

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 13

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

Forschungsprogramm

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

Messperiode

Juni 2013 bis Mai 2015

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-11.4

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 180/2015

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

Durchgeführt im Auftrag von
WeberHaus 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 180/2015

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

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

Der Bericht umfasst

41 Seiten Text

12 Tabellen

44 Abbildungen

Hans Erhorn

Antje Bergmann

Michael Beckert

Johann Reiß

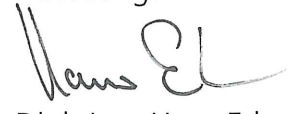
Stuttgart, 29. Juli 2015

Institutsleiter



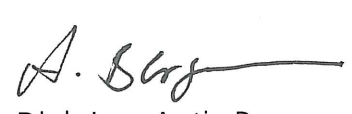
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Klaus Peter Sedlbauer

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	7
3.4	Anlagentechnik	8
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	9
3.6	Bewertung der Effizienz	10
4	Messkonzept	11
5	Meteorologische Randbedingungen	14
5.1	Solarstrahlung	14
5.2	Außenlufttemperaturen	15
5.3	Klimabereinigung	16
6	Messergebnisse	17
6.1	Stromertrag	17
6.2	Stromverbrauch	20
6.2.1	Stromverbrauch Heizung und Kühlung	21
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	25
6.3	Eigenstromnutzung und Autarkiegrad	30
6.4	Anlagenperformance	32
6.5	Innenraumtemperaturen Sommer	33
6.6	Innenraumtemperaturen Winter	35
7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	37
8	Bewertung	37
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	37
8.2	Verbesserungspotentiale	38
9	Literatur	39

1 Kurzfassung

Die Firma WeberHaus 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 Juni 2013 bis Mai 2015.

In der zweijährigen Messperiode konnte das Gebäude sowohl im 1. als auch im 2. Messjahr keinen Überschuss erzielen. Grund dafür waren die hohen Endenergieverbräuche für die Beleuchtung, die die Vorgaben des Effizienzhaus Plus-Standards aufgrund des Musterhausbetriebes um über 400 % überschritten haben. Ferner wurde das Gebäude während der Übergangszeit und der Sommermonate gekühlt, was in den Vorherberechnungen keine Berücksichtigung fand. Die Räume des Gebäudes verfügen über eine gute Raumluftqualität mit einem CO₂-Gehalt weit unter dem Grenzwert von 1.500 ppm. Zur Reduzierung des Energieverbrauchs der Lüftungsanlage können durch eine CO₂-Steuerung die Ventilatorlaufzeiten bzw. Volumenströme reduziert werden. Die Energieverbräuche im Gebäude lagen im Messzeitraum um rund 50 % höher als vorherberechnet. Aufgrund der Nutzung des Gebäudes als Musterhaus zeigen sich in den Energieverbräuchen Verschiebungen zu den Prognosen.

Für den Wechselrichter der Photovoltaikanlage wurden in beiden Messperioden Ausfallzeiten registriert, so dass der PV-Ertrag unter Umständen hätte höher ausfallen können.

Die Erfassung und Übertragung der Monitoringdaten war geprägt von zahlreichen Messausfallzeiten. Hier besteht im Bereich der Installation der Messtechnik und Übertragung der Messdaten Optimierungsbedarf.

Die Ergebnisse der 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

WeberHaus reagiert proaktiv auf die Herausforderungen des zukunftsorientierten energiesparenden Bauens. Im Vorgriff auf die künftigen Anforderungen (bedingt durch die Europäische Gebäuderichtlinie (EPBD)) bietet WeberHaus bereits ab 2011 Niedrigstenergiegebäude bis hin zu Plusenergiegebäuden am Markt an. Die Konzeption und Planung von hocheffizienten Gebäuden erfordert ein umfangreiches Wissen über das Zusammenwirken von Architektur, Bau-, Heiz- und Lüftungstechnik und erneuerbaren Energiesystemen.

WeberHaus 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	284,5 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	158,5 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	741,7 m ³
Hüllflächenfaktor A / V	0,72 m ⁻¹
Gebäudenutzfläche A _N (nach EnEV)	237,3 m ²
Herstellungskosten	238.000 €
Mehrkosten Effizienzhaus Plus-Standard	45.000 €

3.2 Architektur

Das Weber Haus „Generation 5.0“ in Köln präsentiert sich, wie Bild 1 zeigt, als Rechteckhaus mit versetztem Pultdach und giebelseitigem Eingang. Im Erdgeschoss befindet sich der großzügige Wohn-Essbereich neben einer halboffenen modernen Küche, die durch eine praktische Speisekammer ergänzt wird. Ein Arbeitszimmer sowie Badezimmer mit Dusche und WC und der Dielenbereich komplettieren die untere Ebene. Die Räume im Dachgeschoss betritt man über eine Empore, von der aus sowohl das Elternschlafzimmer und die beiden Kinderzimmer als auch das zweite Badezimmer zugänglich sind. Vor dem Wohnzimmer lädt eine Terrasse zum Entspannen im Freien ein, während im oberen Stock eine Loggia zur Verfügung steht. Im teilunterkellerten Bereich sind die Haustechnikzentrale und ein Hauswirtschaftsraum untergebracht.



Bild 1:
Ansicht des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus von Süden.

Die Anordnung der Räume im Unter-, Erd- und Obergeschoss zeigen Bild 2 bis Bild 4.

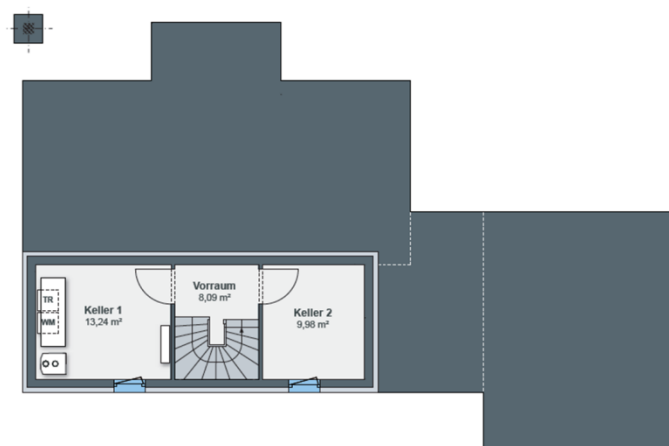


Bild 2:
Untergeschossgrundriss Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.



Bild 3:
Erdgeschossgrundriss Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.

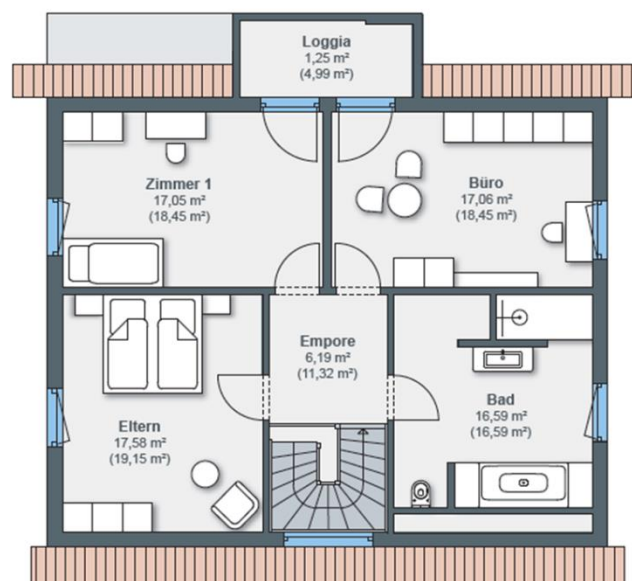


Bild 4:
Obergeschossgrundriss Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.

3.3 Wärmeschutz

Die Transmissionswärmeverluste werden durch die U-Werte der Gebäudehülle, die in Tabelle 2 aufgeführt sind, sowie eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion minimiert. Die ca. 30 cm starke Fachwerkwand ist außenseitig mit einem 10 cm dicken Wärmedämm-Verbundsystem versehen. Die Fenster sind mit einer 3-Scheiben-Isolierverglasung mit einem U_g -Wert von $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgeführt. Die Fenster erreichen einen U-Wert von $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das versetzte Pultdach erhält eine insgesamt 27,5 cm dicke Dämmschicht. Auf der massiven Bodenplatte ist ein schwimmender Estrich mit einer 10 cm dicken Dämmschicht aufgebracht, unter der Betonplatte befindet sich eine 12 cm dicke Perimeterdämmung.

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

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Außenwand (von innen nach außen)	Gipskarton	9,5	0,15
	Dampfbremse	-	
	Holzwerkstoffplatte	16	
	Dämmung WLG 035 zwischen Fachwerk	160	
	Holzfaserdämmplatte	100	
	Putz auf Grundierung und Armierung	3	
Fenster	Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 48 %)	-	0,90
Dach (von oben nach unten)	Dachdeckung	-	0,15
	Lattung	30	
	Konterlattung	30	
	Diffusionsoffene Unterspannbahn	-	
	Holzfaserdämmplatte WLG045	35	
	Zwischensparrendämmung WLG035	240	
	Dampfbremse	-	
	Lattung	50	
	Gipskarton-Beplankung	12,5	
Bodenplatte (von oben nach unten)	Fliesen	12	0,14
	Estrich	48	
	PE-Folie	-	
	Polystyrolhartschaum WLG035	30	
	Polyurethanhartschaum WLG025	70	
	Beton	200	
	Perimeterdämmung	120	

3.4 Anlagentechnik

Zur Heizung und zur Gewährleistung eines komfortablen Raumklimas kommt die sogenannte Frischluft-Wärmetechnik (kombiniertes Abluft/Luft-Wärmepumpensystem) zum Einsatz. Der Frischluftventilator im Zentralgerät saugt von außen Frischluft an, die im Gerät durch einen Pollenfilter gereinigt und dann in die Wohnräume geleitet wird. Gleichzeitig entzieht der Abluftventilator die verbrauchte Luft und führt diese nach außen. Die darin enthaltene Wärme wird entnommen und über den Wärmetauscher zu bis zu 70% auf die zugeführte Frischluft übertragen. Die mit dem Lüftungszentralgerät gekoppelte Luft/Wasser-Wärmepumpe bereitet das Warmwasser, das in einem 295 l fassenden Brauchwasserspeicher zwischengespeichert werden kann. Eine Übersichtsskizze der Konzeption der Haustechnik zeigt Bild 5.

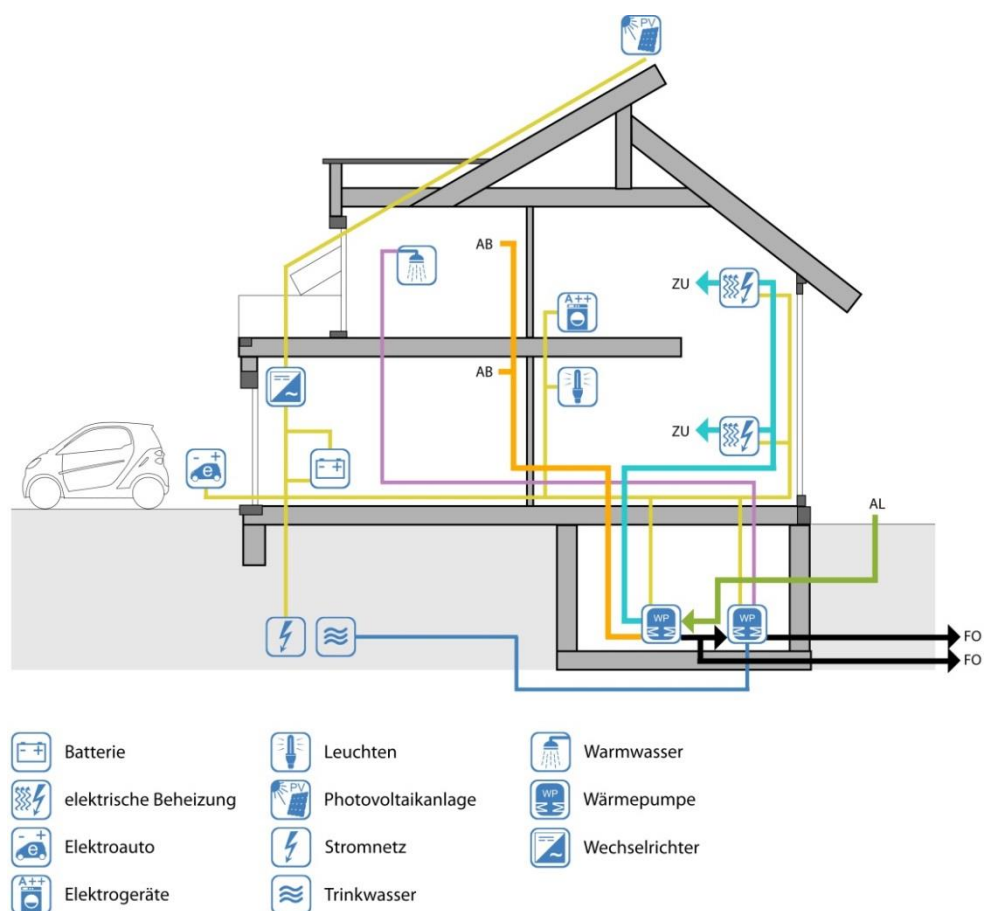


Bild 5:
Haustechnikkonzept Effizienzhaus Plus Generation 5.0 Weberhaus.

In den Wohnräumen werden Zuluftventile bzw. Zuluftgitter nach Planungsvorgabe in der Decke oder Wand eingebaut. In Bad, Küche und WC ist ein Abluftgitter eingebaut. Die Hauptregelung der Anlage erfolgt über ein Display im Wohnbereich. In den einzelnen Räumen erfolgt die Regelung jeweils mit einem Thermostat. Die elektrische Nachheizung ist über eine elektrische Fußbodenheizung in Bädern und WCs möglich.

Die Photovoltaikanlage auf dem Dach mit einer Größe von 60,48 m² und einer Leistung von 8,82 kW_p liefert rechnerisch einen Ertrag von 8.100 kWh/a.

