

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 14

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

Forschungsprogramm

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

Messperiode

November 2012 bis Oktober 2014

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-11.3

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 178/2015

**Effizienzhaus Plus der Firma FingerHaus -
Wissenschaftliche Begleitung bei der Konzep-
tion sowie messtechnische und energetische
Validierung des Musterhauses in Köln-
Frechen**

Durchgeführt im Auftrag von
FingerHaus 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 178/2015

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

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

Der Bericht umfasst

45 Seiten Text

13 Tabellen

49 Abbildungen

Hans Erhorn

Antje Bergmann

Michael Beckert

Johann Reiß

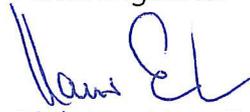
Stuttgart, 24. Juni 2015

Institutsleiter



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

Abteilungsleiter



Dipl.-Ing. Hans Erhorn

Bearbeiter



Dipl.-Ing. Antje Bergmann

Inhalt

1	Kurzfassung	4
2	Kontext und Zielsetzung	4
3	Gebäudesteckbrief	5
3.1	Allgemeine Daten	5
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	12
5	Meteorologische Randbedingungen	14
5.1	Solarstrahlung	14
5.2	Außenlufttemperaturen	15
5.3	Klimabereinigung	16
6	Messergebnisse	17
6.1	Messwerterfassung Chronologie	17
6.2	Stromertrag	18
6.3	Stromverbrauch	20
6.3.1	Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser	22
6.3.2	Stromverbrauch Beleuchtung	24
6.3.3	Stromverbrauch Hilfsenergie	26
6.3.4	Stromverbrauch Haushaltsgeräte	27
6.3.5	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag	28
6.4	Eigenstromnutzung und Autarkiegrad	31
6.5	Anlagenperformance	33
6.6	Innenraumlufttemperaturen Sommer	34
6.7	Innenraumlufttemperaturen Winter	35
6.8	Behaglichkeit	37
7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	42
7.1	Baukosten und laufende Kosten	42
7.2	Kosten Geräte	43

8	Bewertung	43
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	43
8.2	Verbesserungspotentiale	45
9	Literatur	45

1 Kurzfassung

Die Firma FingerHaus hat in der FertighausWelt in Köln-Frechen das Musterhaus VIO 400 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 24-monatigen Messperiode von November 2012 bis Oktober 2014.

Seit März 2013 stehen Messwerte zur Verfügung, die rückwirkend ab November 2012 dargestellt werden können. Die Messwerte wurden zusammen mit der Messsensorik der Regelung der Haustechnik erfasst und um ausgewählte Sensoren ergänzt. Hier zeigten sich Probleme in der Messwertspeicherung und –übertragung. Die übermittelten Daten sind geprägt von vielen Ausfallzeiten. Die Energiebilanz des Gebäudes wurde daher auf Basis der monatlich händisch abgelesenen im Gebäude installierten Zähler erstellt.

Die Messungen zeigen, dass die Erträge aus der Photovoltaikanlage den Hausverbrauch im 1. Messjahr nicht decken konnten, im 2. Messjahr wurde ein Plus von 704 kWh/a erzielt und der Effizienzhaus Plus Standard erreicht. Aufgrund der günstigeren klimatischen Verhältnisse und der Nutzung des Gebäudes als Musterhaus hat es nur einen geringen Trinkwarmwasserbedarf und verbraucht für die Wärmeversorgung sowie Lüftung und Kühlung weniger Energie als prognostiziert. Im Gegensatz dazu benötigt das Gebäude zur Beleuchtung der Räume einen 500 bis 600 % höheren Energieverbrauch als nach Effizienzhaus Plus Standard vorgegeben.

In den Sommermonaten heizt sich das Gebäude sehr stark auf, dies kann durch die Kühlung nicht kompensiert werden. Hier sollten außenliegende Verschattungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Die Ergebnisse des ersten Betriebsjahres 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

FingerHaus 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 Plusenergiegebäuden 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.

FingerHaus 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 BMUB (ehemals BMVBS) Fördervorhaben „Effizienzhaus Plus“ wurde der folgende Gebäudesteckbrief [1] entwickelt.

3.1 Allgemeine Daten

Die allgemeinen Kenndaten des Gebäudes sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1:
allgemeine Daten.

Baujahr	2011
Bruttogrundfläche	212,8 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	178,7 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	610,3 m ³
Hüllflächenfaktor A / V	0,75m ⁻¹
Gebäudenutzfläche A _N (nach EnEV)	195,0 m ²
Kostengruppe KG 300	232.740 €
Kostengruppe KG 400	44.060 €

3.2 Architektur

Das Gebäude VIO 400 ist ideal für eine vierköpfige Familie und bietet knapp 179 m² Wohnfläche, inklusive des attraktiven Rechteckerkers im Wohn- / Essbereich. Das Erdgeschoss überzeugt durch seine Offenheit und sein harmonisches Farbspiel mit wohnlichen Einrichtungsdetails. Die zum Wohn- / Essbereich offene Küche mit Kochinsel macht das gemeinsame Kochen mit Familie und Freunden zum Erlebnis. Das Arbeitszimmer kann nach Bedarf auch als Gästezimmer genutzt werden.

Das Dachgeschoss bietet großzügige Rückzugsmöglichkeiten für alle Familienmitglieder. Zwei geräumige Kinderzimmer und ein Elternschlafzimmer mit komfortabler Ankleide bilden ein Haus zum Wohlfühlen und Leben.



Bild 1:
Ansicht des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus von Süden.

Die Anordnung der Räume im Erdgeschoss und Obergeschoss zeigen Bild 2 und Bild 3.



Bild 2:
Erdgeschossgrundriss des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus.



Bild 3:
Obergeschossgrundriss des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus.

3.3 Wärmeschutz

Die Transmissionswärmeverluste werden durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle sowie eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion minimiert.

Die Außenwand wird aus einer 16 cm dicken Holzrahmenkonstruktion erstellt, auf die außenseitig ein 8 cm dickes Wärmedämmverbundsystem aufgebracht wird. Der U-Wert der Wand beträgt $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Kunststofffenster werden mit einer 3-Scheiben-Isolierverglasung mit einem U_g -Wert von $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgeführt. Das Fenster hat einen U-Wert von $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das um 38° geneigte Satteldach erhält insgesamt eine 24 cm dicke Dämmschicht und erreicht einen U-Wert von $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Unter der Fundamentplatte ist eine lastabtragende Perimeterdämmung angeordnet, seitlich erhält sie eine Randdämmung. Der Bodenaufbau oberhalb der Fundamentplatte besteht aus einer 9 cm dicken Wärmedämmung, Estrich und Bodenbelag. Die Konstruktion hat einen U-Wert von $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$. Eine Übersicht über die U-Werte der Gebäudehülle zeigt Tabelle 2.

