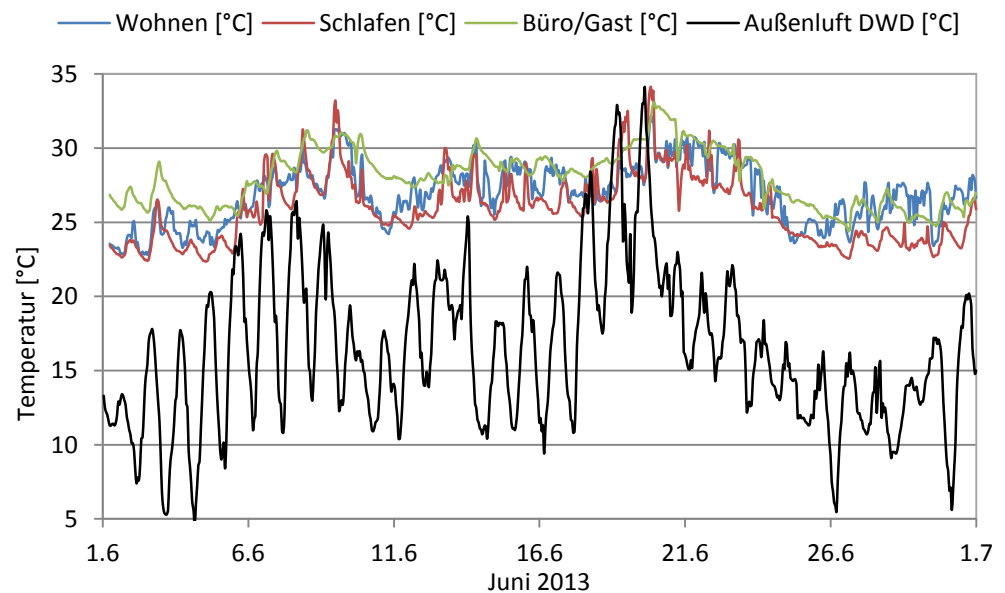


Bild 37: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2013.

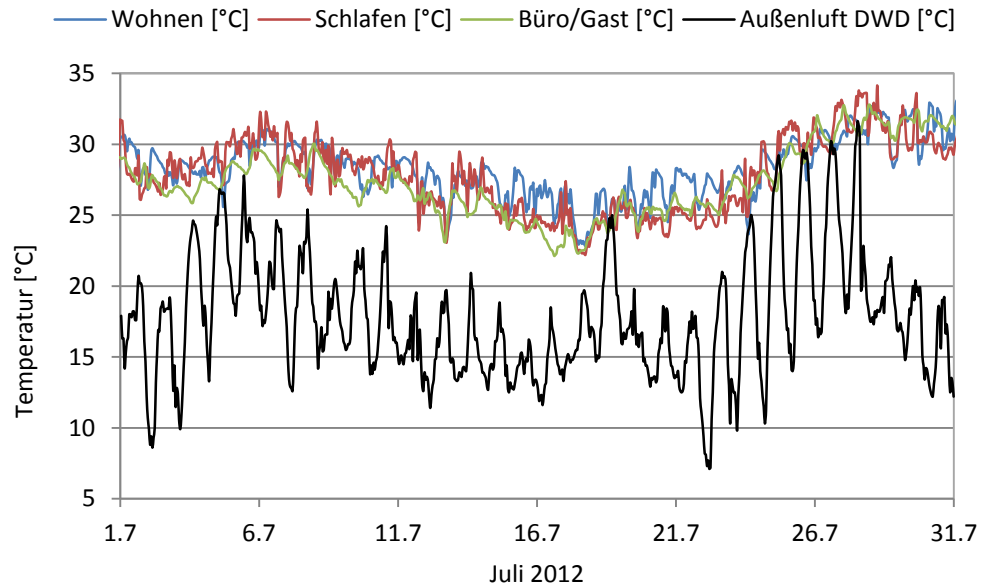


Bild 38:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juli 2012.