Das Energiemanagement wird durch ein innovatives Konzept geregelt. Überschüssige Energie aus der Photovoltaikanlage wird gespeichert bzw. den Energieverbrauchern im Haus zugeführt. Übersteigt der Energiebedarf die gespeicherte Menge, wird die Differenz aus dem öffentlichen Netz aufgefüllt. Auf diese Weise entsteht ein Strom-Mix (PV-Strom, Batteriestrom und Fremdbezug aus dem öffentlichen Netz).

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 6.034 kWh/a auf. Davon entfallen für den Betrieb der Wärmepumpe einschließlich Lüftungsanlage zur Beheizung, Warmwasserbereitung und Lüftung 3.534 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.

Für das Gebäude war in der Planung keine Kühlung vorgesehen

Tabelle 3:
Vorherberechnung des Energiebedarfs des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus.

WeberHaus Generation 5.0	Heizung	Warmwasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt und Kochen	Sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	4.456	(2.278)*	-	-	-	-	-
Wärme- / Kälteabgabe der Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	6.009	(7.745)*	-	-	-	-	-
Endenergie $Q_{x,f}$ [kWh/a]	1.958	(854)*	-	-	375	1.625	500
Hilfsenergie $Q_{x,f,aux}$ [kWh/a]	213	(107)*	402	-	-	-	-
Strombedarf [kWh/a]	2.573 (3.534)*			-	375	1.625	500
	Gesamt 5.073 (6.034)*						

* Das Gebäude befindet sich in einem Musterhausbetrieb, der keine Trinkwarmwasserbereitung vorsieht. Es werden im Folgenden aus der DIN V 18599-Berechnung nur die Energieanteile für Heizen und Lüftung einschließlich Hilfsenergie berücksichtigt.

Die Photovoltaikanlage soll gemäß Vorherberechnung jährlich 8.100 kWh Strom erzeugen. Die Überschüsse zwischen Endenergiebedarf (5.073 kWh) und erzeugtem Strom (8.100 kWh) in Höhe von 3.027 kWh/a stehen der Elektromobilität zur Verfügung oder 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 (Wärmebedarf in den Räumen)
- Erzeugerabgabe (Energieabgabe der Wärmeerzeuger an das Verteilnetz)
- Endenergie Erzeuger (Energiebedarf der Wärmeerzeuger)
- Endenergie Haustechnik (Energiebedarf für Wärmeerzeugung 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 237,3 m² bezogen.

Tabelle 4:
Vorherberechnung der Energie des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus.

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	spez. Energie [kWh/m ² a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung und Trinkwarmwasser	4.456	18,8
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	6.009	25,3
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	1.958	8,3
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	2.573	10,8
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	6.690	28,2

In den Räumen tritt ein Nutzwärmebedarf von 4.456 kWh/a für Heizen auf. Die Verteilung verursacht Verluste in Höhe von 1.553 kWh/a. Um diese Wärme bereitzustellen, benötigt der Erzeuger (Wärmepumpe) 1.958 kWh/a Strom. Die

Hilfsenergie für den Betrieb der Anlagentechnik beträgt ergänzend 615 kWh/a. Der Primärenergieaufwand für die gesamte Haustechnik beträgt somit 6.690 kWh/a. Daraus lassen sich die in Tabelle 5 aufgeführten Aufwands- / Arbeitszahlen ableiten.

Tabelle 5:
Aufwands- / Arbeitszahlen der Vorherberechnung des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus.

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,3
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,33
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,58
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,73
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	3,07
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	1,50

4 Messkonzept

Das Messkonzept zur messtechnischen Validierung des Gebäudes wurde in Zusammenarbeit mit WeberHaus 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 6, durch die Messkonfiguration Elektroversorgung erfasst.

ELEKTROVERSORGUNG

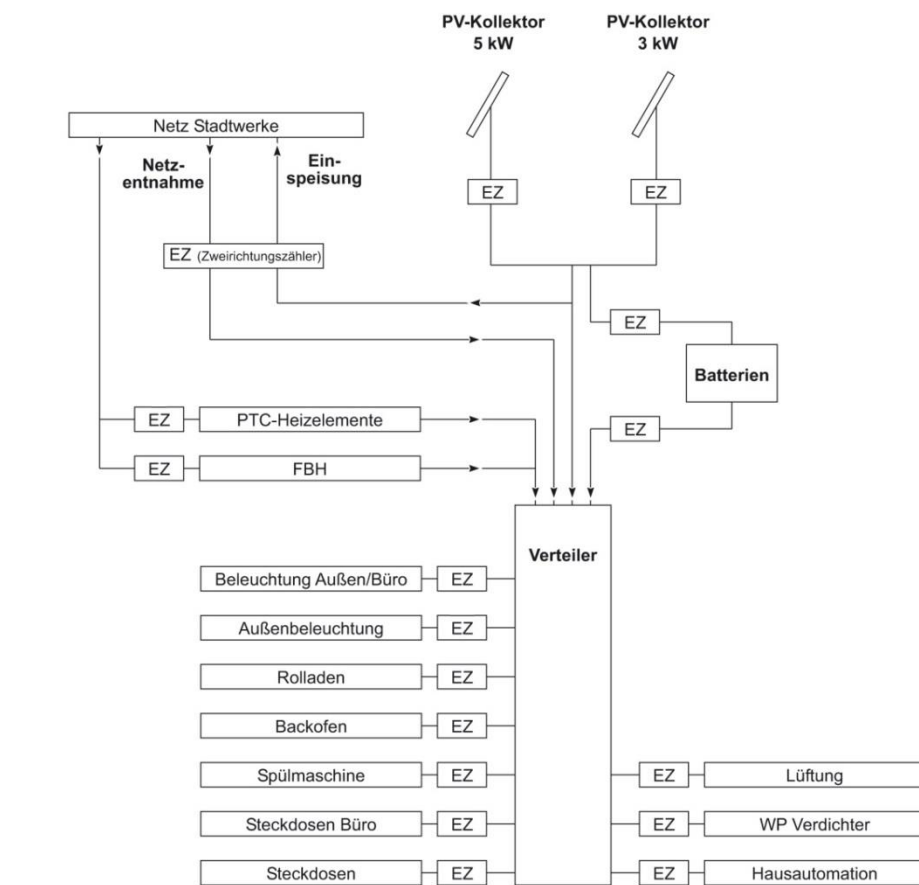


Bild 6:
Messkonfiguration Elektroversorgung Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.

Auf Basis der Planung umfasst die Messkonfiguration der Wärmeversorgung gemäß Bild 7 die Wärmemenge, die die Luft/Wasser-Wärmepumpe an den Brauchwasserspeicher für die Erwärmung des Trinkwarmwassers abgibt. Das Trinkwarmwasser wurde nur in der Garage, die als Büro genutzt wird, abgenommen und wird bei der weiteren Bilanzierung nicht berücksichtigt. Ein Wärmemengenzähler zur Erfassung der Trinkwarmwasserwärme wurde nicht eingebaut. Zur Bestimmung der Wärmemenge, die die Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Luft/Luft-Wärmepumpe an das Gebäude abgibt, 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.

WÄRMEVERSORGUNG

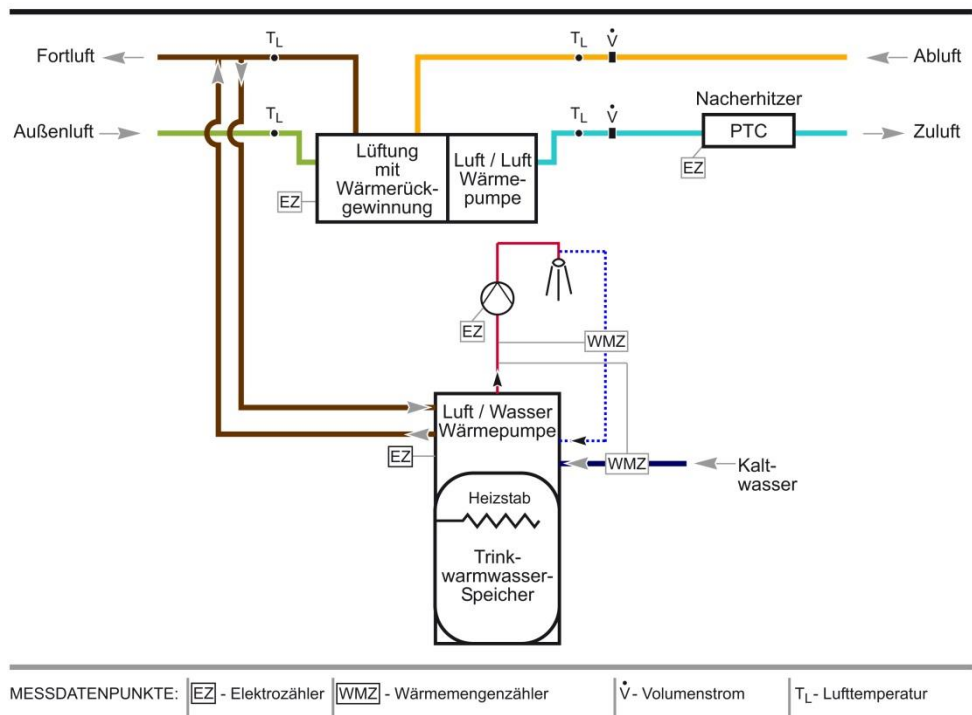


Bild 7:
Messkonfiguration Wärmeversorgung Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.

Die Lüftungsanlage mit integrierter Wärmepumpe ist in Bild 8 gezeigt.



Bild 8:
Zentrallüftungsgerät mit integrierter Luft/Luft-Wärmepumpe im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.

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 dem Referenzklima gegenübergestellt. Am Gebäude selber wurde nur die Außenlufttemperatur gemessen. Es wird daher für den Messzeitraum von Juni 2013 bis Mai 2015 auf meteorologische Daten, die an einem Gebäude der FertighausWelt in Köln-Frechen gemessen wurden, sowie auf die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der Station Euskirchen zurückgegriffen. Diese werden mit den Klimadaten des Referenzklimas, das der EnEV 2009-Berechnung zu Grunde liegt, verglichen.

5.1 Solarstrahlung

Der Ertrag der Photovoltaikanlage ist maßgeblich von der Strahlungsintensität der Solarstrahlung abhängig. Die im Monitoringzeitraum aufgezeichneten monatlichen Strahlungsintensitäten der Wetterstation eines Musterhauses der FertighausWelt in Köln-Frechen und des DWD in Euskirchen sowie die Werte des Referenzklimas nach EnEV 2009 sind für die beiden Messjahre in Bild 9 und Bild 10 gezeigt.

Für das 1. Messjahr zeigen sich bis auf den Juni 2013 und März sowie Mai 2014 gute Übereinstimmungen zwischen gemessenen Werten und dem Referenzklima. Im Juni 2013 war die Strahlungsintensität geringer als der Referenzwert und im März 2014 höher.

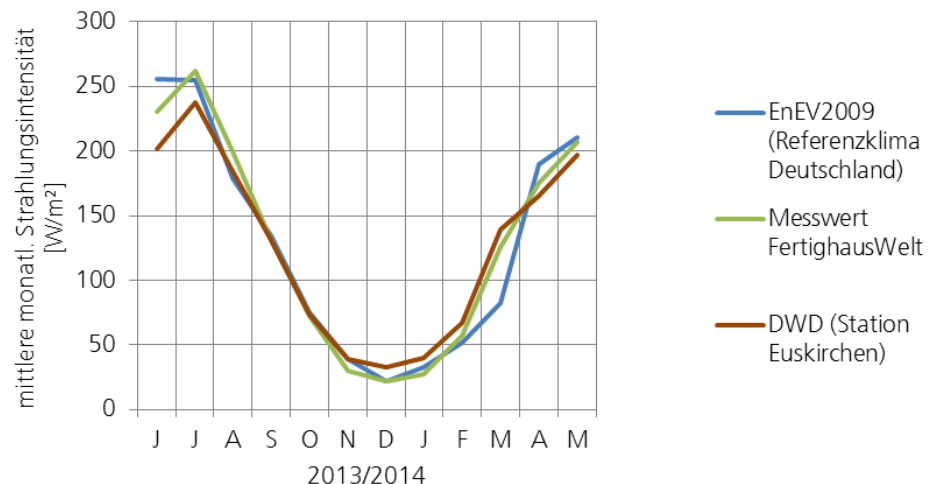


Bild 9: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

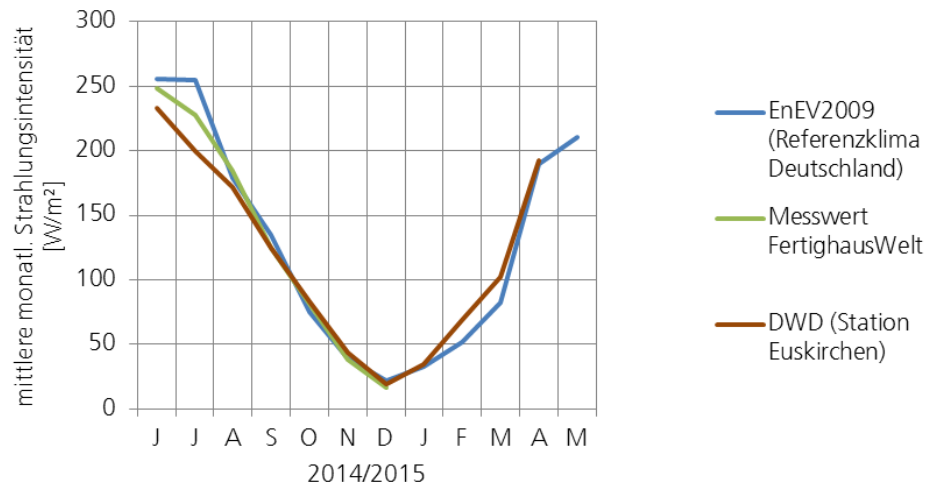


Bild 10: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

In der 2. Messperiode sind im Sommer 2014 im Juni und Juli geringere Strahlungsintensitäten gegenüber dem Referenzklima zu verzeichnen. Im Frühjahr 2015, im Februar und März, sind die gemessenen Wert etwas höher als die Vorgabe des Referenzklimas.