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

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m ² K]
Außenwand (von innen nach außen)	Spachtelmasse		0,15
	Gipsbauplatte	12,5	
	Dampfbremse		
	Holzwerkstoffplatte	13	
	Wärmedämmung WLG 035 zwischen Holzkonstruktion	160	
	Holzwerkstoffplatte	16	
	Wärmedämmung	80	
	Putz	20	
Fenster	Kunststofffenster mit Dreifachverglasung [U _g =0,6 W/m ² K]	-	1,0
Dach (von oben nach unten)	Betondachstein (selbstreinigend)	-	0,18
	Lattung	30	
	Konterlattung	40	
	diffusionsoffene Unterspannbahn		
	Zwischensparrendämmung WLG 035	180	
	zusätzliche Dämmebene	60	
	Lattung	50	
	Gipskarton-Beplankung	12,5	
Bodenplatte (von oben nach unten)	Bodenbelag		0,21
	Estrich	50	
	Wärmedämmung	90	
	Abdichtung		
	Bodenplatte	200	
	Wärmedämmung	100	

3.4 Anlagentechnik

Die extrem energiesparende Gebäudehülle bildet die Grundlage für ein Haus, das dank innovativer und regenerativer Haustechnik zum Plusenergiehaus wird. Eine hocheffiziente Split-Luft- / Wasser-Wärmepumpe mit integrierter Kühlfunktion, wie in Bild 4 gezeigt, deckt den Bedarf für Heizung und Warmwasser. Auf dem Dach erzeugt die Photovoltaikanlage mehr Energie als für den Betrieb der Wärmepumpe sowie für den Bedarf an Hausstrom benötigt wird.

Zusätzlich hilft eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung weitere Energie einzusparen und sorgt außerdem für ein frisches und gesundes Raumklima. Das Musterhaus VIO wurde von der Deutschen Energieagentur (dena) mit dem Gütesiegel Effizienzhaus 55 zertifiziert. Mit der intelligenten Haussteuerung FingerGy, mit der die gesamte Haustechnik wie Licht, Heizung,

Rollläden etc. mit nur einem „FingerTipp“ gesteuert wird, kann zusätzlich der Komfort für alle Bewohner erhöht und weitere Energie eingespart werden.

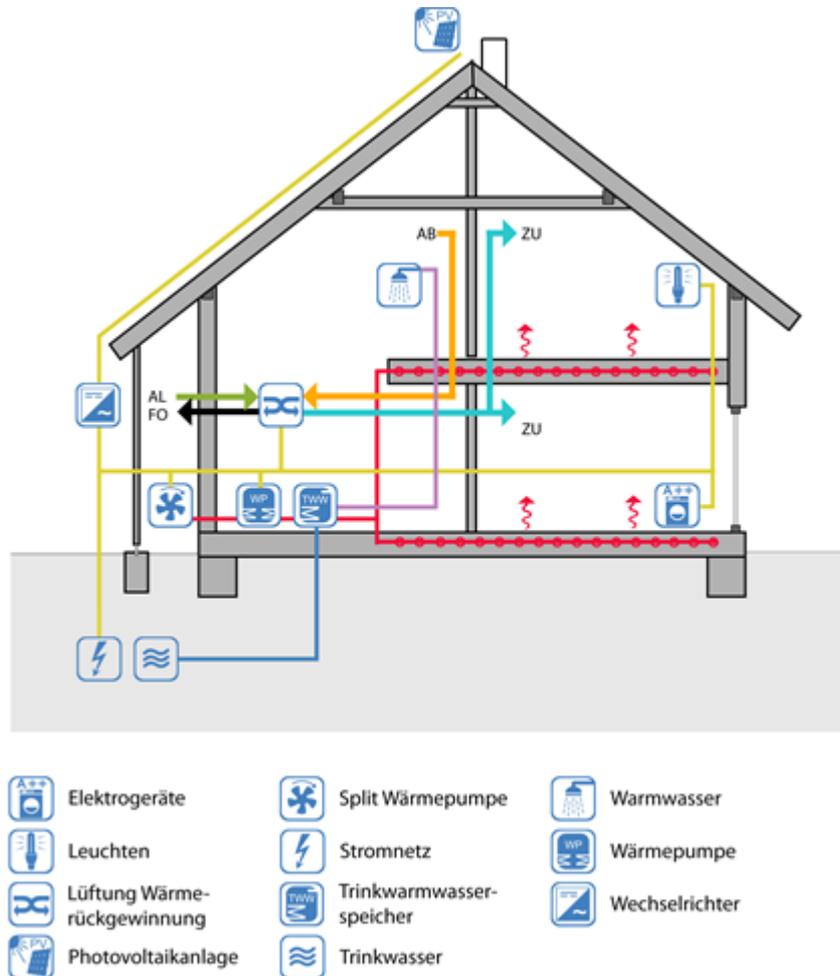


Bild 4:
Haustechnikkonzept Effizienzhaus Plus VIO 400 FingerHaus.

3.5 Energiebedarf und Energiendeckung

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 7.055 kWh/a auf. Davon entfallen auf den Betrieb der Wärmepumpe einschließlich Lüftungsanlage zur Beheizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Lüftung 4.555 kWh/a. Daneben besteht ein Endenergiebedarf für 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 VIO 400 FingerHaus.

VIO 400 Finger-Haus	Heizung	Warmwasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt + Kochen	sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	3.799	1.980	-	-	-	-	-
Wärme- / Kälteabgabe der Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	4.725	6.023	-	-	-	-	-
Endenergie $Q_{x,f}$ [kWh/a]	1.439	1.396	-	781	375	1.625	500
Hilfsenergie $Q_{x,r,f,aux}$ [kWh/a]	228	84	627		-	-	-
Strombedarf [kWh/a]	1.667	1.480	627	781	375	1.625	500
	Gesamt 7.055						

Die Photovoltaikanlage soll gemäß Vorherberechnung jährlich 7.401 kWh Strom erzeugen. Die Überschüsse zwischen Endenergiebedarf (7.055 kWh) und erzeugtem Strom (7.401 kWh) in Höhe von 346 kWh/a werden in das öffentliche Netz eingespeist.