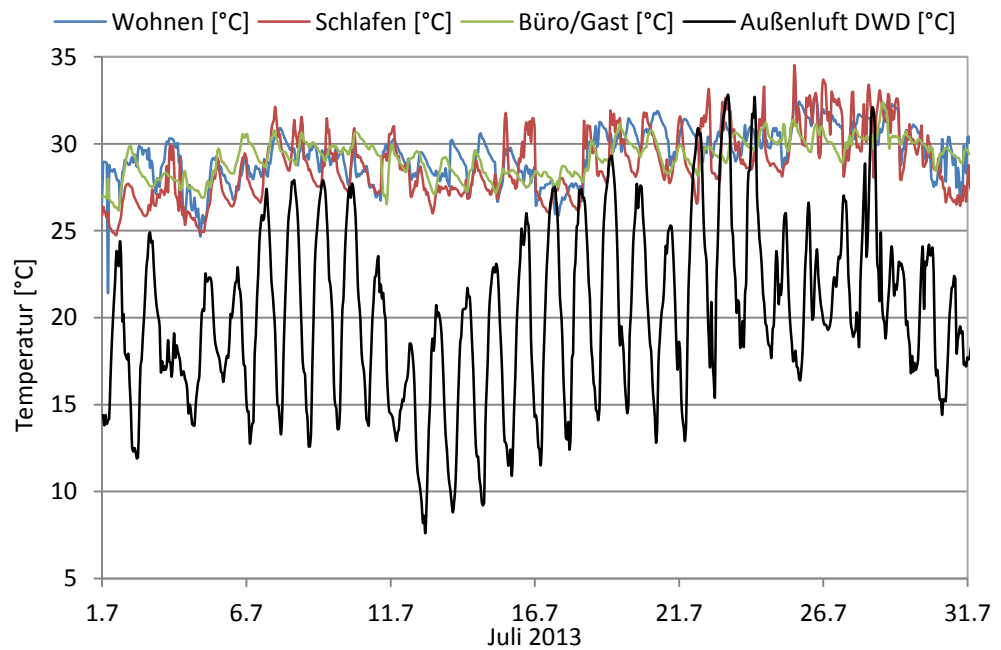


Bild 39:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juli 2013.

Die Raumlufttemperatur in den drei ausgewählten Räumen schwankt im Juni 2012 zwischen 25 °C und 30 °C und im Juni 2013 zwischen 24 °C und 30 °C. In Spitzen werden auch Innenraumlufttemperaturen von fast 35 °C erreicht. Im Juli 2012 und Juli 2013 zeigen sich ähnliche Tendenzen, die Raumlufttemperatur liegt zwischen 25 °C und knapp unter 35 °C. Auffallend ist die hohe Abweichung der Raumlufttemperaturen von der Außenlufttemperatur. Im

Mittel liegen die Raumlufttemperaturen im Juni und Juli für die ausgewählten Räume um 10 bis 12 K höher als die mittlere Außenlufttemperatur. Eine nächtliche Abkühlung wird in den Räumen nicht erreicht.

Aus den vorliegenden Messwerten wurde, wie in Tabelle 8 dargestellt, die Anzahl der Stunden ermittelt, während der die stündliche Raumlufttemperatur über 26 °C lag. In Anlehnung an die technischen Regeln für Arbeitsstätten [5] sollte die Raumluft 26 °C nicht überschreiten. Die maximale Überschreitungsdauer betrug im Juli 2013 im Büro / Gastzimmer 744 Stunden, das sind ca. 31 Tage.

Tabelle 8:
Überschreitungsstunden > 26 °C für Juni und Juli in den Aufenthaltsräumen.

Raum	Überschreitungsstunden [h]			
	2012		2013	
	Juni	Juli	Juni	Juli
Wohnen	650	649	490	732
Schlafen	539	523	337	706
Büro / Gast 1	624	519	602	744

Ergänzend wird der Einfluss der Lüftung auf die Temperaturentwicklung im Wohnraum betrachtet. Hierzu sind in Bild 40 die mittleren stündlichen Temperaturen für die Raumluft im Wohnzimmer, die Temperatur der Zuluft der Lüftungsanlage, die Temperatur nach dem Solewärmetauscher sowie die Außenlufttemperatur des DWD für den Monat Juni 2012 zusammengestellt. Die Grafik zeigt zum einen, dass die Luft auf dem Weg vom Solewärmetauscher bis zum Raum in den gebäudeintegrierten Rohrleitungen erwärmt wird und dass die Temperatur der Zuluft kaum einen Einfluss auf die Temperaturentwicklung der Raumluft zeigt. Der Luftwechsel lag im Juni 2012 im Mittel bei 0,24 [-].