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

5.2 Außenlufttemperaturen

Die am Gebäude gemessenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen sowie die der Wetterstation Euskirchen und die Werte des Referenzklimas sind für die 2 Messjahre in Bild 11 und Bild 12 gezeigt.

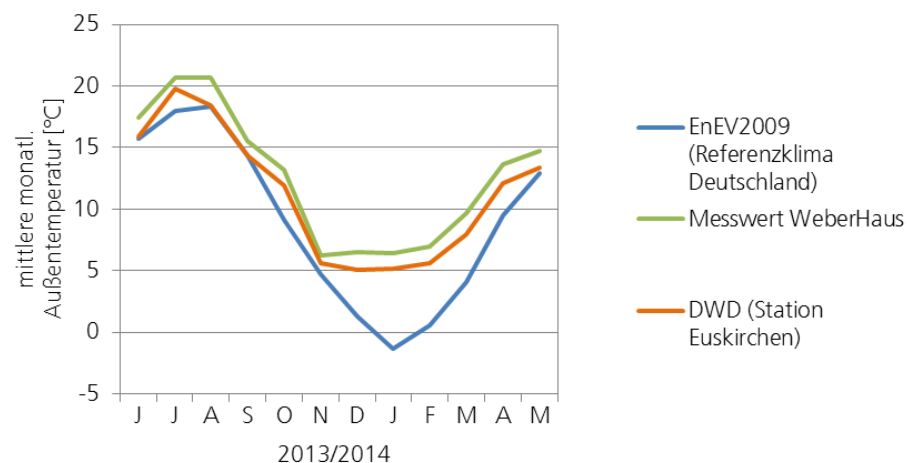


Bild 11: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

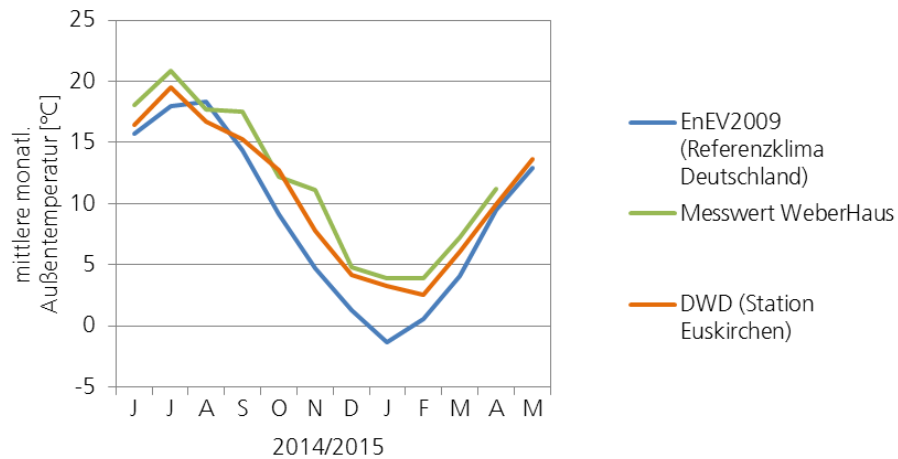


Bild 12: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

Für beide Messjahre zeigen die am Haus gemessenen Daten geringfügig bis auffällig höhere Werte als die des DWD, mit einer mittleren Abweichung in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) von +5 K. Da für die im Gebäude aufgezeichneten Daten in Teilbereichen Messausfälle registriert worden sind, werden für die weiteren Betrachtungen die Wetterdaten des DWD am Standort Euskirchen herangezogen.

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 Juni 2013 bis Mai 2014 (1. Messperiode)	2.394
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen Juni 2014 bis Mai 2015 (2. Messperiode)	2.669
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen für das langjährige Mittel (1970 bis 2014)	2.890
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Das Wetter war sowohl während der 1. Messperiode als auch der 2. Messperiode wärmer als am Standort Köln-Frechen im langjährigen Mittel üblich und wesentlich wärmer als unter mittleren deutschen Klimaverhältnissen üblich. Es ergeben sich daraus folgende Klimafaktoren:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Köln-Frechen:
 $KF = 2.890 \text{ Kd} / 2.394 \text{ Kd} = 1,21$ (1. Messjahr)
 $KF = 2.890 \text{ Kd} / 2.669 \text{ Kd} = 1,08$ (2. Messjahr)
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.394 \text{ Kd} = 1,50$ (1. Messjahr)
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.669 \text{ Kd} = 1,35$ (2. Messjahr)

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 1,21 bzw. 1,08 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 1,50 bzw. 1,35 multipliziert werden.

6 Messergebnisse

Im Gebäude wurde bereits im Dezember 2012 mit der Messwerterfassung begonnen. Die ersten Monate des Monitorings waren durch Messausfälle, noch fehlende Messsensoren und Probleme mit der Messdatenerfassung und Messdatenübertragung gekennzeichnet. Nach einer Einregulierungsphase von 6 Monaten konnte mit einer relativ detaillierten und zuverlässigen Messwerterfassung begonnen werden. Die PTC-Nacherhitzer wurden während des Monitoringzeitraums nicht betrieben. Im Folgenden sind die Ergebnisse der zweijährigen Monitoringphase von Juni 2013 bis Mai 2015 dargestellt. Auch hier traten in Teilbereichen Datenverluste auf.

6.1 Stromertrag

Bild 13 zeigt die vor Ort gemessenen monatlichen Erträge der Photovoltaikanlage sowie die gemessene mittlere Strahlungsintensität an der Wetterstation des DWD in Euskirchen und die Vorgaben nach EnEV 2009 für das 1. Messjahr. Gemäß der Berechnungen nach EnEV 2009 liefert die Photovoltaikanlage einen Ertrag von 8.100 kWh pro Jahr. Im Messzeitraum von Juni 2013 bis Mai 2014 hat die Anlage einen geringfügig höheren Ertrag (209 kWh) als vorherberechnet, nämlich 8.309 kWh, erzeugt.

Auffällig war die Abweichung einzelner Monatserträge trotz der guten Übereinstimmung der Gesamterträge. Die mittlere gemessene Strahlungsintensität im Jahr 2013/2014 der Wetterstation Euskirchen stimmt relativ gut mit der des vorgegebenen Referenzklimas nach EnEV 2009 (Referenzklima Deutschland) überein. In den Monaten September 2013, November 2013 bis Januar 2014 sowie März und April 2014 konnte die PV-Anlage einen höheren PV-Ertrag produzieren als vorherberechnet. Für die Monate Oktober 2013 und Mai 2014

ist der PV-Ertrag trotz gleicher Strahlungsintensität wie die des Referenzklimas viel geringer als vorherberechnet. Hier hatte die PV-Anlage Ausfälle des Wechselrichters zu verzeichnen, so dass bei Normalbetrieb mit einem höheren PV-Ertrag zu rechnen gewesen wäre, der ungefähr, bei Ansatz der prognostizierten Werte, eine Größe von 9.277 kWh/a gehabt hätte.

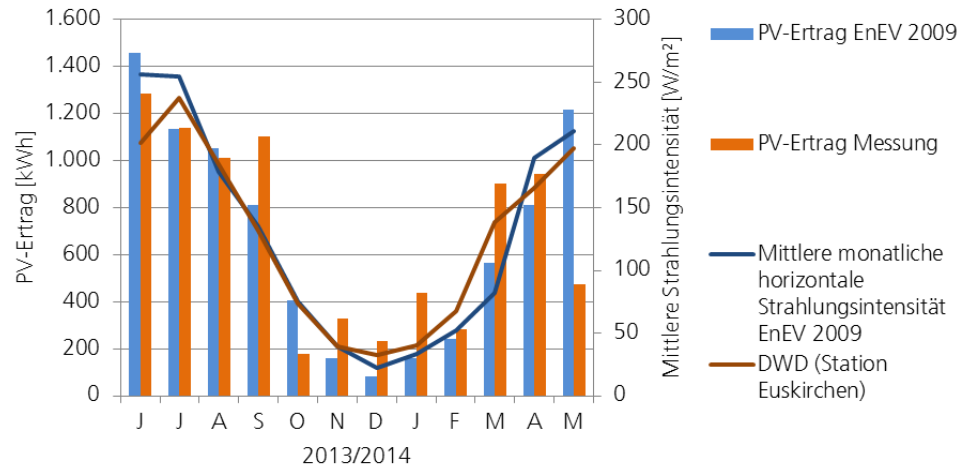


Bild 13: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

Im zweiten Messjahr sind die PV-Erträge im Juni und Juli 2014, wie Bild 14 zeigt, aufgrund der geringeren mittleren Strahlungsintensitäten geringer als die prognostizierten Werte. Im Juni 2014 war zudem der Wechselrichter kurzzeitig ausgefallen. Auffallend sind die in den übrigen Monaten des Jahres höheren bis auffallend hohen (Februar 2015) Erträge der PV-Anlage trotz gleicher Strahlungsintensität wie die der Prognose. Insgesamt lieferte die PV-Anlage 8.915 kWh, das sind 606 kWh mehr als prognostiziert. Hätten die Wechselrichter ohne Ausfälle gearbeitet, hätte der PV-Ertrag unter Umständen eine Größe von 9.261 kWh erreichen können.

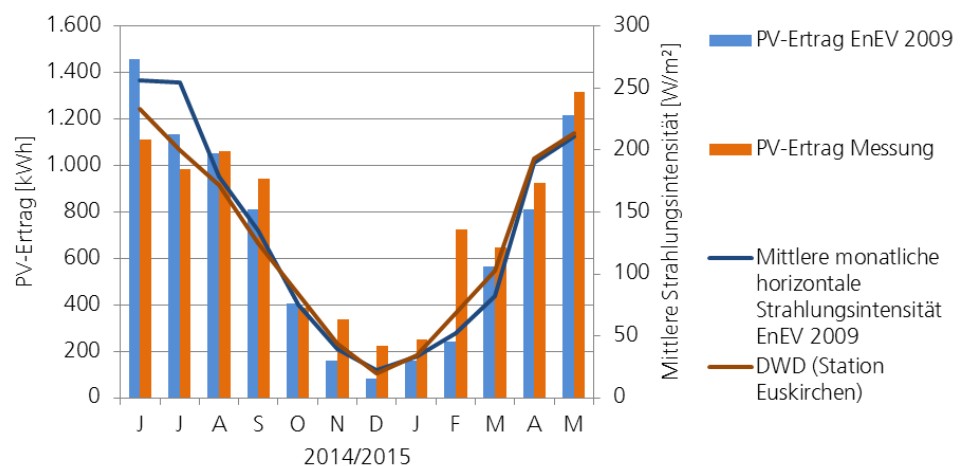


Bild 14: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

Den spezifischen, auf die Photovoltaikfläche von 60,48 m² bezogenen monatlichen Stromertrag zeigen Bild 15 für das 1. Messjahr und Bild 16 für das 2. Messjahr. Er beträgt im Mittel im 1. Messjahr 11,4 kWh/m²_{PV} und 12,3 kWh/m²_{PV} im 2. Messjahr.

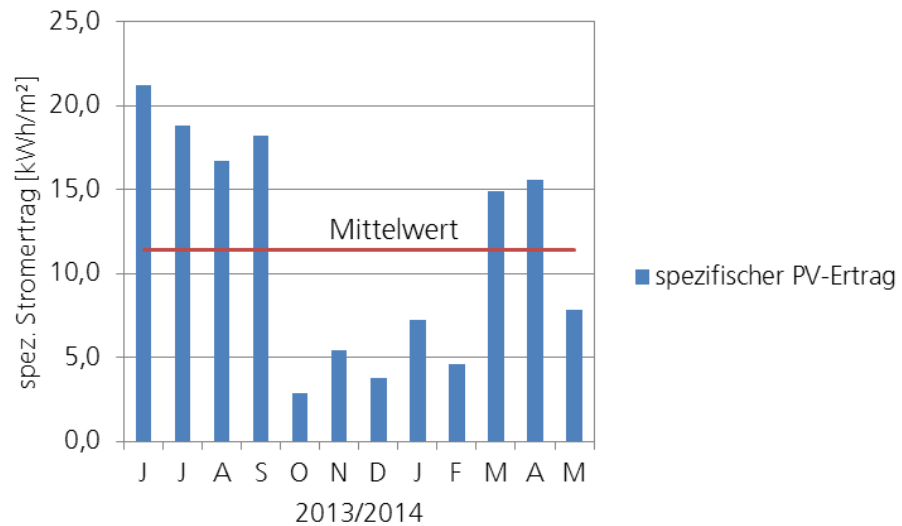


Bild 15:
spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag der PV-Module auf dem Nord- und Süddach im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

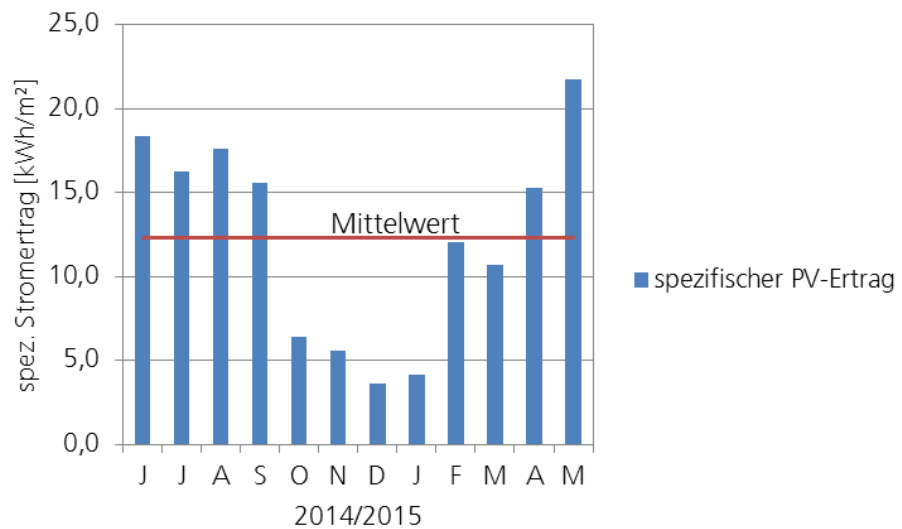


Bild 16:
spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag der PV-Module auf dem Nord- und Süddach im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

6.2 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch (Hausverbrauch) im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 von WeberHaus setzt sich aus den Anteilen Heizung (bzw. Kühlung), Beleuchtung, Hilfsenergie Anlagentechnik (einschl. Hausautomation) und Elektrogeräte einschließlich Sonstiges zusammen. In dem Gebäude wurde aufgrund des Musterhausbetriebes kein Trinkwarmwasser erzeugt. Die monatlichen Summen für das 1. Messjahr sind in Bild 17 und für das 2. Messjahr in Bild 18 dargestellt.