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, wieviel Energie aufgewendet werden muss, um einen bestimmten Nutzen sicher zu stellen. 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 195 m² bezogen.

Tabelle 4:
Vorherberechnung der Energie des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus.

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m ² a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	5.780	29,6
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	10.748	55,1
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	3.616	18,5
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	4.555	23,4
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	11.843	60,7

In den Räumen tritt laut der Vorherberechnung ein Nutzwärme- / Nutzkältebedarf von 5.780 kWh/a für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung auf. Die Verteilung verursacht Verluste in Höhe von 4.968 kWh/a. Um diese Wärme / Kälte bereit zu stellen, benötigt der Erzeuger (Wärmepumpe) 3.616 kWh/a Strom. Die Hilfsenergie für den Betrieb der Anlagentechnik beträgt 939 kWh/a. Der Primärenergieaufwand für die gesamte Haustechnik beträgt somit 11.843 kWh/a. Daraus lassen sich die in Tabelle 5 aufgeführten Aufwands- / Arbeitszahlen ableiten.

Tabelle 5:
Aufwands- / Arbeitszahlen der Vorherberechnung für das Effizienzhaus Plus VIO 400 FingerHaus.

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,86
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,34
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,79
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,27
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	3,00
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	2,05

4 Messkonzept

Das Messkonzept zur messtechnischen Validierung des Gebäudes wurde in Zusammenarbeit mit FingerHaus vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Anlehnung an die Vorgaben, die im BMUB-Förderprogramm festgelegt sind, entwickelt. Es beinhaltet die Erfassung des Innenraumklimas im Erd- und Obergeschoss sowie der Verbräuche der Elektro- und Wärmeversorgung. Zur Bestimmung des Innenraumklimas werden in einzelnen Räumen des Erd- und Obergeschosses die Parameter Temperatur und relative Luftfeuchte der Raumluft 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.

Die Messkonfiguration der Wärmeversorgung erfasst gemäß Bild 6 die Wärmemengen, die die Luft- / Wasser-Wärmepumpe mit integriertem Speicher an den Trinkwarmwasserkreislauf und die Fußbodenheizung für den Betrieb der Heizung / Kühlung abgibt. Ferner werden die Temperaturen der Zu-, Ab-, Fort- und Außenluft und die Volumenströme der Zu- und Abluft der Lüftungsanlage gemessen. Mit der installierten Messtechnik lassen sich die Effizienzen der eingesetzten Anlagensysteme im praktischen Betrieb ermitteln.

ELEKTROVERSORGUNG

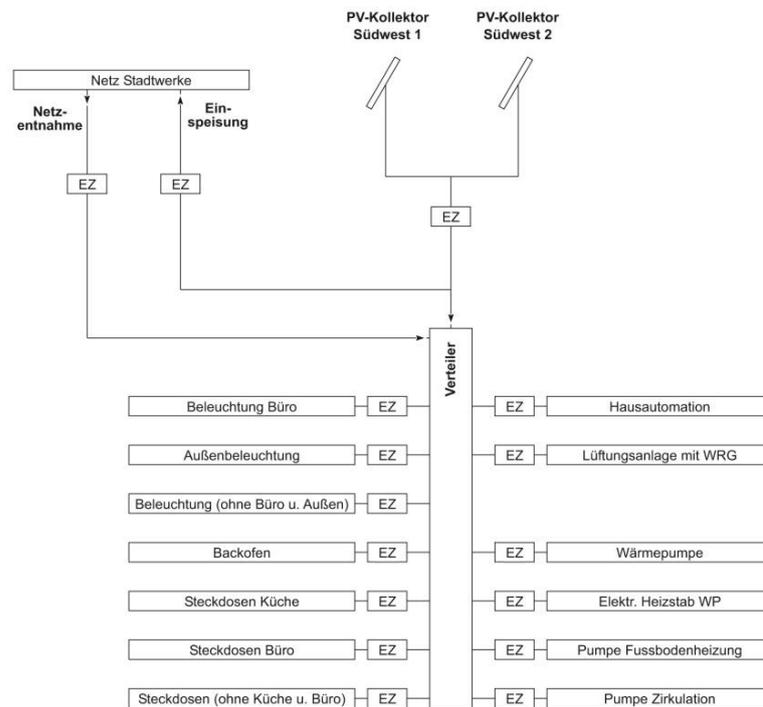
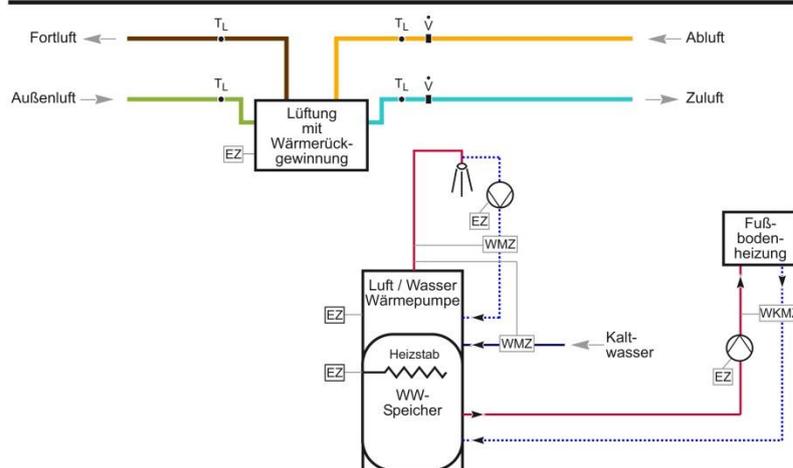


Bild 5:
Messkonfiguration Elektroversorgung des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus.

WÄRMEVERSORGUNG



MESSDATENPUNKTE: **EZ** - Elektrozähler **WMZ** - Wärmemengenzähler **WKMZ** - Wärme-/Kältemengenzähler \dot{V} - Volumenstrom T_L - Lufttemperatur

Bild 6:
Messkonfiguration Wärmeversorgung des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus.

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 selbst wurden keine Wetterdaten aufgezeichnet. Es wird daher für den Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2014 auf meteorologische Daten, die an einem Gebäude der FertighausWelt in Köln-Frechen aufgezeichnet wurden, und auf Werte der Station Euskirchen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurückgegriffen. Diese werden mit den Klimadaten des Referenzklimas für Deutschland, das der EnEV2009-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 (März 2013 bis Oktober 2014) und des DWD in Euskirchen (November 2012 bis Oktober 2014) sowie die Werte des Referenzklimas nach EnEV 2009 sind in Bild 7 dargestellt.