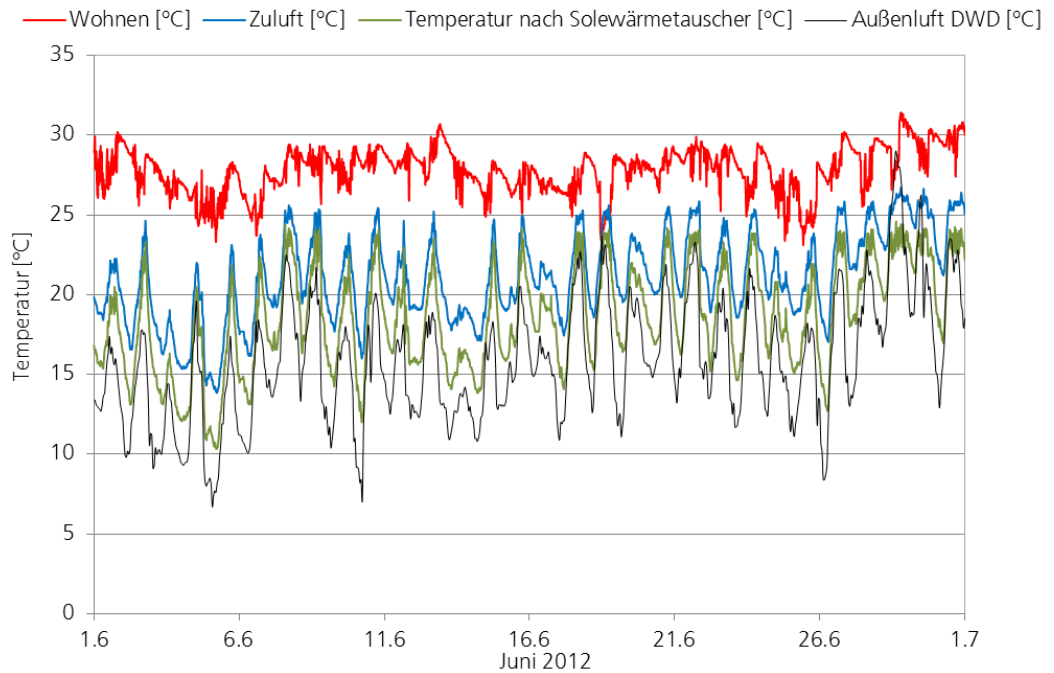


Bild 40:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außenlufttemperatur des DWD, der Temperatur nach dem Solewärmetauscher, der Zuluft- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2012.

Bild 41 zeigt einen Ausschnitt der vorgenannten Temperaturen für 2 warme Tage im Juni 2012 (11. und 12. Juni 2012).

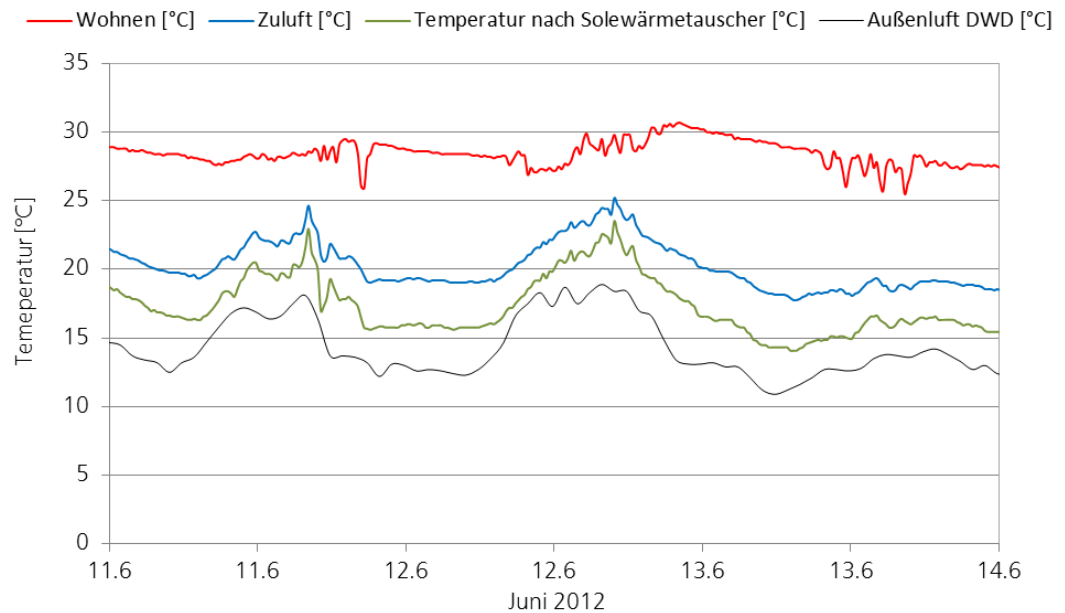


Bild 41:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außenlufttemperatur des DWD, der Temperatur nach dem Solewärmetauscher, der Zuluft- und Innenraumlufttemperatur für den 11. und 12. Juni 2012.

Es zeigt sich, dass die Luft von außen auf dem Weg zum Raum um 6 K erwärmt und mit einer mittleren Temperatur von 21 °C dem Raum zugeführt wird. Der Solewärmetauscher zeigt keine Wirkung.

Im 2. Messjahr wird, wie in Bild 42 gezeigt, die Zuluft, bedingt durch einen über den Tag konstanten Zuluftvolumenstrom, mit einem höheren Temperaturniveau in die Räume eingeblasen als im 1. Messjahr. Dadurch ist eine Anpassung der Raumlufttemperatur an die Zulufttemperatur erkennbar. Wie auch im 1. Messjahr wird eine nächtlich Abkühlung nicht erreicht.