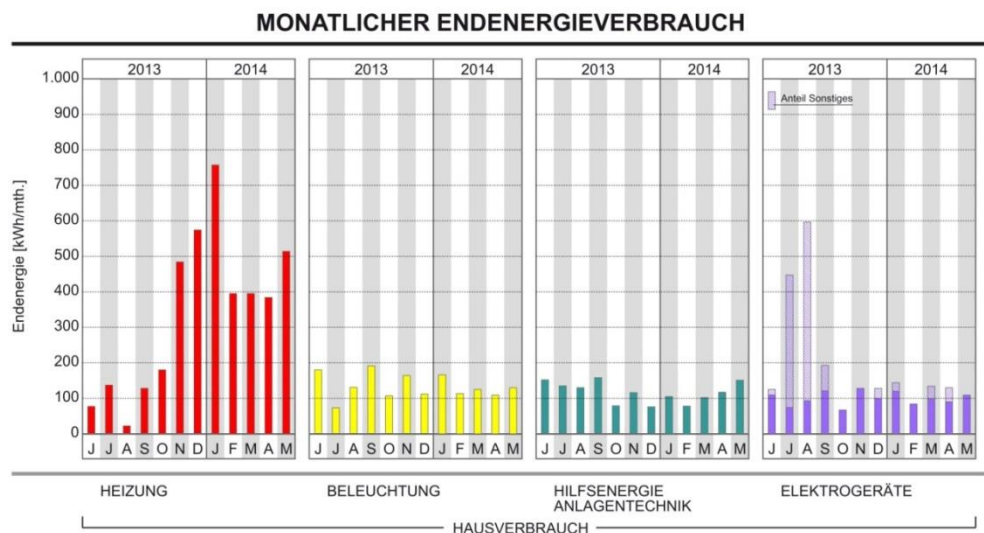


Bild 17: gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.

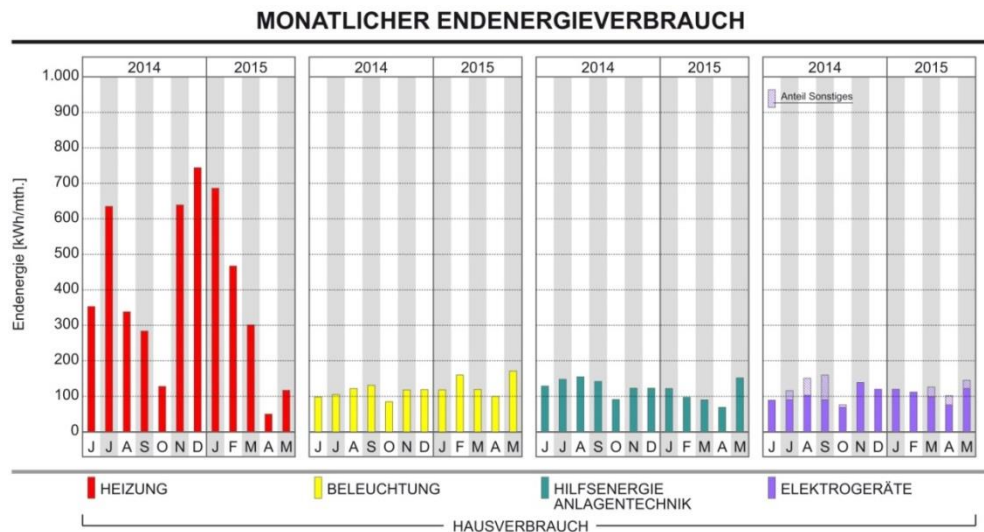


Bild 18: gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus.

Die numerischen Werte der monatlichen Endenergieverbräuche sind in Anhang A in Tabelle 9 und Tabelle 10 zusammengefasst. Für den Betrieb des Hauses wurden in den beiden Messperioden die Energieverbräuche gemäß Tabelle 7 registriert.

Tabelle 7:
Endenergieverbrauch des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014 und Juni 2014 bis Mai 2015.

Messjahr	Endenergieverbrauch				
	Heizung und Kühlung	Beleuchtung	Hilfsenergie, Lüftung und Gebäudeautomation	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges	Summe
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
2013/2014	4.040	1.594	1.515	2.258	9.406
2014/2015	4.747	1.451	1.471	1.444	9.113

6.2.1 Stromverbrauch Heizung und Kühlung

Bild 19 zeigt den monatlichen Stromverbrauch für die Heizung und Kühlung durch den Betrieb der Luft/Luft-Wärmepumpe und der elektrischen Fußbodenheizung. Über das Jahr 2013/2014 wurden die folgenden Verbräuche gemessen:

- Luft/Luft-Wärmepumpe: 2.538 kWh
- elektrische Fußbodenheizung: 1.502 kWh

Die Wärmepumpe wird im Winter zum Heizen und im Sommer zum Kühlen verwendet. Die ergänzende elektrische Fußbodenheizung zeigt ganzjährig einen Energieverbrauch, auffällig ist der lange Betrieb bis in den Mai.

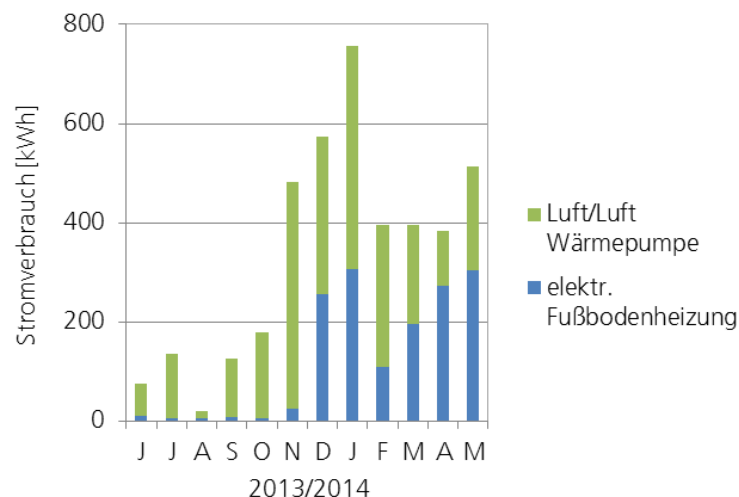


Bild 19:
Stromverbrauch Heizen und Kühlen im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

In der 2. Messperiode zeigt sich ein erhöhter Betrieb der Wärmepumpe während der Sommermonate, hier wird das Gebäude aktiv gekühlt. Auffällig ist der

ganzjährige Betrieb der elektrischen Fußbodenheizung. Die Verbräuche für die Wärmepumpe und die elektrische Fußbodenheizung teilen sich, wie in Bild 20 gezeigt, auf in:

- Luft/Luft-Wärmepumpe: 4.154 kWh
- elektrische Fußbodenheizung: 593 kWh

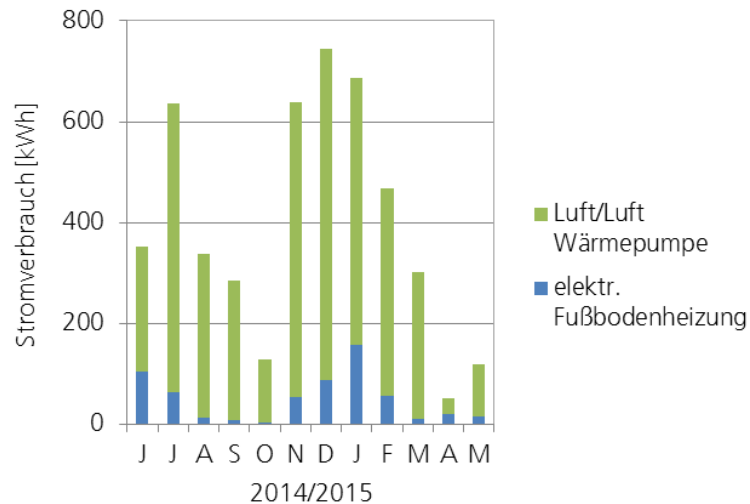


Bild 20: Stromverbrauch Heizen und Kühlen im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

6.2.2 Stromverbrauch Beleuchtung

Der Jahresstromverbrauch für die Beleuchtung hat im 1. Messjahr eine Größe von 1.594 kWh/a und im 2. Messjahr von 1.451 kWh/a. Das sind 425 % bzw. 390 % mehr als die Vorgabe nach Effizienzhaus Plus-Standard von 375 kWh/a. Bild 21 zeigt die monatlichen Verläufe für 2013/2014 sowie die vorherberechneten Werte gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus-Standard. In Bild 22 sind die monatlichen Messwerte für den Messzeitraum 2014/2015 dargestellt.

Der überaus hohe Energieverbrauch für die Beleuchtung ist auf die Nutzung des Gebäudes als Musterhaus, das aus Sicherheitsgründen und zu Werbezwecken auch nachts beleuchtet ist, zurückzuführen. Dennoch besteht hier ein enormes Einsparpotential.

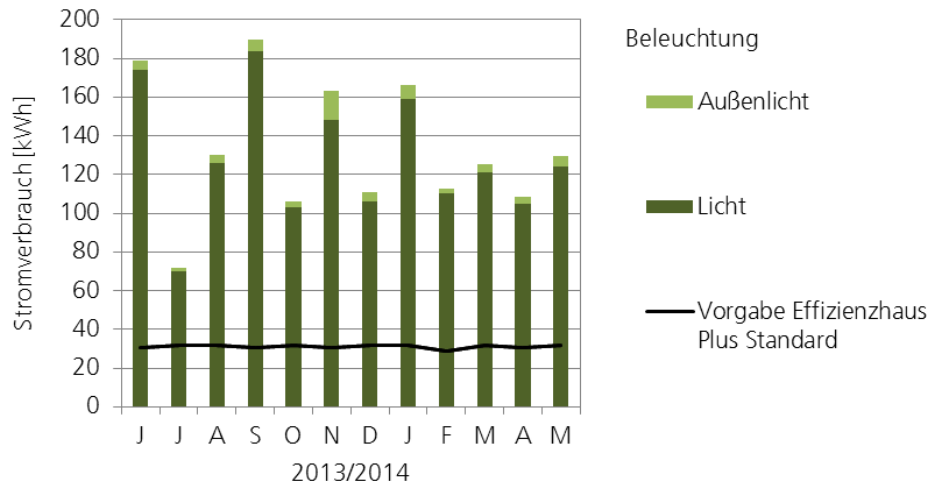


Bild 21:
Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

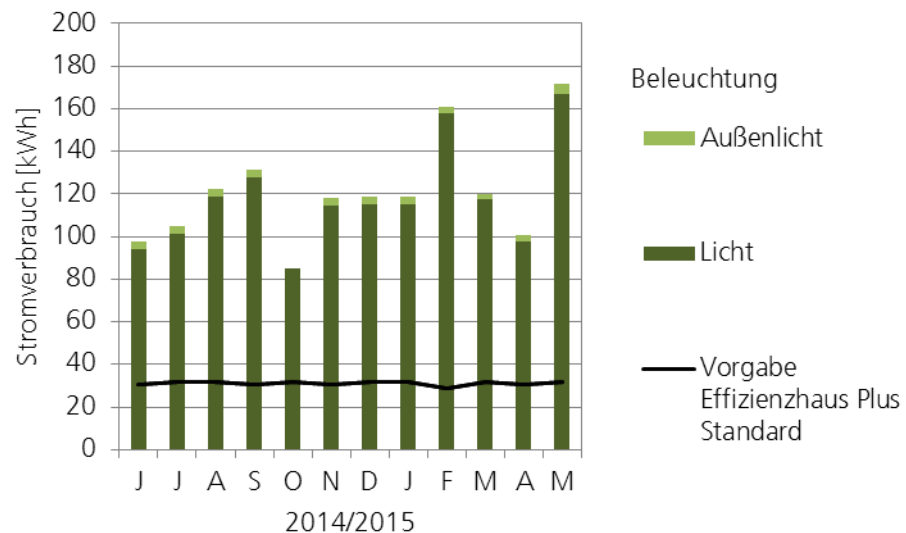


Bild 22:
Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

6.2.3 Stromverbrauch Hilfsenergie

Der Endenergieverbrauch für die Hilfsenergie wird in die Hausautomation, die den Server und die Regelung der Rollendensteuerung beinhaltet, sowie den Betrieb der Ventilatoren der Lüftungsanlage und den Batterieverlust unterteilt. Die Jahreswerte für den Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014 ergeben sich zu 269 kWh/a für die Hausautomation und 1.246 kWh/a für Lüftung und Batterieverlust. Damit beträgt der Anteil der Gebäudeautomation an der Hilfsenergie ca. 17 % und am gesamten Hausverbrauch 3 %. Die monatlichen Verläufe sind in Bild 23 dargestellt.

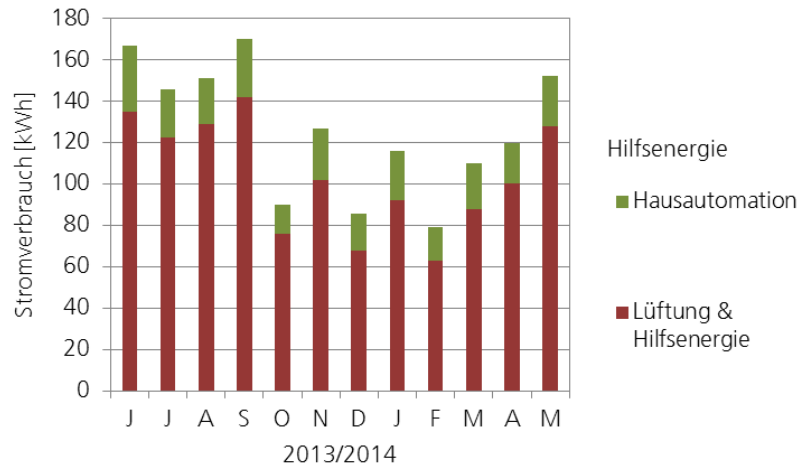


Bild 23:
Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

Im 2. Messjahr betrug der gesamte Endenergiebedarf für die Hilfsenergie, wie in Bild 24 gezeigt, 1.471 kWh/a. Er teilte sich zu 1.227 kWh/a auf die Lüftungsanlage und Batterieverlust und zu 244 kWh/a auf die Hausautomation auf. Damit wurden 17 % der Hilfsenergie für die Gebäudeautomation verwendet, das entspricht 3 % des gesamten Hausverbrauchs.