Es zeigen sich Abweichungen zwischen gemessener Strahlung und Referenzklima für die Monate April bis August 2013. Das Referenzklima weist in den Monaten April bis Juni eine höhere mittlere monatliche Strahlungsintensität auf. Im Juli und August sind die Strahlungsintensitäten des Normklimas geringfügig kleiner als die Messwerte des Jahres 2013.

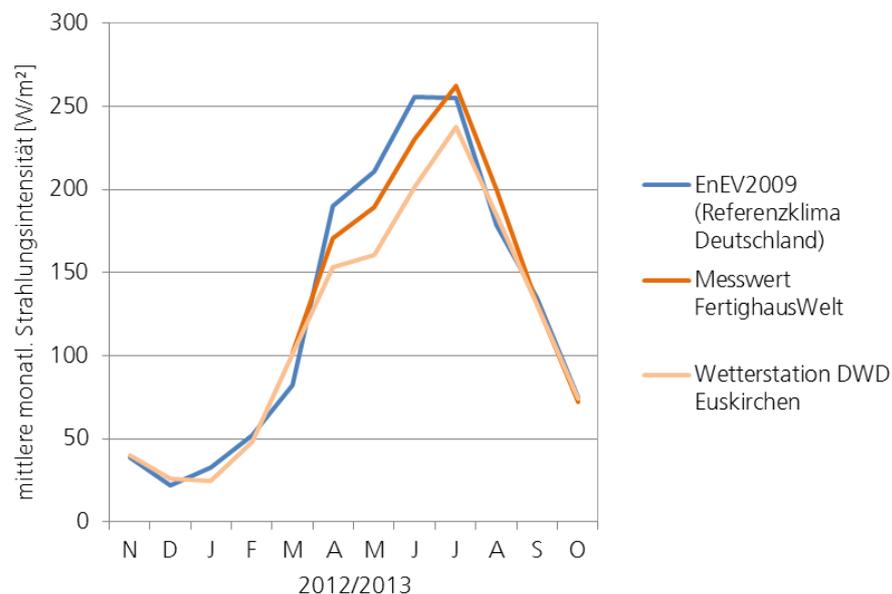


Bild 7: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

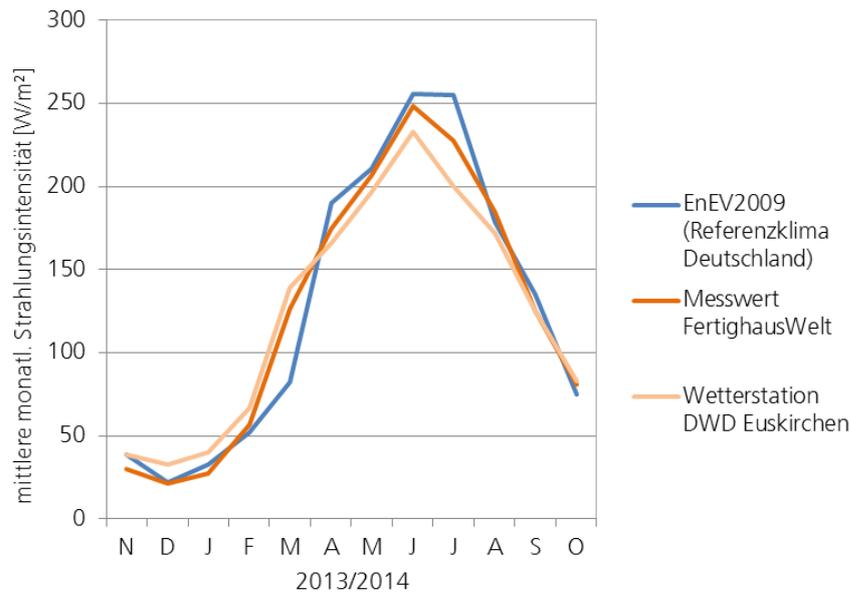


Bild 8: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

Im 2. Messjahr ist die monatliche Strahlungsintensität im März 2014 höher als das Normklima, während in den Monaten April bis August 2014 eine geringere Strahlungsintensität gemessen wurde als nach Normklima vorgegeben wird. Die Strahlungsdaten der Wetterstation des Gebäudes der FertighausWelt und der des DWD in Euskirchen zeigen nur geringfügige Abweichungen, für die weiteren Betrachtungen wird die gemessene Globalstrahlung des Musterhauses herangezogen.

5.2 Außenlufttemperaturen

Die am Gebäude eines Musterhauses der FertighausWelt gemessenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen sowie die der Wetterstation in Euskirchen und die Werte des Referenzklimas sind für die 2 Messjahre in Bild 9 und Bild 10 gezeigt.

Wie Bild 9 zeigt, wurden am Modellprojekt selbst erst ab März 2013 Temperaturwerte aufgezeichnet. Für beide Messjahre zeigen die gemessenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen eine gute Übereinstimmung zu den Daten des DWD der Station Euskirchen. Es wird daher im Folgenden bei der Auswertung auf die Außenlufttemperaturdaten der FertighausWelt zurückgegriffen. Es ist weiter erkennbar, dass die Messwerte der Außenlufttemperaturen im 1. Messjahr von November bis Januar 2013 und Juli 2013 höher und im März 2013 geringer waren als das Referenzklima. Im 2. Messjahr ist aufgrund des milden Winters die Außenlufttemperatur von November 2013 bis März 2014 um bis zu 5 K höher als das Referenzklima.