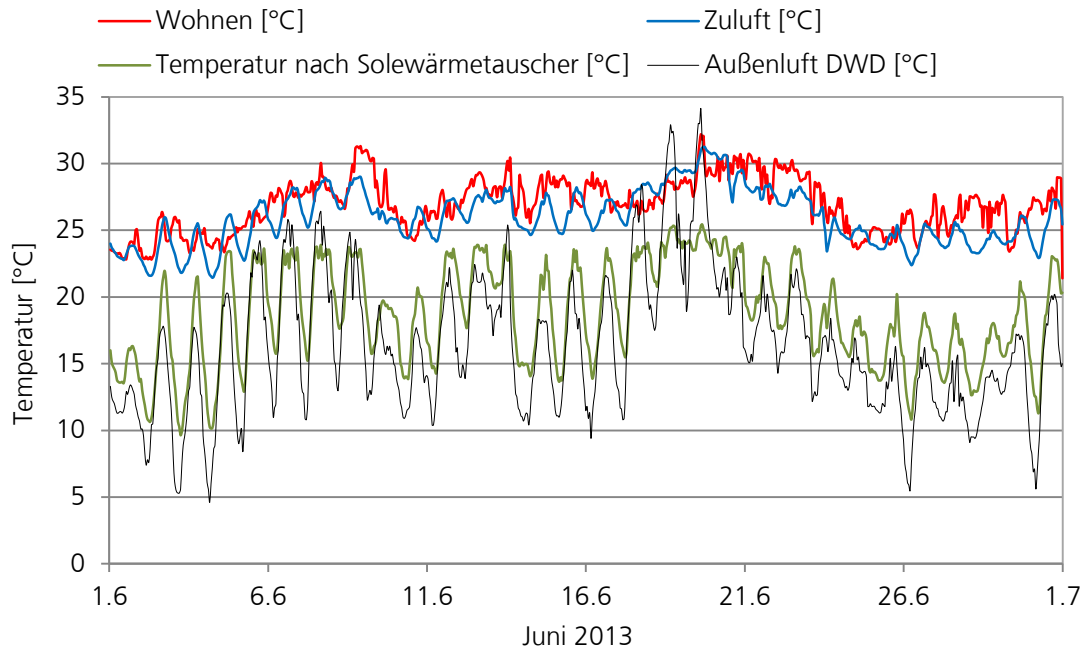


Bild 42:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außenlufttemperatur des DWD, der Temperatur nach dem Solewärmetauscher und der Zuluft- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2013.

Zur Reduzierung der hohen Raumtemperaturen sollte der Sommerbypass in der Lüftungsanlage eingestellt und die Vorkühlung der Luft über den Solewärmetauscher durchgeführt werden. Es sollte dringend geprüft werden, ob durch Abschalten der Lüftungsanlage und eine manuelle Fensterlüftung die sommerliche Überwärmung nicht reduziert werden kann. Ferner wird die Nutzung des installierten Sonnenschutzes dringend empfohlen.

6.6 Innenraumtemperaturen Winter

Einen Überblick über die Raumlufttemperaturen in ausgewählten Räumen im Erdgeschoss (Wohnen) und Obergeschoss (Schlafen, Büro / Gast) für den Monat Januar 2013 zeigt Bild 43.

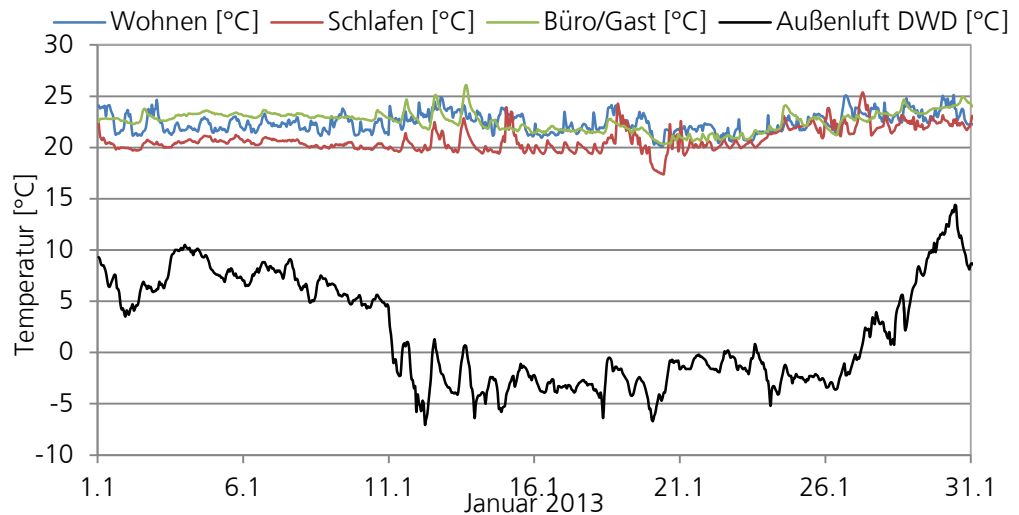


Bild 43:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Innenraumlufttemperatur im Monat Januar 2013.

Das Temperaturniveau liegt zwischen 21 und 23 °C, teilweise auch bei 25 °C und damit um 1 bis teilweise 5 K über der angesetzten Innenraumlufttemperatur von 20 °C gemäß der DIN V 18599. Dadurch erhöht sich der Heizenergieverbrauch gegenüber dem vorherberechneten Wert. Auch im 2. Messjahr, wie Bild 44 verdeutlicht, liegt mit 21 bis 25 °C eine höhere Raumlufttemperatur vor als nach DIN V 18599 vorgesehen.