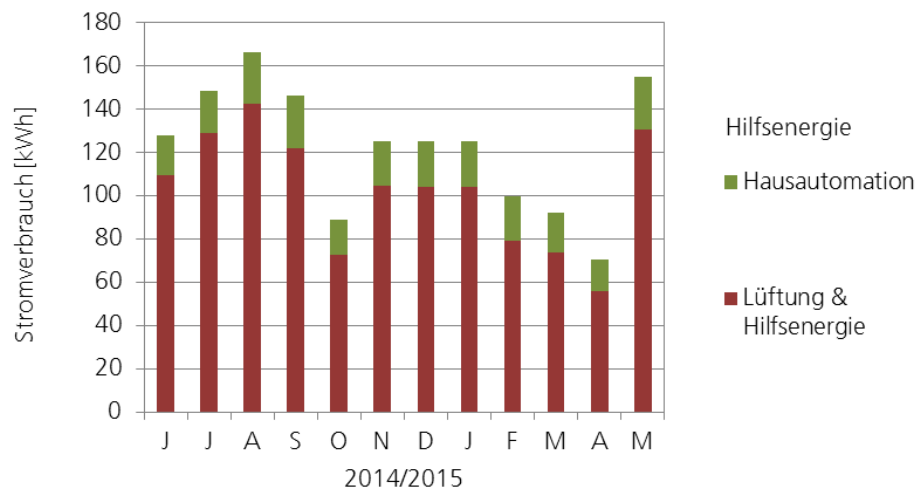


Bild 24:
Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

6.2.4 Stromverbrauch Haushaltsgeräte

Der Endenergieverbrauch für die Haushaltsgeräte sowie die Vorgabe gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus-Standard sind in Bild 25 gezeigt. Der monatliche Stromverbrauch für die Haushaltsgeräte und sonstigem, nicht zuzuordnendem Verbrauch, lag im Mittel bei 188 kWh/mth und damit ca. 6 % über der Vorgabe gemäß Effizienzhaus Plus-Standard. Auffällig ist der hohe Anteil Sonstiges in den Monaten Juli und August 2013, der nicht näher spezifiziert

werden konnte. In dieser Zeit ist der Grenzwert des Effizienzhaus Plus-Standards deutlich überschritten. In der übrigen Zeit ist ein geringer Verbrauch erkennbar, der auf die Nutzung des Hauses als Musterhaus zurückzuführen ist.

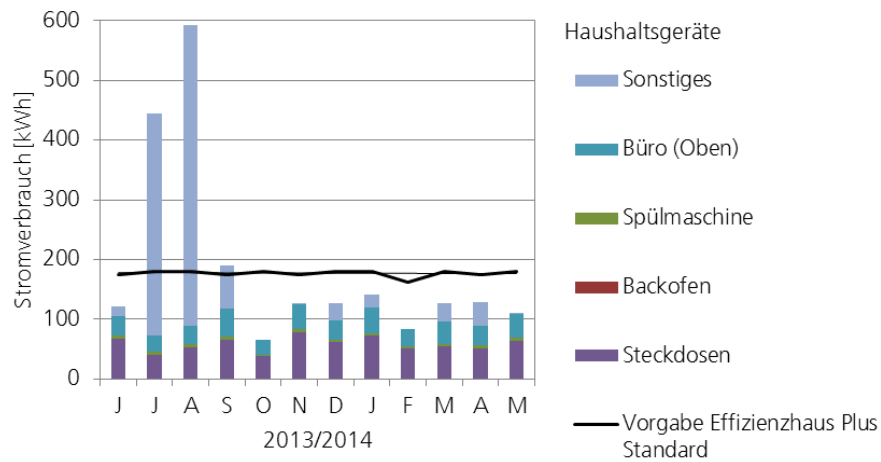


Bild 25: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

Im 2. Messjahr wurde von den Haushaltsgeräten und –prozessen, wie in Bild 26 gezeigt, insgesamt 1.444 kWh/a verbraucht. Im Mittel lag der monatliche Stromverbrauch bei 120 kWh, damit wird die Vorgabe nach Effizienzhaus Plus-Standard um ca. 32 % unterschritten.

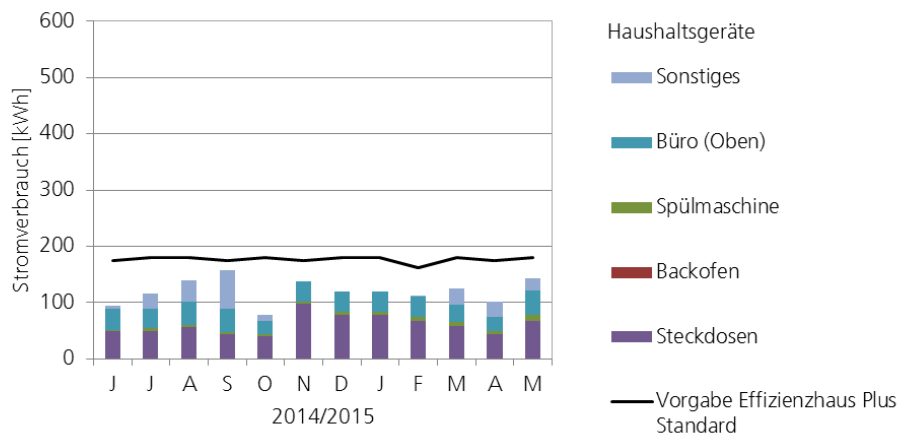
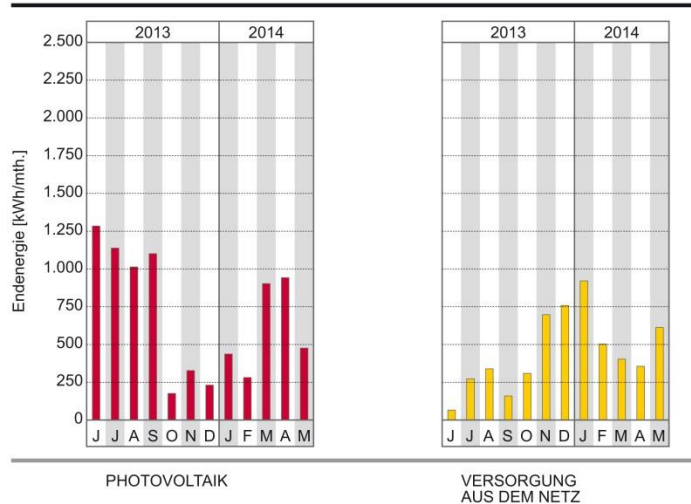


Bild 26: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

6.2.5 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag

Die Photovoltaikanlage hat, wie Bild 27 zeigt, im 1. Messjahr 8.309 kWh/a Strom generiert, davon wurden 4.029 kWh/a im Haus selbst genutzt und 4.280 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im 1. Messzeitraum 3.875 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch von 9.406 kWh/a.

ENERGIEQUELLE



ENERGIENUTZUNG

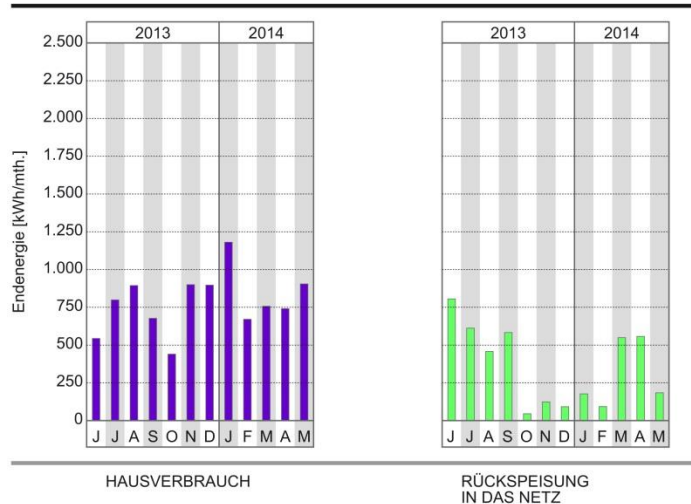


Bild 27: Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

Das Photovoltaiksystem konnte somit, wie Bild 28 zeigt, im 1. Messjahr den Endenergieverbrauch des Hauses nicht decken. Es liegt eine Unterdeckung von 1.097 kWh/a vor. Diese wird aus der Differenz des kumulierten Photovoltaikertrags und des kumulierten Hausverbrauchs ermittelt. Der vorherberechnete Energieüberschuss von 2.271 kWh wird nicht erreicht.

KUMULIERTE ENDENERGIE

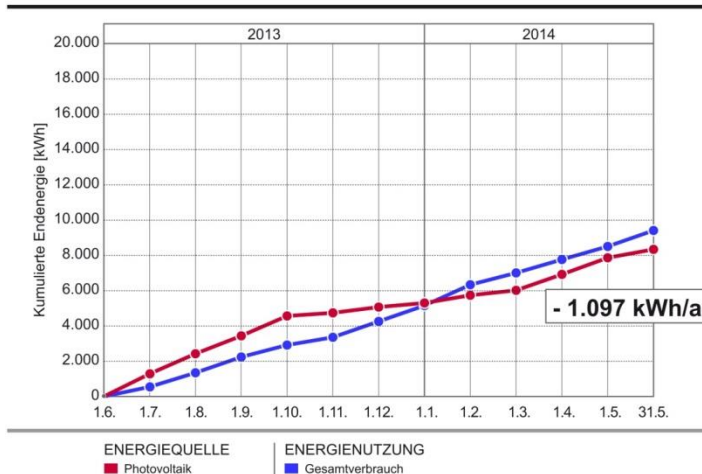


Bild 28: Kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

Die Abweichung zwischen Prognose und Messung ist für das 1. Messjahr in Bild 29 gezeigt. Hier sind der berechnete und gemessene kumulierte PV-Ertrag und Endenergiebedarf / -verbrauch einander gegenübergestellt. In Bezug auf die Prognose für den PV-Strom zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung. Für die Endenergie zeigen sich große Abweichungen während der gesamten Messperiode. Diese resultieren vorrangig aus dem erhöhten Stromverbrauch für Heizen und Kühlen einschließlich der Hilfsenergien und den Beleuchtungsstrom. Bei der Berechnung nach DIN V 18599 wurde die Kühlung des Gebäudes nicht berücksichtigt. Hier waren endenergetisch 3.534 kWh/a vorherberechnet und es wurden 5.555 kWh/a verbraucht. Für die Beleuchtung wurde nach Effizienzhaus Plus-Standard 375 kWh/a angesetzt und es wurden 1.594 kWh/a verbraucht.

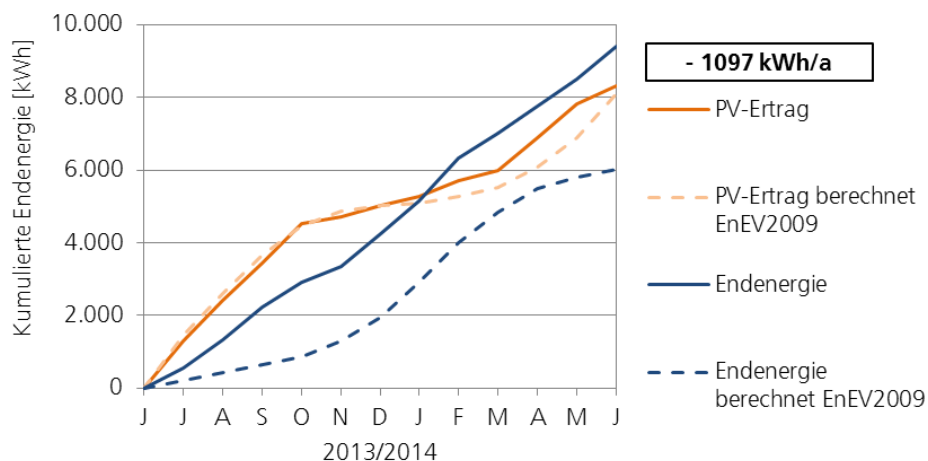


Bild 29: Vergleich Vorherberechnung und Messung kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

Im 2. Messjahr hat die Photovoltaikanlage, wie Bild 31 zeigt, 8.915 kWh/a Strom generiert, davon wurden 4.269 kWh/a im Haus selbst genutzt und 4.646 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im 2. Messzeitraum 4.844 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch von 9.113 kWh/a.