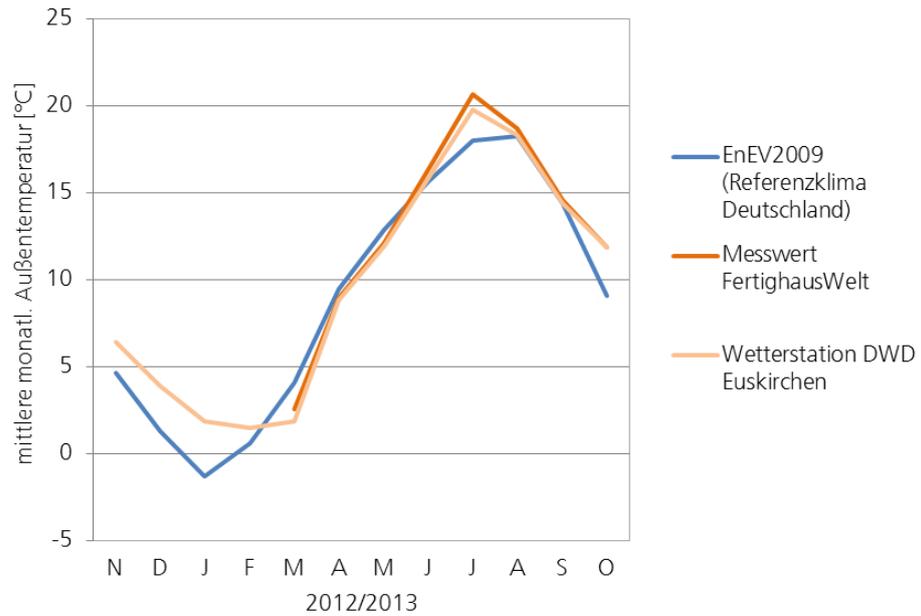


Bild 9: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

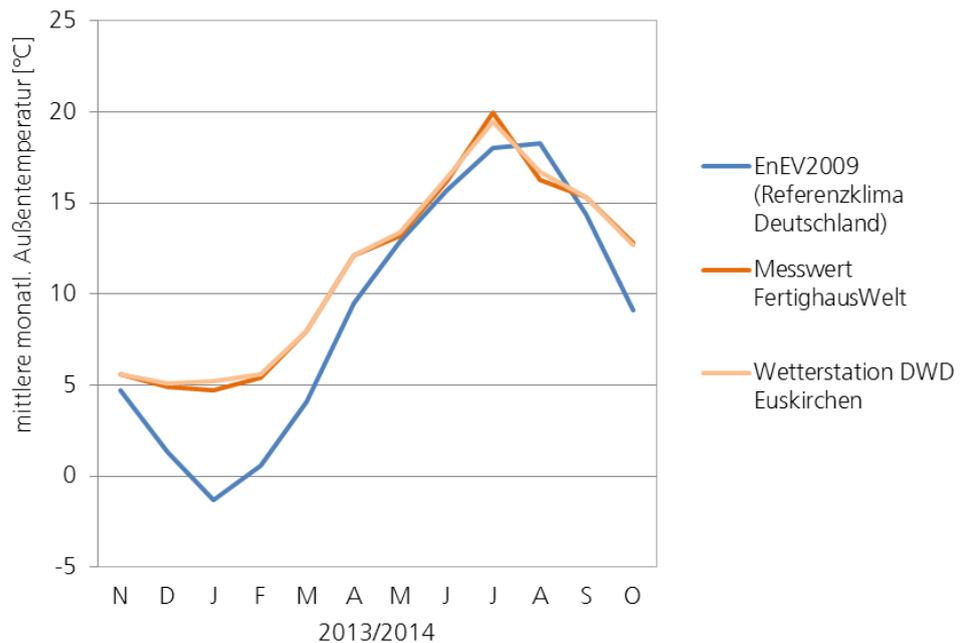


Bild 10: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

5.3 Klimabereinigung

Messwerte sind stark vom lokalen und saisonalen Klima geprägt, das während der Messperiode vorherrschte. 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 sind in Tabelle 6 dargestellt.

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

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20 / 12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen November 2012 bis Oktober 2013 (1. Messperiode)	3.058
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen November 2013 bis Oktober 2014 (2. Messperiode)	2.299
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	2.901
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Das Wetter während der Messperiode war also im 1. Messjahr geringfügig kälter und im 2. Messjahr wärmer als am Standort Köln-Frechen im langjährigen Mittel üblich. Es war insgesamt aber wärmer als unter mittleren deutschen Klimaverhältnissen üblich. Es ergeben sich daraus folgende Klimafaktoren:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Köln-Frechen:
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 3.058 \text{ Kd} = 0,95$ (1. Messperiode)
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 2.299 \text{ Kd} = 1,26$ (2. Messperiode)
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3.058 \text{ Kd} = 1,18$ (1. Messperiode)
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.299 \text{ Kd} = 1,57$ (2. Messperiode)

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 0,95 bzw. 1,26 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 1,18 bzw. 1,57 multipliziert werden.

6 Messergebnisse

6.1 Messwerterfassung Chronologie

Im November 2012 wurde mit dem Monitoring im Modellgebäude begonnen. Anstatt einer autarken Messwerterfassung für das Monitoring wurde seitens

FingerHaus auf ein externes Datenmanagementsystem des Wärmepumpenherstellers zurückgegriffen. Die Messwertübertragung war geprägt von vielen Messausfällen und einer langwierigen Übermittlung. Ein Vergleich der übermittelten Messwerte mit den vor Ort abgelesenen Hauptzählern wiesen Unstimmigkeiten (Faktorfehler) auf, die nicht behoben werden konnten. Die Messwerte der Wärmemengenzähler konnten von dem externen System weder gespeichert noch übertragen werden. Es wurden daher händisch die monatlichen Werte der Hauptzähler abgelesen und für die Auswertung verwendet. Die im Messkonzept dargestellten Elektrozähler wurden nicht alle installiert, so dass eine detaillierte Aufteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Verbraucher teilweise nicht gegeben ist. Die Auswertung der Messergebnisse in Bezug auf die Energiebilanz für die zweijährige Messphase wird von November 2012 bis Oktober 2014 geführt. Eine Betrachtung zur Temperaturentwicklung in den Aufenthaltsräumen erfolgt für die Monate Juli, August 2013 und August 2014 sowie für den Januar 2013 und 2014.

6.2 Stromertrag

Die vor Ort gemessenen monatlichen Erträge der Photovoltaikanlage sowie die gemessene mittlere Strahlungsintensität an der Wetterstation eines Musterhauses der FertighausWelt für das 1. Messjahr und die Vorgaben nach EnEV 2009 zeigt Bild 11. Für das 2. Messjahr sind die Daten in Bild 12 zusammengestellt.