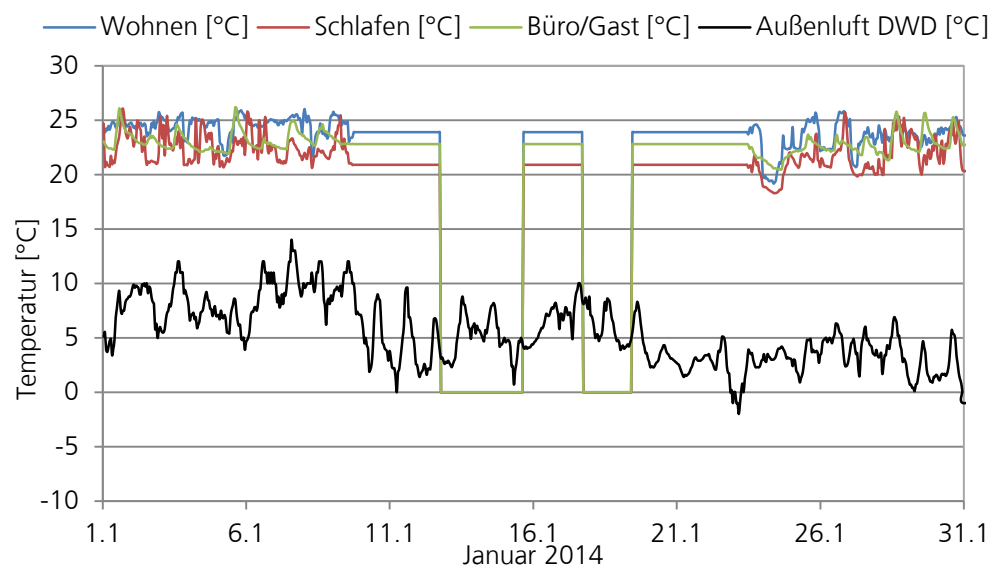


Bild 44:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Innenraumlufttemperatur im Monat Januar 2014.

In Bild 45 und Bild 46 sind die Temperaturverläufe der Lüftungsanlage, der Raumluft im Wohnraum sowie der Außenluft für den Monat Januar 2013 und drei kalte Tage im Januar (18. bis 20. Januar 2013) gezeigt.

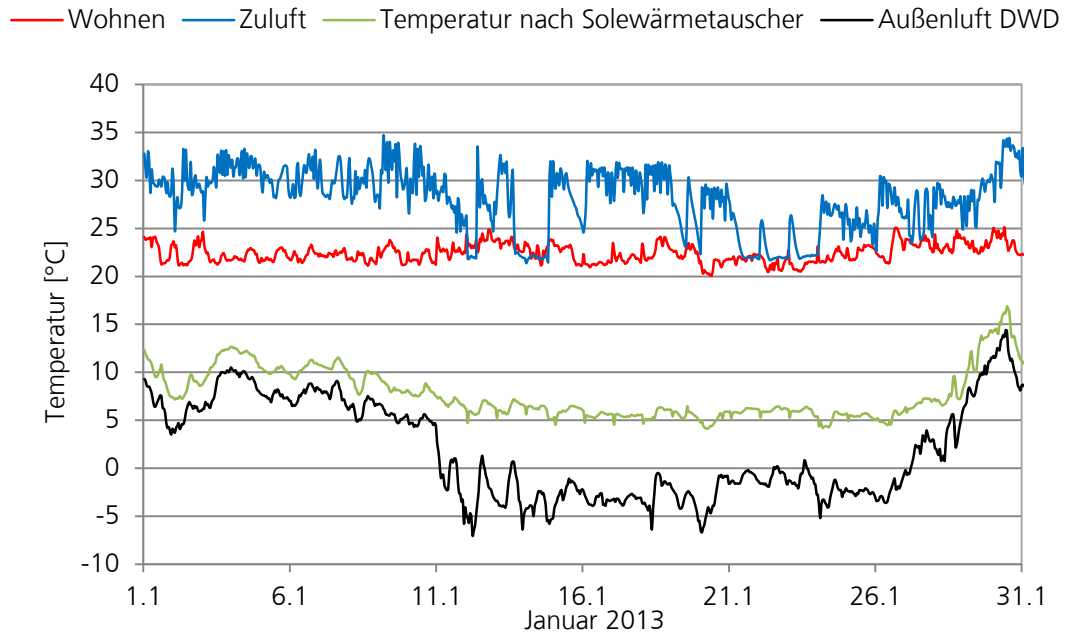


Bild 45:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außenlufttemperatur des DWD, der Temperatur nach dem Solewärmetauscher, der Zuluft- und Innenraumlufttemperatur im Monat Januar 2013.