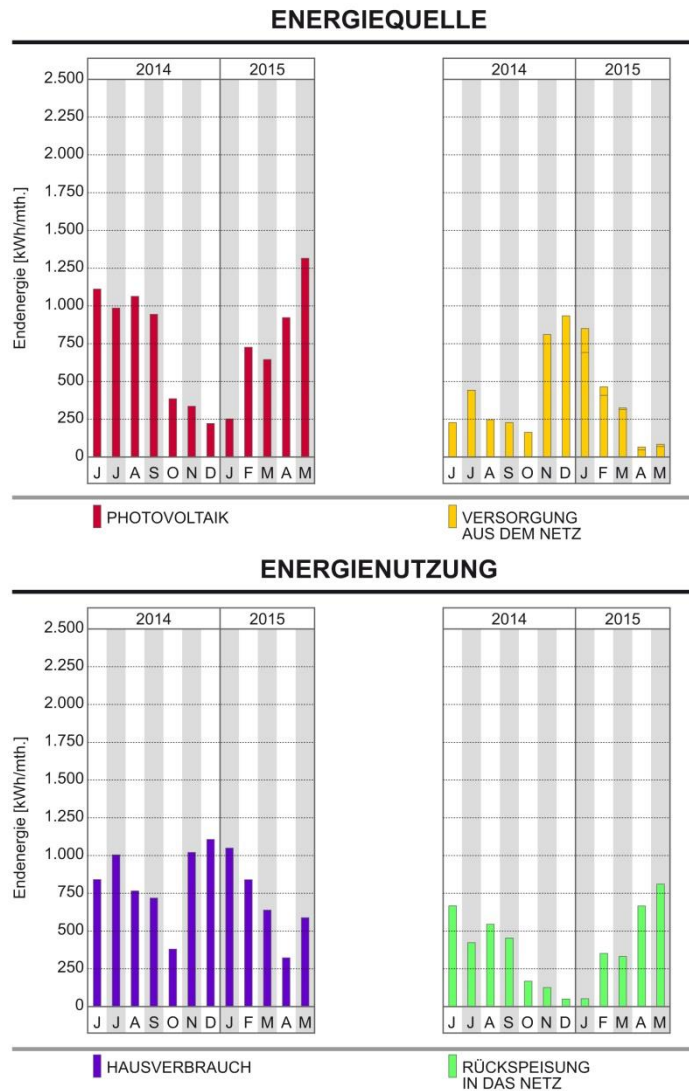


Bild 30: Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

Die Unterdeckung konnte, wie Bild 31 zeigt, reduziert werden und hat eine Größe von -198 kWh/a.

KUMULIERTE ENDEENERGIE

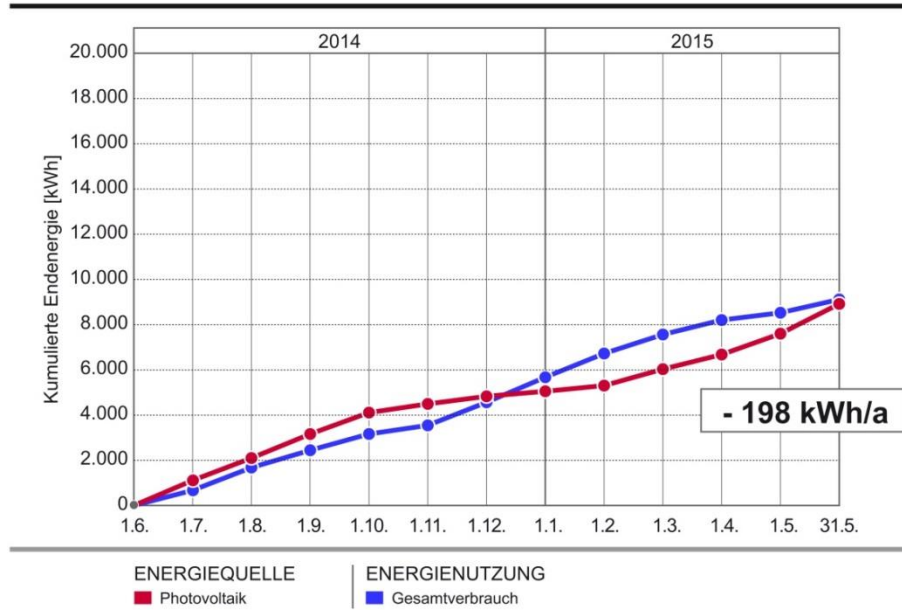


Bild 31:
kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

Die Unterdeckung ist auch im 2. Messjahr, wie Bild 32 zeigt, auf den erhöhten Endenergieverbrauch während der Sommermonate und den hohen Beleuchtungsenergiebedarf zurückzuführen. Der Energieverbrauch für Heizen und Kühlen einschließlich Hilfsenergie beträgt 6.218 kWh/a, vorherberechnet waren 3.534 kWh/a. Für die Beleuchtung wurden 1.451 kWh/a verbraucht und angesetzt waren 375 kWh. Die PV-Anlage hat zwar 815 kWh/a Strom mehr generiert als prognostiziert, konnte aber den endenergetischen Mehrbedarf nicht decken.

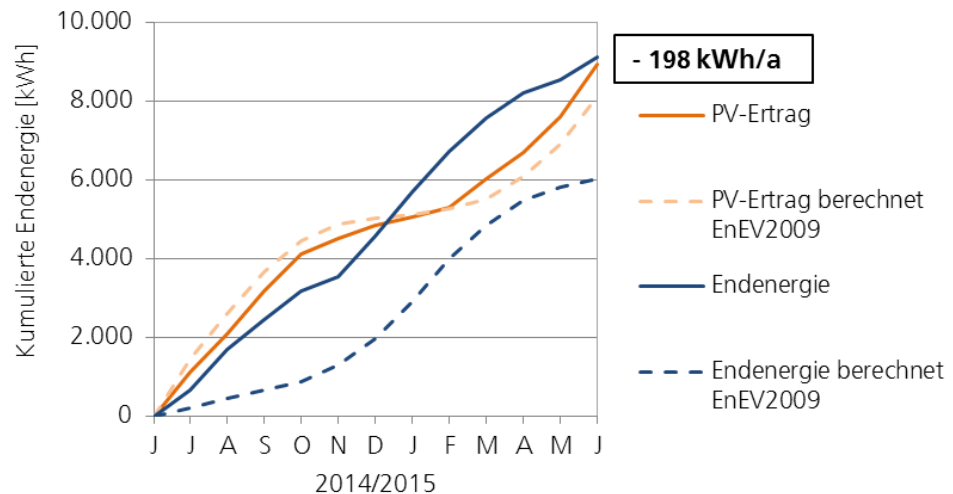


Bild 32:
Vergleich Vorherberechnung und Messung kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

6.3 Eigenstromnutzung und Autarkiegrad

Bild 33 zeigt die monatlichen Photovoltaikerträge für das 1. Messjahr, aufgeteilt in die Anteile Eigenverbrauch und Einspeisung in das öffentliche Netz. Im 1. Messjahr wurden von der Photovoltaikanlage 4.029 kWh Strom produziert und im Gebäude selbst genutzt, das entspricht einem Eigenverbrauch von 49 %.

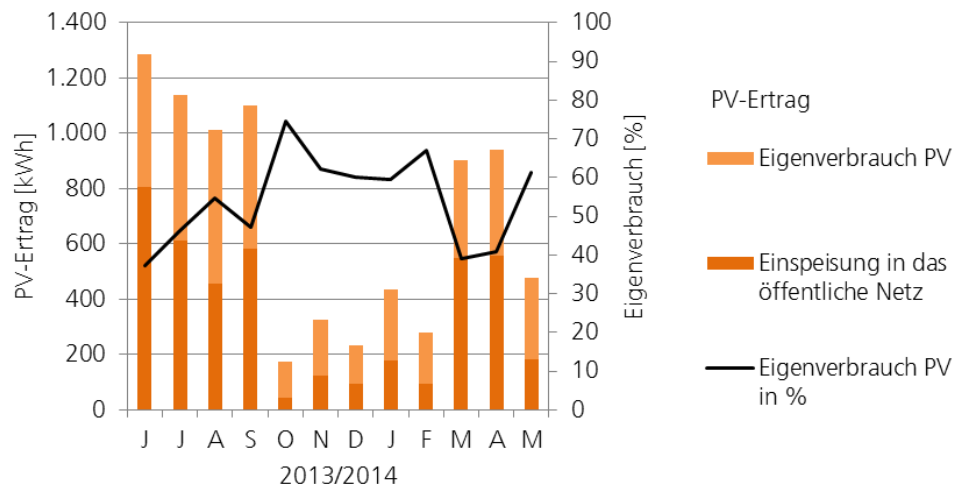


Bild 33: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch, Netzeinspeisung, prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

Der Eigenverbrauch des Photovoltaikstroms ist für das 2. Messjahr in Bild 34 gezeigt, er betrug 4.269 kWh und beträgt 48 %.

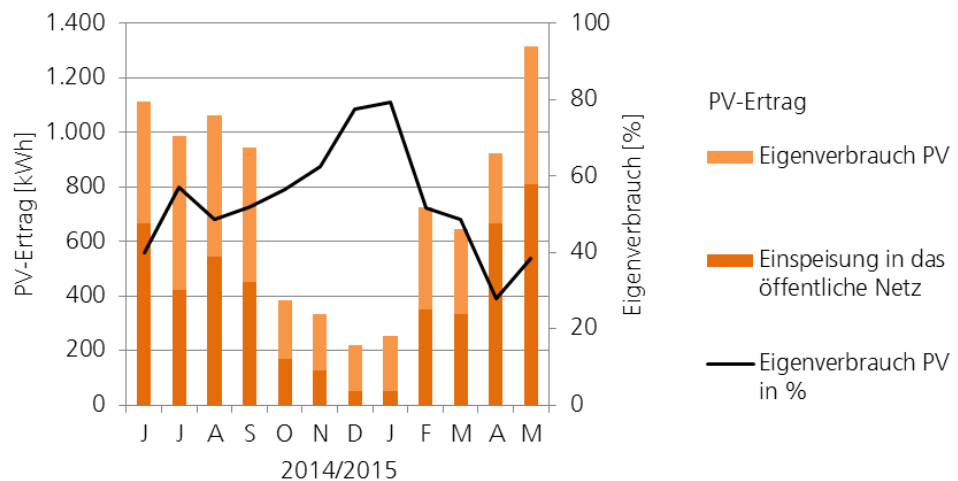


Bild 34: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch, Netzeinspeisung und prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

Die Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und der monatliche Autarkiegrad in Bezug auf den PV-Strom sind für das 1. Messjahr in Bild 35 und für das 2. Messjahr in Bild 36 gezeigt. Der Autarkiegrad beschreibt dabei den Deckungsanteil des Endenergieverbrauchs des Gebäudes durch den selbst generierten Photovoltaikertrag. Der Autarkiegrad schwankt im 1. Messjahr zwischen 15 % und 88 % und liegt im Mittel bei 43 %. Im 2. Messjahr beträgt er minimal 16 % und maximal 86 % und liegt im Mittel bei 47 %.

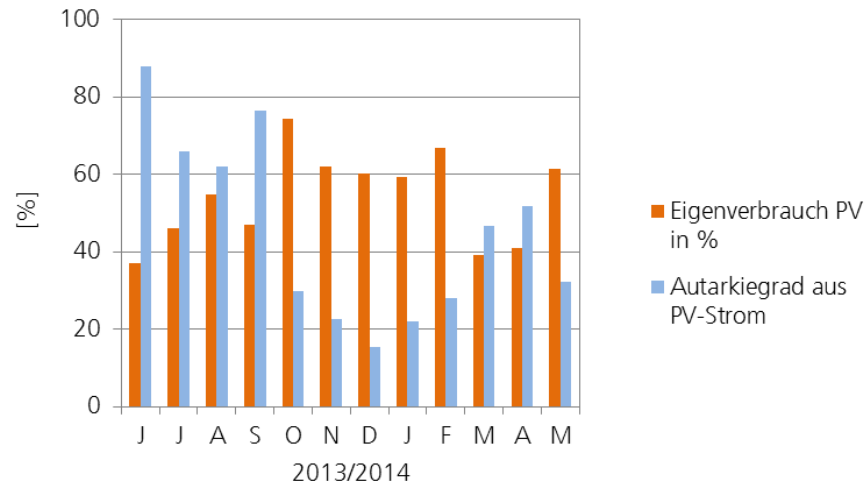


Bild 35: monatliche Autarkie- und Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms im Messzeitraum Juni 2013 bis Mai 2014.

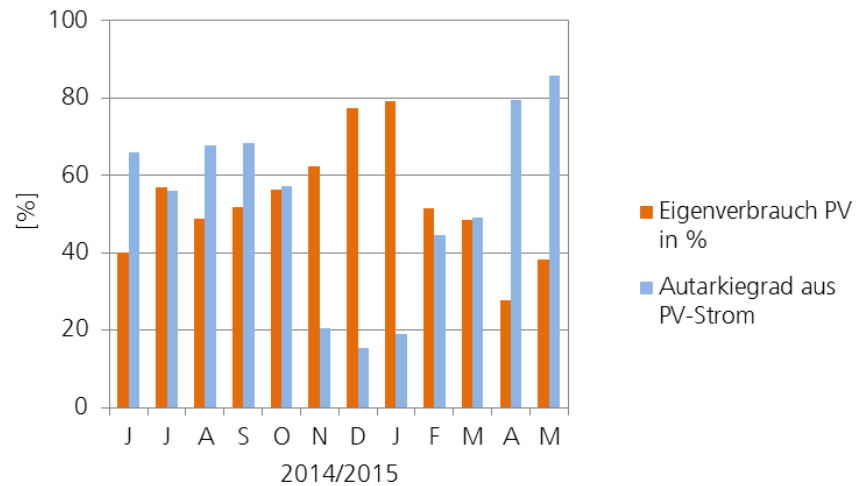


Bild 36: monatliche Autarkie- und Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms im Messzeitraum Juni 2014 bis Mai 2015.

6.4 Anlagenperformance

Die Anlagenperformance der Luftheizung, bestehend aus der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und nachgeschalteter Luft/Luft-Wärmepumpe lässt sich durch die monatliche Arbeitszahl beschreiben. Als Bilanzgrenze wird das Kompaktgerät Lüftung mit integrierter Wärmepumpe ohne Trinkwarmwasserspeicher und Nacherhitzer gewählt. Die PTC-Elemente zur Nacherhitzung waren in der 1. und 2. Messperiode nicht in Betrieb. Die Arbeitszahl wird bestimmt aus der Differenz der Wärmemenge der Zuluft und Abluft und der Aufwandsenergie der Wärmepumpe und des Ventilators der Lüftungsanlage. Im Folgenden sind nur die Arbeitszahlen für die Monate Oktober bis Februar dargestellt, da in der übrigen Zeit das Gebäude teilweise bzw. komplett gekühlt wurde und die Messkonfiguration keine Trennung der Prozesse Heizen und Kühlen zulässt. Des Weiteren sind die ausgewiesenen Arbeitszahlen als Näherung zu betrachten, da die Zu- und Abluftvolumenströme nicht kontinuierlich gemessen wurden. Sie wurden im Rahmen einer Einzelmessung erfasst. In Tabelle 8 sind die ermittelten Werte zusammengestellt.