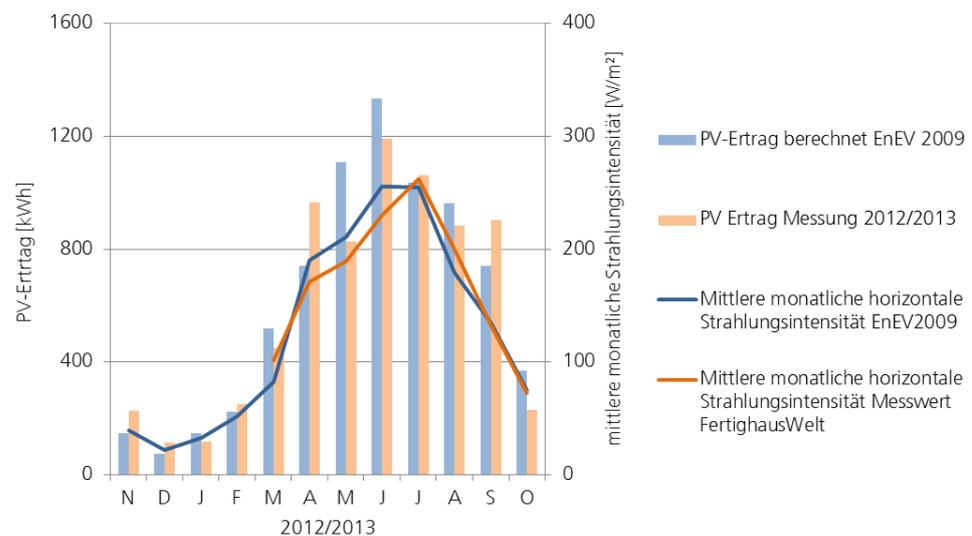


Bild 11: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der PV-Anlage im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

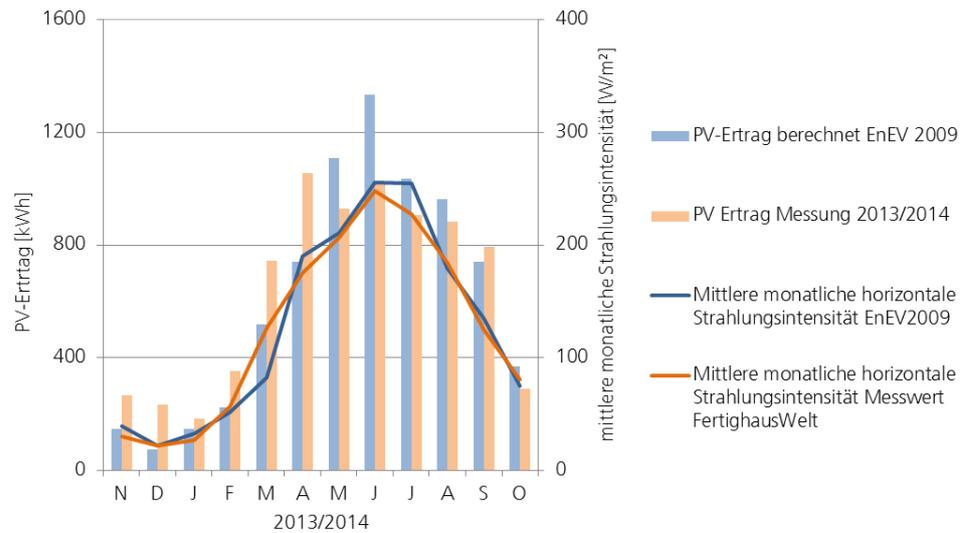


Bild 12: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der PV-Anlage im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

Gemäß den Vorherberechnungen nach EnEV 2009 liefert die Photovoltaikanlage einen Ertrag von 7.401 kWh pro Jahr. Im Messzeitraum von November 2012 bis Oktober 2013 war der Ertrag um 179 kWh geringer, nämlich 7.222 kWh. Im 2. Messjahr konnte ein um 257 kWh höherer PV-Ertrag erreicht werden als vorherberechnet. Der Ertrag lag bei 7.658 kWh Strom. Auffällig, trotz der relativ guten Übereinstimmung der Gesamterträge, war die Abweichung einzelner Monaterträge im 2. Messjahr. Trotz gleicher mittlerer gemessener Strahlungsintensität und Strahlungsintensität nach Normklima der EnEV2009 ist der Ertrag der PV-Anlage im September 2013 und von November 2013 bis Januar 2014 höher als die Vorherberechnung. In den übrigen Monaten stimmen die Tendenzen der Strahlungsintensität mit denen des PV-Ertrages überein.

Den spezifischen, auf die Photovoltaikfläche von 60,42 m² bezogenen Stromertrag zeigen Bild 13 für das 1. Messjahr und Bild 14 für das 2. Messjahr. Er beträgt im Mittel im 1. Messjahr 10,0 kWh/m²_{PV} und im 2. Messjahr 10,6 kWh/m²_{PV}.

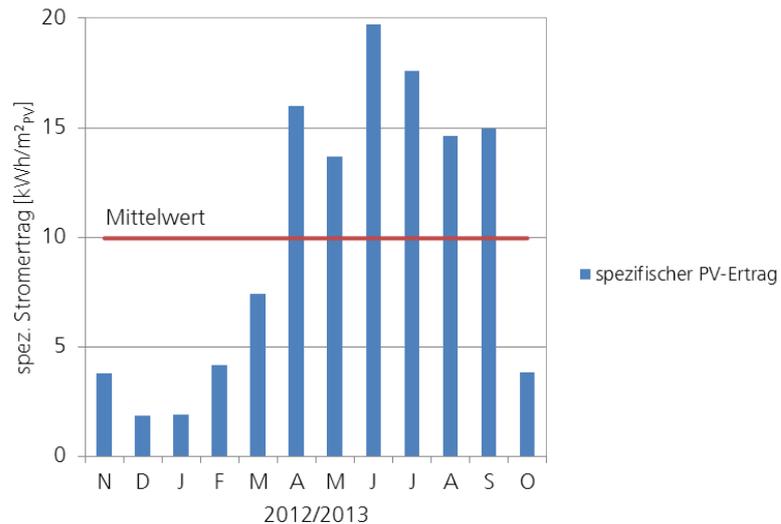


Bild 13: spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

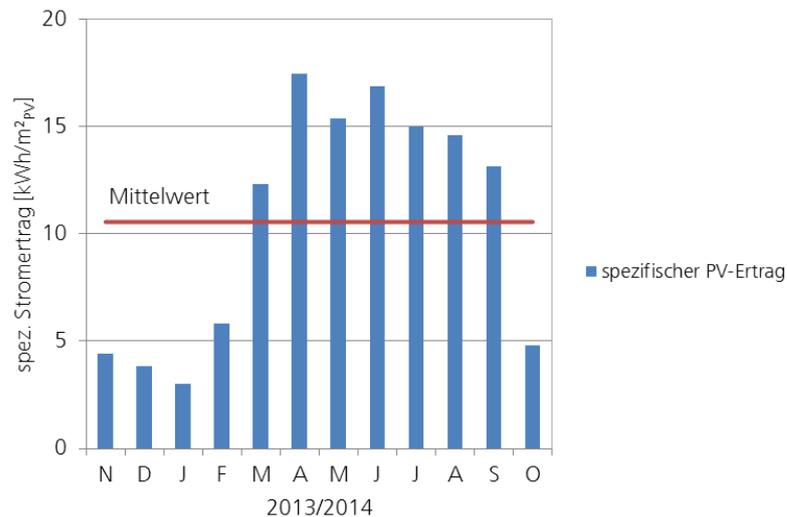


Bild 14: spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

6.3 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch im Effizienzhaus Plus VIO 400 der Firma FingerHaus setzt sich aus 2 Anteilen zusammen, die bei der Bilanzierung zu beachten sind:

- Hausverbrauch (Heizung + Trinkwarmwasser inkl. indirekte Kühlung, Beleuchtung, Hilfsenergie, Elektrogeräte)
- Projektspezifischer Anteil (Außenbeleuchtung)

Die monatlichen Summen für das 1. Messjahr sind in Bild 15 und für das 2. Messjahr in Bild 16 dargestellt. Bei der Bilanzierung ist zu berücksichtigen, dass aufgrund fehlender Messsensoren Anteile der Hilfsenergie wie z. B. die Gebäu-

deautomation und Messwerterfassung und –speicherung mit in der Position Elektrogeräte enthalten sind.

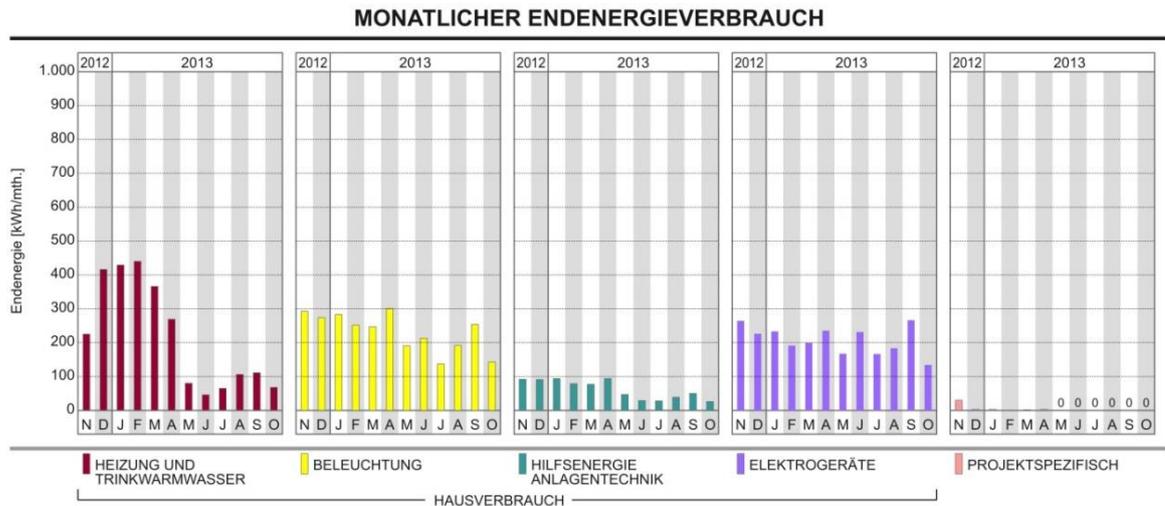


Bild 15:
gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus Plus VIO 40 FingerHaus im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

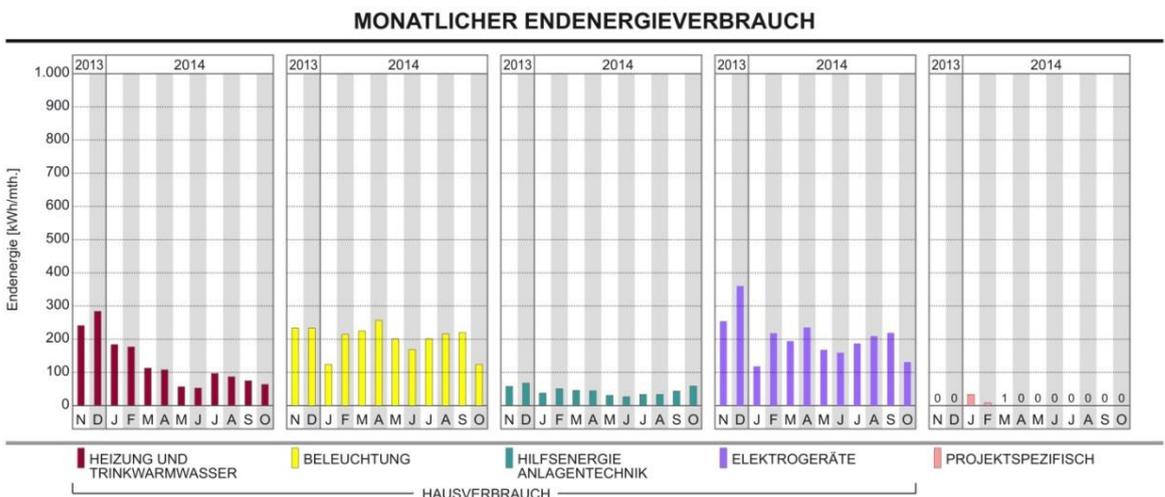


Bild 16:
gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus VIO 400 FingerHaus im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

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

Tabelle 7:
Endenergieverbrauch des Effizienzhauses Plus VIO 400 im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2014.

Endenergieverbrauch					
Messjahr	Heizen, Kühlen, TWW [kWh]	Beleuchtung [kWh]	Hilfsenergie [kWh]	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse + Sonstiges (einschl. Hausautomation, Messwerterfassung, - speicherung) [kWh]	Summe [kWh]
2012/13	2.619	2.780	746	2.465	8.610
2013/14	1.539	2.418	534	2.464	6.955

Der Stromverbrauch für den Hausbetrieb beträgt in der Summe somit für das 1. Messjahr 8.610 kWh/a und für das 2. Messjahr, unter anderem aufgrund eines milderen Klimas, 6.955 kWh/a.

6.3.1 Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser

Bild 17 zeigt den monatlichen Stromverbrauch der Split-Luft- / Wasser-Wärmepumpe für die Heizwärmebereitstellung, die Trinkwarmwasserbereitung und die indirekte Kühlung in den Sommermonaten über die Fußbodenheizung für das 1. Messjahr. Für das 2. Messjahr sind die Daten in Bild 18 dargestellt.