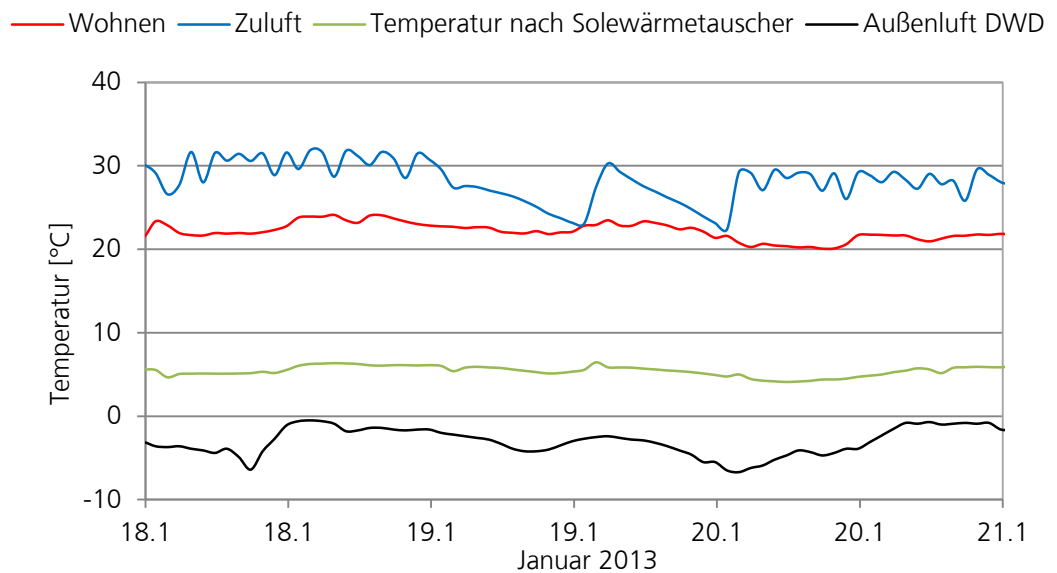


Bild 46:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außenlufttemperatur des DWD, der Temperatur nach dem Solewärmetauscher, der Zuluft- und Innenraumlufttemperatur für den 18. bis 20. Januar 2013.

Aus Bild 46 ist zu ersehen, dass die Zulufttemperatur ca. 10 K über der Raum-solltemperatur liegt. Ferner ist zu erkennen, dass durch den Solewärmetauscher die Außenlufttemperatur im Januar im Monatsmittel um über 5 K angehoben wird. Zur Reduzierung des Energieverbrauchs können die Raumluft und damit auch die Zuluft um 2 K abgesenkt werden.

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

7.1 Baukosten und laufende Kosten

Die Baukosten der Kostengruppen 300 und 400 sind in Tabelle 9 dargestellt. Es ergeben sich Bruttobaukosten bezogen auf die Nutzfläche A_N von 1.848 €/m² A_N . Eine Auskunft über die während der Messperiode aufgetretenen Energie- und Betriebskosten bzw. Einspeisevergütung liegen seitens der Firma Schwörer nicht vor.

Tabelle 9:
Bauwerkskosten der Kostengruppe KG 300 und KG 400.

Bauwerkskosten		
KG	Gewerk	Kosten brutto
310	Baugrube	6.000,-- €
320	Gründung	14.000,-- €
330	Außenwände	150.000,-- €
340	Innenwände	80.000,-- €
350	Decken	50.000,-- €
360	Dächer	35.000,-- €
300 Bauwerk - Baukonstruktion		335.000,-- €
410	Abwasser-, Wasser-, Gasan-lagen	17.000,-- €
420	Wärmeversorgungsanlagen	20.000,-- €
440	Starkstromanlagen	6.000,-- €
450	Fernmelde- und informati-onstechnische Anlagen	1.000,-- €
480	Gebäudeautomation	25.000,-- €
490	Indach PV-Anlage	45.000,-- €
400 Bauwerk – technische Anlagen		114.000,-- €
300 + 400 Summe		449.000,-- €

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

In der zweijährigen Messperiode erzielte das Gebäude einen Überschuss von 4 kWh (bzw. 440 kWh, wenn der versehentliche Betrieb der Heizung im Sommer nicht berücksichtigt wird) in der ersten Messperiode und 1.960 kWh in der zweiten Messperiode. Der prognostizierte Überschuss konnte jedoch nicht ganz erreicht werden.

Der Vergleich der gemessenen hausbezogenen Verbrauchswerte (ohne Beleuchtung und Haushaltsgeräte, gemäß Kapitel 6.2) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (ohne Beleuchtung und Haushaltsgeräte, gemäß Kapitel 3.4) zeigt deutliche Abweichungen. Es wurden 5.573 kWh Energie im 1. Messjahr und 5.420 kWh im 2. Messjahr verbraucht, gegenüber 2.627 kWh, die laut EnEV-Nachweis zum Betrieb der Heizung und der Bereitstellung des Trinkwarmwassers einschließlich der Hilfsenergien geplant waren. Der Verbrauch der Gebäudeautomation an der Hilfsenergie machte mit 76 % im 1. Messjahr und 74 % im 2. Messjahr einen hohen Anteil aus.