Tabelle 8:
am Gebäude näherungsweise bestimmte Volumenströme im Zu- und Abluftkanal des Effizienzhauses Plus Generation 5.0 WeberHaus.

	Volumenstrom			
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]
Abluft	92	178	266	310
Zuluft	98	209	330	372

Die monatlichen Werte der näherungsweise bestimmten Arbeitszahl sind für das 1. Messjahr in Bild 37 dargestellt, die Arbeitszahl schwankt in den Wintermonaten zwischen 1,7 und 2,4 und beträgt im Mittel 2,09.

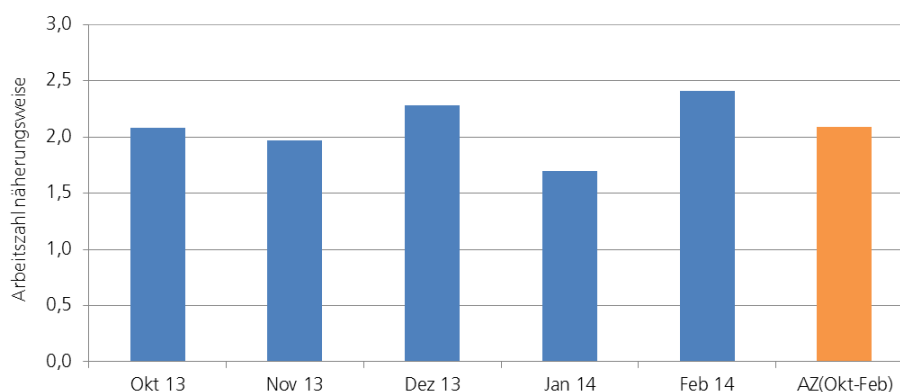


Bild 37:
näherungsweise bestimmte monatliche Arbeitszahl Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Luft/Luft-Wärmepumpe im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Messzeitraum Oktober 2013 bis Februar 2014.

Im 2. Messjahr konnten aufgrund von Messausfällen nur die Monate Dezember 2014, Januar 2015 und Februar 2015 ausgewertet werden. Hier beträgt die Arbeitszahl näherungsweise im Mittel 2,04 (siehe Bild 38).

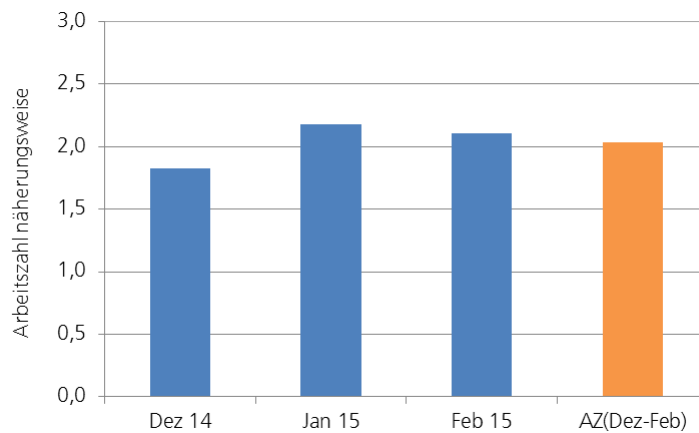


Bild 38:
näherungsweise bestimmte monatliche Arbeitszahl Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Luft/Luft-Wärmepumpe im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Messzeitraum Dezember 2014 bis Februar 2015.

6.5 Innenraumtemperaturen Sommer

In den Räumen des Erd- und Obergeschosses wurden ganzjährig die Lufttemperaturen gemessen. Einen Überblick über die sommerliche Temperaturentwicklung in den Räumen Wohnen, Schlafen und Büro (EG) für die Monate Juni 2013 und Juni 2014 zeigen Bild 39 und Bild 40. Zum Vergleich ist jeweils der Temperaturverlauf der Außentemperatur des DWD der Station Euskirchen eingezeichnet. Die Außenlufttemperaturen sind als Stundenmittelwerte und die Innenraumlufttemperaturen als 15-minütige Messwerte dargestellt. Die Monatsmittelwerte aller Räume im EG und OG über das Jahr sind Tabelle 11 und Tabelle 12 im Anhang B zu entnehmen.

Die Raumlufttemperatur in den drei ausgewählten Räumen schwankt im Juni 2013 zwischen 19 °C und 22 bis 25 °C, kurzzeitig werden 26 °C erreicht. Im Juni 2014 schwankt die Raumlufttemperatur zwischen 18 °C und 23 °C und kurzzeitig werden 25 °C erreicht. Innerhalb eines Raumes ist die Temperaturspreizung zwischen der Tag- und Nachtspitze nicht größer als 2 K.

Aufgrund der eingeschalteten Kühlfunktion der Luft/Luft-Wärmepumpe wird eine relativ gleichmäßige Raumlufttemperatur erreicht. Das Gebäude heizt sich auch an strahlungsreichen Sommertagen nicht weiter auf.

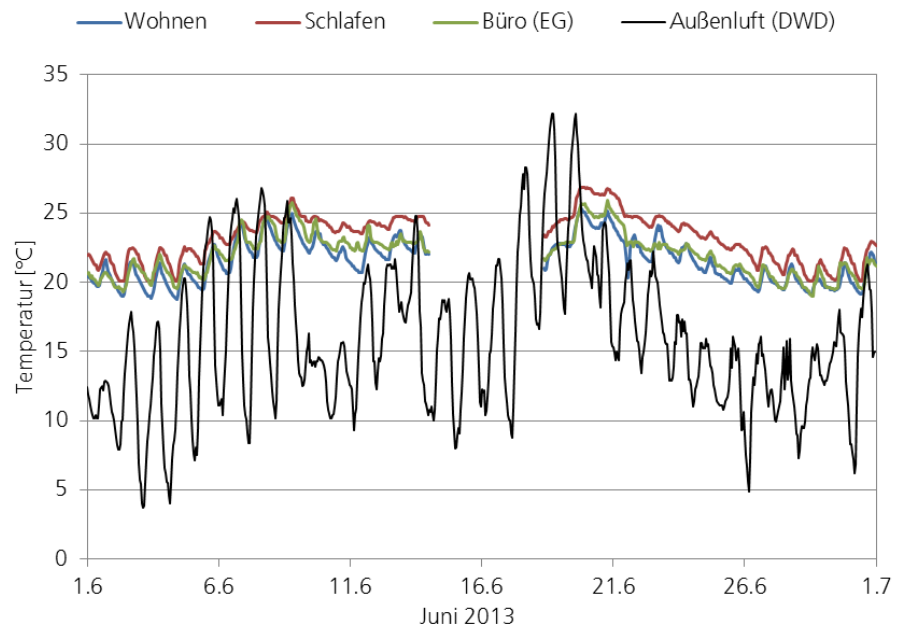


Bild 39:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Monat Juni 2013.

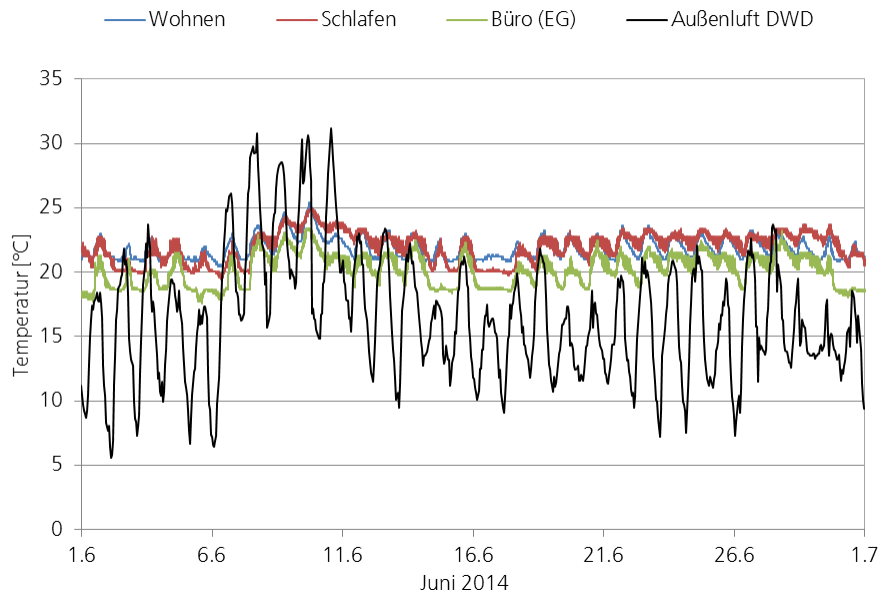


Bild 40:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Monat Juni 2014.

6.6 Innenraumtemperaturen Winter

Einen Überblick über die Raumlufttemperaturen in den Räumen Wohnen, Büro (EG) und Schlafen ist für den Monat Januar 2014 in Bild 41 gezeigt.

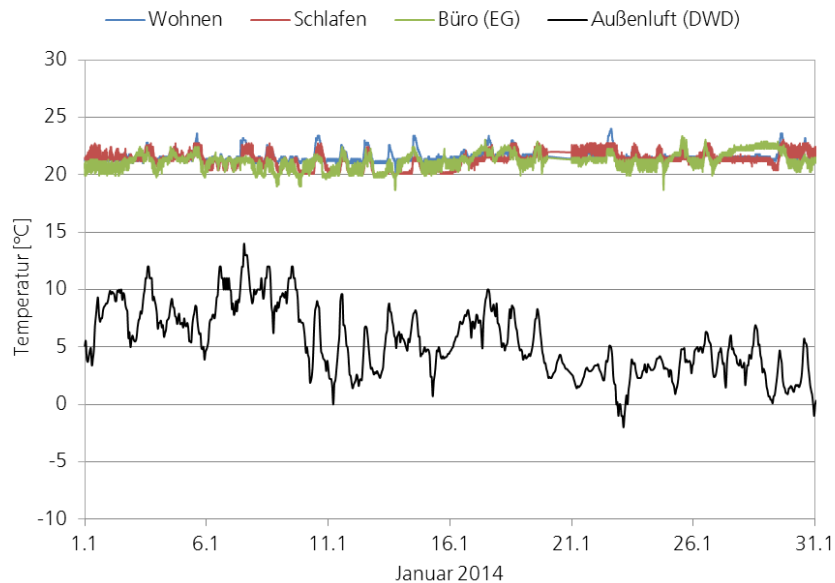


Bild 41:

Verlauf der Innenraumlufttemperatur im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Monat Januar 2014.

Das Temperaturniveau liegt in den Räumen zwischen 20 und 23 °C und damit um 3 über der angesetzten Innenraumlufttemperatur von 20 °C gemäß der DIN V 18599. Dadurch erhöht sich der Heizenergieverbrauch gegenüber dem vorherberechneten Wert. Im 2. Messjahr beträgt die Raumlufttemperatur, wie Bild 42 verdeutlicht, 20 bis 22 °C.

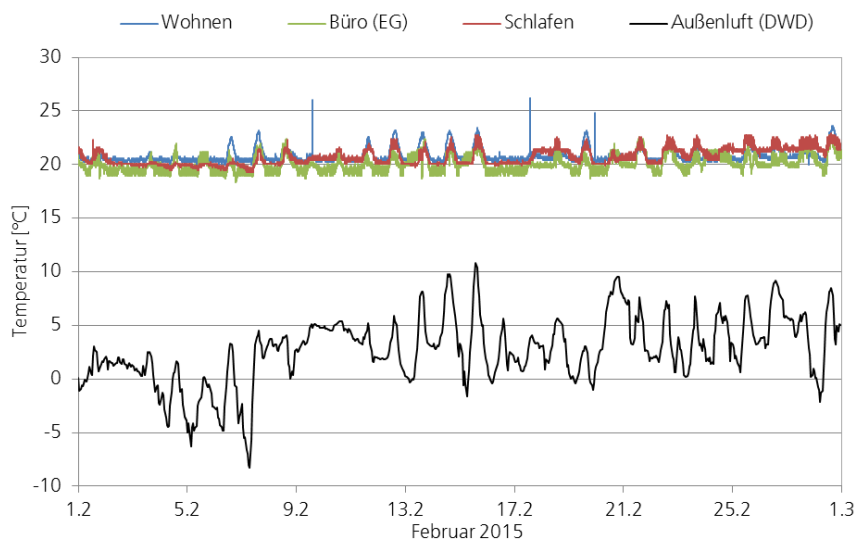


Bild 42:

Verlauf der Innenraumlufttemperatur im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Monat Februar 2015.

6.7 Raumluftqualität

Die Raumluftqualität hängt vom Sauerstoffanteil, der Geruchsneutralität und dem Schadstoffgehalt ab. Ein wichtiger Faktor ist der CO₂-Gehalt der Raumluft. Als Grenzwert zur Beurteilung der Raumluftqualität kann 1.500 ppm angenommen werden, das entspricht einer CO₂-Konzentration von 0,15 % in der Raumluft. Dieser Wert sollte als Momentanwert nicht überschritten werden.

Der Verlauf der CO₂-Konzentration in der Raumluft wurde im Erdgeschoss im Wohnraum gemessen und ist für Januar 2014 in Bild 43 und für Februar 2014 in Bild 44 gezeigt. Der CO₂-Gehalt der Raumluft beträgt im Mittel 450 ppm mit einer Spitze im Januar 2014, die knapp über 1.500 ppm liegt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine gute Raumluftqualität vorliegt.

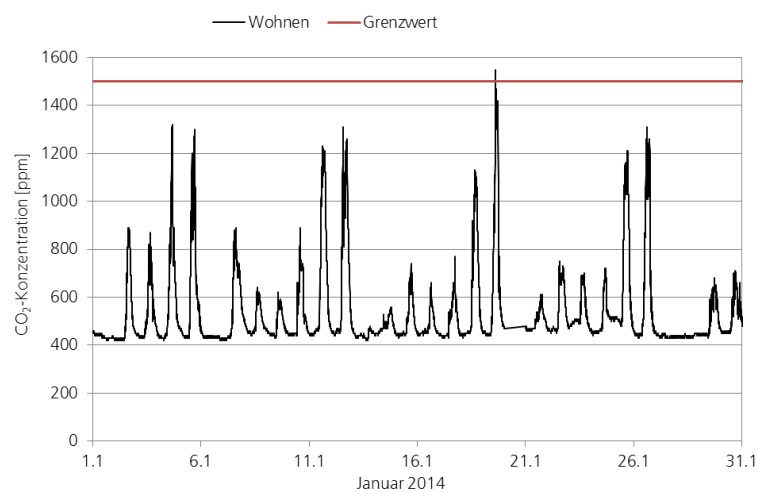


Bild 43:
CO₂-Gehalt der Raumluft im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Erdgeschoss im Raum Wohnen im Monat Januar 2014.