Obwohl das Außenklima im 2. Messjahr relativ mild war, wurde in beiden Monitoringperioden ein erhöhter Endenergieverbrauch aufgrund des erhöhten Temperaturniveaus in den Räumen registriert. Die Innenraumlufttemperatur war um 1 K bis 3 K höher als die angesetzte Innenraumlufttemperatur von 20 °C gemäß DIN V 18599. Im Bereich der Beleuchtung und der Haushaltsgeräte wurde gegenüber der Planung ein leicht höherer Energieverbrauch gemessen. Dies führt insgesamt im 1. Messjahr zu einem 44 % erhöhten Energieverbrauch: 7.406 kWh (Messung) anstelle 5.127 kWh (Planung). Im 2. Messjahr war der Energieverbrauch um 40 % erhöht: 7.155 kWh (Messung) anstelle 5.127 kWh (Planung).

Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (gemäß Kapitel 6.1) mit dem vorherberechneten Ertragswert (gemäß Kapitel 3.5) (7.410 kWh/a anstelle der prognostizierten 7.390 kWh/a) zeigt im 1. Messjahr eine gute Übereinstimmung. Im 2. Messjahr liegt der PV-Ertrag mit 9.115 kWh um 1.725 kWh über der Prognose nach DIN V 18599.

Aufgrund der Nutzung des Gebäudes als Musterhaus mit einem Ausstellungsbetrieb von Mittwoch bis Sonntag von 11:00 Uhr bis 18:00 Uhr zeigen sich Verschiebungen in den Energieverbräuchen zu den Prognosen. Die Nutzung des Trinkwarmwassers ist geringer, während der Bedarf an Beleuchtungsstrom infolge der Ausstellungsnutzung höher ausfällt als nach der Definition des Effizienzhauses Plus vorgesehen.

Der monatliche Autarkiegrad des PV-Stroms liegt zwischen 10 % und 70 %. Der Jahresmittelwert beträgt 40 %.

Die sogenannte Jahresarbeitszahl der Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Wärmepumpe (Verhältnis Nutzwärme zu Stromaufwand) beträgt näherungsweise 3,3. Sie ist aufgrund der Anordnung und Beeinflussung der Messsensorik als Näherungswert zu betrachten.

8.2 Verbesserungspotentiale

Die Analyse der Messungen ergab, dass im Bereich der Anlagentechnik noch Verbesserungspotentiale vorhanden sind. Ferner zeigte die kontinuierliche Messung der Raumlufttemperaturen, dass im Sommer in den Räumen teilweise hohe Temperaturen auftreten. Hiervon betroffen sind in besonderem Maße:

- Die Eigenstromnutzung des selbst generierten Photovoltaikstroms liegt außerhalb der Heizperiode von April bis September nur bei 24 %. Hier sollte der Einsatz von Speichermedien untersucht werden.
- Die mechanische Belüftung der Räume außerhalb der Heizperiode bewirkte im Zusammenspiel mit einem nicht ausreichenden Sonnenschutz das Aufheizen der Räume. Es sollte die Nutzung des außenliegenden Sonnenschutzes in Kombination mit einer natürlichen Fensterlüftung geprüft werden. Ferner sollte bei ganzjähriger mechanischer Belüftung der Sommerbypass aktiviert werden.
- Trotz der Nutzung des Gebäudes als Musterhaus war in der Heizperiode ein höheres Temperaturniveau in den Aufenthaltsräumen eingestellt als nach DIN V 18599 vorgesehen. Hier besteht Optimierungsbedarf bzw. Prüfungsbedarf hinsichtlich der Temperaturgrenze in Bezug auf den Nutzerkomfort.
- Die vor Ort gemessene, mittlere monatliche horizontale Globalstrahlung wich im 1. Messjahr sowohl positiv als auch negativ vom Normklima der EnEV 2009 ab. Bei einem durchschnittlichen meteorologischen Jahr wären unter Umständen zusätzliche Photovoltaikerträge erzielt worden, die zu einem weiteren Plus geführt hätten.
- Die Ergebnisse der ersten Betriebsjahre zeigen, dass bei hocheffizienten Häusern eine Monitoring- und Einregulierungsphase zwingend eingeplant werden muss. Dadurch können Optimierungen am Betrieb der Haustechnik durchgeführt werden um die planerisch ermittelten Kennwerte auch im praktischen Betrieb realisieren zu können.

9 Literatur

- [1] Fraunhofer IBP: Steckbrief Effizienzhaus Plus Plan 550 SchwörerHaus KG (Stand Februar 2015). Veröffentlicht auf <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/netzwerk/schwoerer-haus/>.
- [2] Schwörer: Energieeinsparnachweis nach der EnEV 2009 (Stand 18. Juni 2012), unveröffentlicht.

- [3] DIN V 18599:2007-02 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- [4] BMVBS: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand. Bonn, 26. Juli 2007.
- [5] ASTA: Technische Regeln für Arbeitsstätten, ASR A3.5 Ausgabe Juni 2010.

Anhang A

Tabelle 10:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV- Einspeisung	PV- Eigenverbrauch	Heizung + TWW	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushalts- geräte und sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Mrz 12	321	738	498	240	319	53	56	133	561
Apr 12	196	955	704	251	231	59	40	117	447
Mai 12	106	1.133	914	219	116	58	34	117	325
Jun 12	73	866	696	171	39	61	37	107	243
Jul 12	110	930	724	206	94	63	31	128	316
Aug 12	421	642	383	259	480	55	22	124	680
Sep 12	105	870	724	146	40	64	29	119	251
Okt 12	183	499	371	128	106	62	32	111	311
Nov 12	847	230	55	174	815	58	42	106	1.022
Dez 12	960	138	18	120	877	56	59	89	1.081
Jan 13	965	119	21	99	864	56	43	101	1.064
Feb 13	913	289	97	192	897	50	47	110	1.105
Summe	5.201	7.410	5.206	2.204	4.877	696	470	1.363	7.406

Tabelle 11:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV- Einspeisung	PV- Eigenverbrauch	Heizung + TWW	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushalts- geräte und sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Mrz 13	593	573	377	196	598	67	45	79	789
Apr 13	287	1.150	934	216	278	58	69	98	503
Mai 13	87	1.152	990	161	46	61	30	112	249
Jun 13	81	1.292	1.134	159	53	60	22	106	240
Jul 13	77	1.488	1.322	166	45	60	22	116	243
Aug 13	81	1.176	1.037	138	23	58	18	120	219
Sep 13	117	794	664	130	50	56	23	118	247
Okt 13	282	490	325	165	225	57	38	128	447
Nov 13	990	202	57	146	920	55	41	121	1.136
Dez 13	1.097	177	27	150	1.039	56	30	121	1.247
Jan 14	933	236	65	172	900	56	33	115	1.104
Feb 14	545	385	199	186	547	52	35	97	731
Summe	5.171	9.115	7.131	1.984	4.724	696	406	1.329	7.155

Anhang B

Tabelle 12:

Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG und OG, sowie Außenlufttemperatur DWD Station Köln-Bonn von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	Küche	Essen	Wohnen	Schlafen	Kind	Büro / Gast	DU-WC	Bad	DWD Köln-Bonn
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mrz 12	23,5	23,1	25,9	23,6	22,8	26,2	22,3	23,0	8,8
Apr 12	23,3	22,0	25,7	24,0	22,7	25,8	22,3	23,0	9,2
Mai 12	24,8	23,4	27,5	26,8	25,4	28,1	23,9	25,2	15,2
Jun 12	24,6	23,3	27,8	27,2	25,4	27,4	23,8	24,7	15,9
Jul 12	25,5	24,2	28,5	27,9	26,4	27,5	24,7	25,2	17,8
Aug 12	28,7	28,2	32,7	31,6	30,2	31,5	27,9	28,5	19,5
Sep 12	24,3	22,7	26,8	25,3	23,8	26,3	23,5	23,7	13,9
Okt 12	22,9	21,8	25,7	23,8	21,8	24,3	22,0	22,1	10,2
Nov 12	23,3	23,4	24,7	22,3	20,8	23,4	21,7	21,2	6,8
Dez 12	22,0	22,3	23,5	21,0	20,4	22,6	20,5	20,3	4,3
Jan 13	21,4	21,7	22,4	20,8	20,4	22,6	19,8	20,0	2,1
Feb 13	21,9	22,1	23,0	21,6	20,4	23,0	20,3	20,5	1,0
Mittelwert Heizperiode*	22,6	22,3	24,4	22,4	21,3	24,0	21,3	21,4	5,9

*Heizperiode März bis April 2012 und Oktober bis Februar 2013

Tabelle 13:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG und OG, sowie Außenlufttemperatur DWD Station Köln-Bonn von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	Küche	Essen	Wohnen	Schlafen	Kind	Büro / Gast	DU-WC	Bad	DWD Köln-Bonn
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mrz 13	22,7	21,9	24,5	22,1	21,0	24,2	21,2	21,5	2,4
Apr 13	23,3	22,1	25,1	22,8	22,1	25,3	22,0	22,7	9,5
Mai 13	24,1	22,6	25,5	24,1	23,9	26,8	23,3	24,3	12,2
Jun 13	25,1	23,8	26,9	25,9	25,7	27,9	24,3	25,8	16,4
Jul 13	25,6	24,4	29,1	25,9	25,3	26,9	24,8	25,4	20,2
Aug 13	26,6	25,1	29,2	28,1	27,2	28,7	25,8	26,0	18,5
Sep 13	24,2	22,8	26,3	24,8	24,1	26,2	23,4	23,5	14,6
Okt 13	23,7	22,6	25,9	24,2	23,1	25,6	22,8	23,4	12,2
Nov 13	22,8	22,9	23,8	22,7	21,6	23,4	21,4	21,5	5,7
Dez 13	22,7	23,0	23,9	21,9	21,3	22,8	21,2	20,9	5,6
Jan 14	22,7	22,8	24,0	21,6	21,3	22,9	21,3	21,1	5,4
Feb 14	22,4	22,7	24,5	22,1	21,8	23,8	21,0	21,4	5,4
Mittelwert Heizperiode*	22,9	22,6	24,5	22,5	21,7	24,0	21,5	21,8	22,9

*Heizperiode März bis April 2013 und Oktober 2013 bis Februar 2014