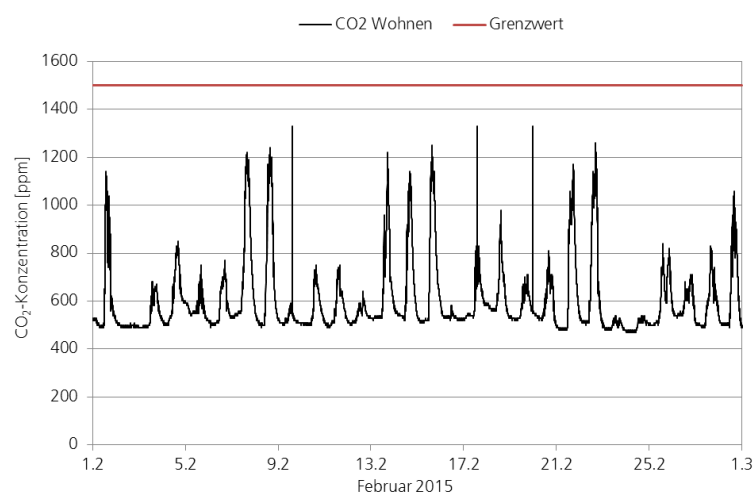


Bild 44:
CO₂-Gehalt der Raumluft im Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus im Erdgeschoss im Raum Wohnen im Monat Februar 2015.

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Nach Angabe der Firma WeberHaus beträgt der Verkaufspreis des Gebäudes 238.000 € inkl. Mehrwertsteuer. Die Ausführung des Gebäudes als Effizienzhaus Plus führt zu Mehrkosten von 45.000 € inkl. Mehrwertsteuer. Detaillierte Baukosten, aufgeschlüsselt nach den Kostengruppen 300 und 400 lagen ebenso wie eine Auskunft über die während der Messperiode aufgetretenen Energie- und Betriebskosten bzw. Einspeisevergütung nicht vor.

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

In der zweijährigen Messperiode konnte das Gebäude sowohl im 1. als auch im 2. Messjahr keinen Überschuss erzielen. Die Unterdeckung betrug im 1. Messjahr -1.097 kWh/a und konnte im 2. Messjahr auf -198 kWh/a reduziert werden. Hauptursache für die Unterdeckung war die Kühlung des Gebäudes und der erhöhte Energiebedarf für die Beleuchtung. Ohne Ausfallzeiten der Wechselrichter der PV-Anlage im Oktober 2013 und im Mai 2014 der 1. Messperiode sowie im Juni 2014 des 2. Messjahres und ohne Inbetriebnahme der elektrischen Fußbodenheizung in den Sommermonaten hätte der PV-Ertrag in beiden Messjahren unter Umständen höher ausfallen können, so dass zumindest im 2. Messjahr ein Endenergieüberschuss hätte erreicht werden können.

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 5.555 kWh Energie im 1. Messjahr und 6.218 kWh im 2. Messjahr verbraucht, gegenüber 2.573 kWh, die laut EnEV-Nachweis zum Betrieb der Heizung einschließlich der Hilfsenergien geplant waren.

Im 1. Messjahr war die Innenraumlufttemperatur um bis zu 3 K höher als die angesetzte Innenraumlufttemperatur von 20 °C gemäß DIN V 18599. Ferner wurde das Gebäude über weite Teile der Messperioden gekühlt und im Bereich der Beleuchtung und der Haushaltsgeräte wurde gegenüber der Planung ein leicht höherer Energieverbrauch gemessen. Dies führt insgesamt im 1. Messjahr zu einem um 56 % erhöhten Endenergieverbrauch: 9.406 kWh (Messung) anstelle 5.073 kWh (Planung). Im 2. Messjahr war der Endenergieverbrauch um 51 % erhöht: 9.113 kWh (Messung) anstelle 5.073 kWh (Planung). Auch hier ist die Abweichung auf die Energieverbräuche für die Kühlung und die Beleuchtung zurückzuführen.

Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (gemäß Kapitel 6.1) mit dem vorherberechneten Ertragswert (gemäß Kapitel 3.5, 8.309 kWh/a anstelle der prognostizierten 8.100 kWh/a) zeigt im 1. Messjahr eine gute Übereinstimmung. Im 2. Messjahr liegt der PV-Ertrag mit 8.915 kWh

um 606 kWh über der Prognose nach DIN V 18599. Werden während der Ausfallzeit der Wechselrichter die prognostizierten Werte angesetzt, hätte im 1. Messjahr ein PV-Ertrag von 9.277 kWh/a erreicht werden können und die Unterdeckung hätte eine Größe von -129 kWh. Im 2. Messjahr hätte der PV-Ertrag eine Größe von 9.261 kWh und das Gebäude hätte ein Plus von 148 kWh erreicht.

Aufgrund der Nutzung des Gebäudes als Musterhaus mit einem Ausstellungsbetrieb von Mittwoch bis Sonntag von 11:00 Uhr bis 18:00 Uhr zeigen sich in den Energieverbräuchen Verschiebungen zu den Prognosen. Es wird zwar kein Trinkwarmwasser verwendet, jedoch fällt der Bedarf an Beleuchtungsstrom infolge der Ausstellungsnutzung höher aus als nach der Definition des Effizienzhauses Plus vorgesehen.

Der monatliche Autarkiegrad des PV-Stroms liegt zwischen 15 % und 88 %. Der Jahresmittelwert beträgt knapp 50 %.

Die sogenannte Jahresarbeitszahl der Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Wärmepumpe (Verhältnis Nutzwärme zu Stromaufwand) beträgt näherungsweise 2,1. Sie ist aufgrund der Anordnung der Messsensorik, der Messausfallzeiten und der Art der Messsignale als Näherungswert zu betrachten.

8.2 Verbesserungspotentiale

Die Analyse der bisherigen Messungen ergab Ineffizienzen im Bereich der Beleuchtungsnutzung. Inwiefern sich der extrem hohe Energiebedarf für die Beleuchtung auch als zusätzliche interne Last reduzierend auf den Heizenergiebedarf und erhöhend auf den Kühlenergiebedarf ausgewirkt hat, wird im vorliegenden Bericht nicht näher untersucht. Selbst bei einer Nutzung des Gebäudes als Musterhaus sollte unter dem Aspekt der Energieeffizienz der Energiebedarf für die Beleuchtung reduziert werden. Diese kann zum Beispiel über Präsenzmelder gesteuert werden.

Die Räume des Gebäudes verfügen über eine gute Raumlufthqualität, der CO₂-Gehalt liegt mit im Mittel 450 ppm weit unter dem Wert von 1.500 ppm. Zur Reduzierung des Energieverbrauchs der Lüftungsanlage kann diese mit einem Grenzwert von etwa 1.000 ppm CO₂-gesteuert werden. Durch die Verkürzung der Ventilatorlaufzeit könnten sowohl der Stromverbrauch als auch die Lüftungsverluste reduziert werden.

Die elektrisch betriebene Fußbodenheizung war ganzjährig in Betrieb und könnte ein weiteres Einsparpotential bei alleinigem Betrieb während der Heizperiode liefern.

Die Erfassung und Übertragung der Monitoringdaten war von vielen Messausfallzeiten und Problemen gekennzeichnet, hier besteht im Bereich der Installati-

on der Messtechnik und Übertragung der Messdaten erheblicher Optimierungsbedarf.

Die Ergebnisse der ersten Betriebsjahre zeigen, dass für ein Effizienzhaus Plus eine Monitoring- und Einregulierungsphase zwingend eingeplant werden muss, um generell Daten zum Verbrauch und zur Anlagentechnik zu erhalten und optimierend in das System eingreifen zu können, um die planerisch ermittelten Kennwerte auch im praktischen Betrieb prüfen und ggfs. anpassen zu können.

9 Literatur

- [1] Fraunhofer IBP: Steckbrief Effizienzhaus Plus Generation 5.0 WeberHaus (Stand Januar 2015). Veröffentlicht auf <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/netzwerk/>.
- [2] Weber: Energieeinsparnachweis nach der EnEV 2009 (Stand 6. Juni 2011), 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.

Anhang A

Tabelle 9:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von Juni 2013 bis Mai 2014.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV- Einspeisung	PV- Eigenverbrauch	Heizen und Kühlen	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushalts- geräte und Sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Juni 13	66	1.284	806	478	76	167	179	122	544
Juli 13	273	1.138	612	526	136	146	72	445	799
Aug. 13	339	1.013	458	555	21	151	130	592	894
Sep. 13	159	1.101	583	518	127	170	190	190	677
Okt. 13	309	176	45	131	179	90	106	65	440
Nov. 13	697	327	124	203	483	127	163	127	900
Dez. 13	758	231	92	139	573	86	111	127	897
Jan. 14	921	437	177	260	757	116	166	141	1.181
Feb. 14	483	281	93	188	395	79	113	84	671
März 14	403	903	549	354	395	110	125	127	757
Apr. 14	356	942	557	385	384	120	109	129	741
Mai 14	613	476	184	292	514	153	130	108	905
Summe	5.377	8.309	4.280	4.029	4.040	1.514	1.594	2.258	9.406

Tabelle 10:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von Juni 2014 bis Mai 2015.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV- Einspeisung	PV- Eigenverbrauch	Heizen und Kühlen	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushalts- geräte und Sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Juni 14	228	1.112	667	445	353	128	98	94	673
Juli 14	442	986	423	563	635	149	105	116	1.005
Aug. 14	247	1.064	545	519	338	166	122	140	766
Sep. 14	228	945	454	491	284	146	131	158	719
Okt. 14	163	386	168	218	128	89	85	79	381
Nov. 14	811	336	126	210	639	125	118	138	1.021
Dez. 14	935	222	50	172	744	125	119	119	1.107
Jan. 15	850	252	52	200	687	125	119	119	1.050
Feb. 15	465	727	352	375	468	100	161	111	840
März 15	325	646	332	314	302	92	120	125	639
Apr. 15	66	923	666	257	51	70	101	101	323
Mai 15	84	1.316	811	505	118	155	172	144	589
Summe	4.844	8.915	4.646	4.269	4.747	1.471	1.451	1.444	9.113

Anhang B

Tabelle 11:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG und OG, sowie Außenlufttemperatur am Haus und DWD Station Euskirchen von Juni 2013 bis Mai 2014.

Monat	Küche	Wohnen 1	Wohnen 2	Schlafen	Kind	Büro (EG)	Büro (DG)	Außenluft	DWD Köln-Bonn
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Juni 13	21,5	21,6	21,6	23,3	22,8	21,4	22,0	17,4	15,9
Juli 13	21,8	22,6	22,7	23,6	23,2	21,4	23,1	20,7	19,8
Aug. 13	21,0	21,9	21,9	22,4	22,2	20,5	22,4	20,7	18,4
Sep. 13	20,5	21,5	21,6	21,6	21,3	20,0	21,8	15,5	14,4
Okt. 13	19,6	20,9	20,9	21,0	20,6	19,6	21,2	13,2	11,9
Nov. 13	19,1	20,6	20,7	21,2	20,2	20,5	21,1	6,2	5,6
Dez. 13	19,9	21,0	21,0	20,8	19,7	20,4	20,8	6,5	5,1
Jan. 14	21,6	21,6	21,6	21,3	20,1	21,2	20,6	6,4	5,2
Feb. 14	20,8	21,9	21,9	22,5	21,3	21,6	21,6	7,0	5,6
März 14	20,4	21,5	21,5	21,3	20,8	20,1	21,4	9,7	8,0
Apr. 14	20,4	21,2	21,2	20,3	20,3	19,0	20,8	13,6	12,1
Mai 14	20,3	21,2	21,2	20,4	20,3	18,9	20,6	14,7	13,4
Mittelwert Heizperiode*	20,3	21,2	21,3	21,2	20,4	20,3	21,1	8,9	7,6

* Heizperiode Oktober 2013 bis April 2014

Tabelle 12:

Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG und OG, sowie Außenlufttemperatur am Haus und DWD Station Köln-Bonn von Juni 2014 bis Mai 2015.

Monat	Küche	Wohnen 1	Wohnen 2	Schlafen	Kind	Büro (EG)	Büro (DG)	Außenluft	DWD Eus- kirchen
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Juni 14	20,9	21,9	21,9	22,0	21,9	20,2	22,2	18,0	16,4
Juli 14	21,4	22,3	22,4	22,5	22,5	20,9	22,7	20,9	19,5
Aug. 14	21,9	21,4	21,4	21,8	21,4	20,0	21,6	17,7	16,7
Sep. 14	23,1	22,4	22,4	23,0	22,6	21,1	22,9	17,5	15,3
Okt. 14	22,1	21,2	21,2	21,8	21,1	20,4	21,5	12,2	12,7
Nov. 14	20,9	20,5	20,5	20,5	20,0	19,3	20,7	11,1	7,8
Dez. 14	20,9	20,6	20,6	20,7	19,6	20,5	20,7	4,8	4,2
Jan. 15	21,2	20,9	20,9	21,2	20,0	20,3	21,0	3,9	3,3
Feb. 15	21,1	20,8	20,8	20,7	19,9	20,1	20,8	3,9	2,5
März 15	21,7	21,0	21,0	21,4	20,7	20,7	21,5	7,2	6,1
Apr. 15	22,2	21,4	21,4	21,6	21,3	20,5	21,8	11,2	9,9
Mai 15	21,4	20,8	20,8	20,9	20,0	21,1	21,1	6,0	13,6
Mittelwert Heizperiode*	21,4	20,9	20,9	21,1	20,4	20,3	21,1	7,8	6,6

* Heizperiode Oktober 2014 bis April 2015