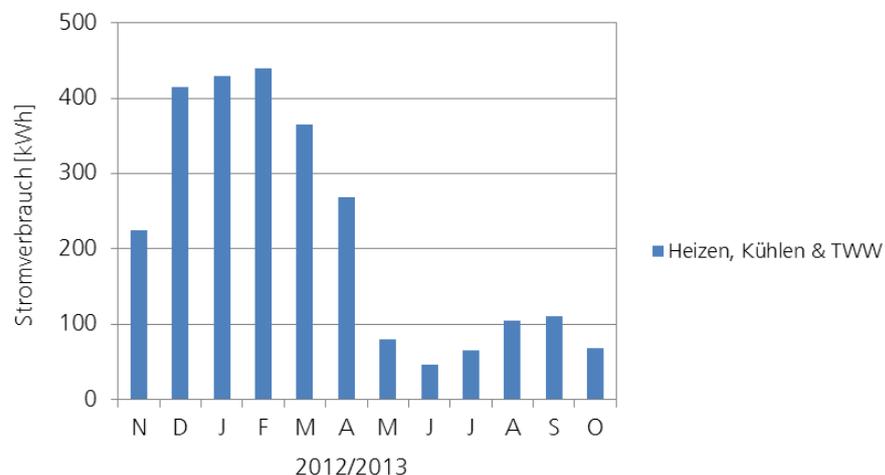


Bild 17:
Stromverbrauch Heizen, Kühlen und Trinkwarmwasserbereitung im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

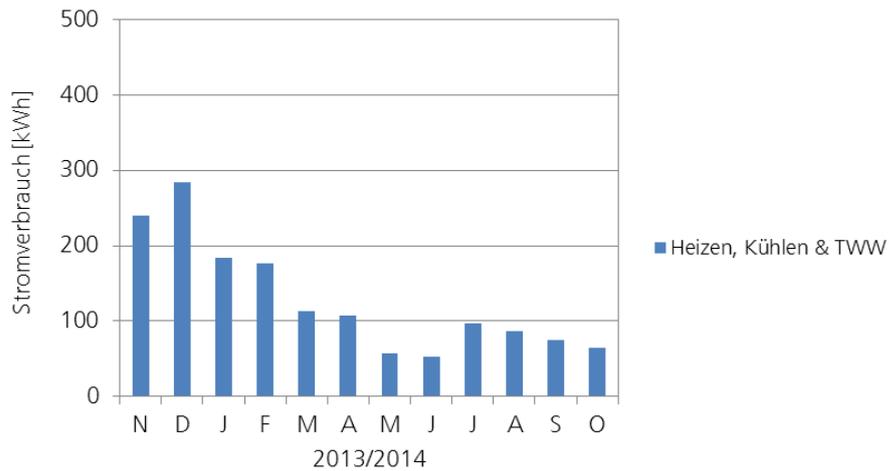


Bild 18:
Stromverbrauch Heizen, Kühlen und Trinkwarmwasserbereitung im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

Aufgrund des milderen Winters bzw. Frühjahrs verbraucht die Wärmepumpe im 2. Messjahr von Dezember 2013 bis April 2014 55 % weniger Energie als im gleichen Zeitraum des Vorjahres. Die Endenergie, die zur Bereitstellung der indirekten Kühlung und der Trinkwarmwasserbereitung von Juli bis September benötigt wird, ist in beiden Messjahren in etwa gleich groß.

In Ergänzung zur Darstellung des reinen Stromverbrauchs für Heizen und Trinkwarmwasserbereitung wird der gesamte Stromverbrauch der haustechnischen Anlagen einschließlich der Hilfsenergien dargestellt. Bild 19 zeigt dazu den Vergleich des Stromverbrauchs für die Prozesse Heizen, Trinkwarmwasserbereitung, Kühlen und Lüften einschließlich der Hilfsenergien für die Berechnung nach EnEV 2009 und die Messwerte für das 1. Messjahr. Die Werte für das 2. Messjahr sind in Bild 20 dargestellt.

Für den Absolutwert des jährlichen Verbrauchs zeigt sich im 1. Messjahr (3.366 kWh/a) eine Unterschreitung von 26 % zur Vorherberechnung (4.555 kWh/a). Im 2. Messjahr (2.073 kWh/a) wurde der vorherberechnete Wert um 55 % unterschritten. Bei der monatlichen Betrachtung der Messwerte zeigen sich für alle Monate bis auf den März und April 2013 Unterschreitungen gegenüber den vorherberechneten Werten.

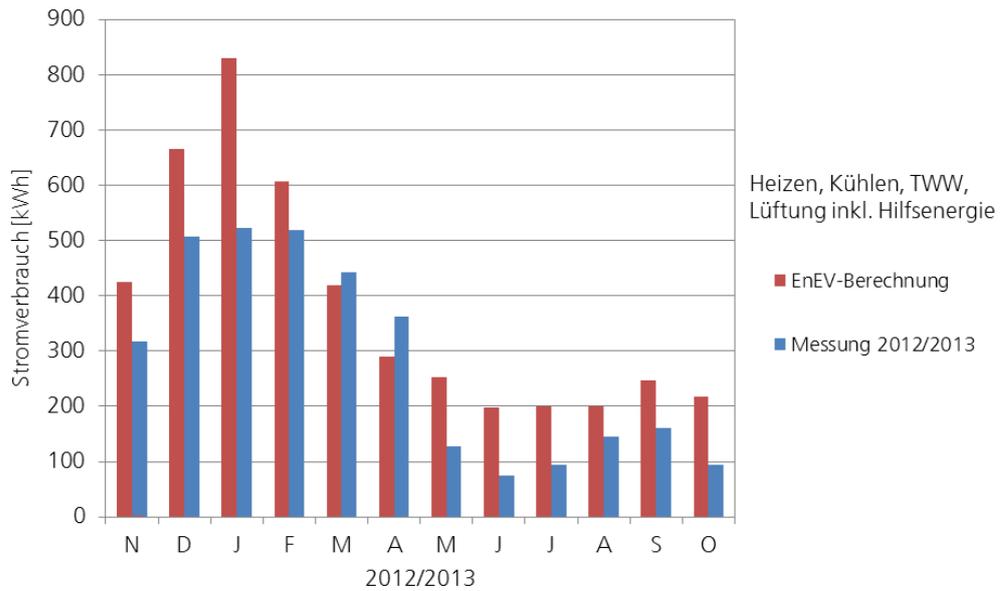


Bild 19: Stromverbrauch und –bedarf Heizung, TWW, Kühlung, Lüftung einschl. Hilfsenergie im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

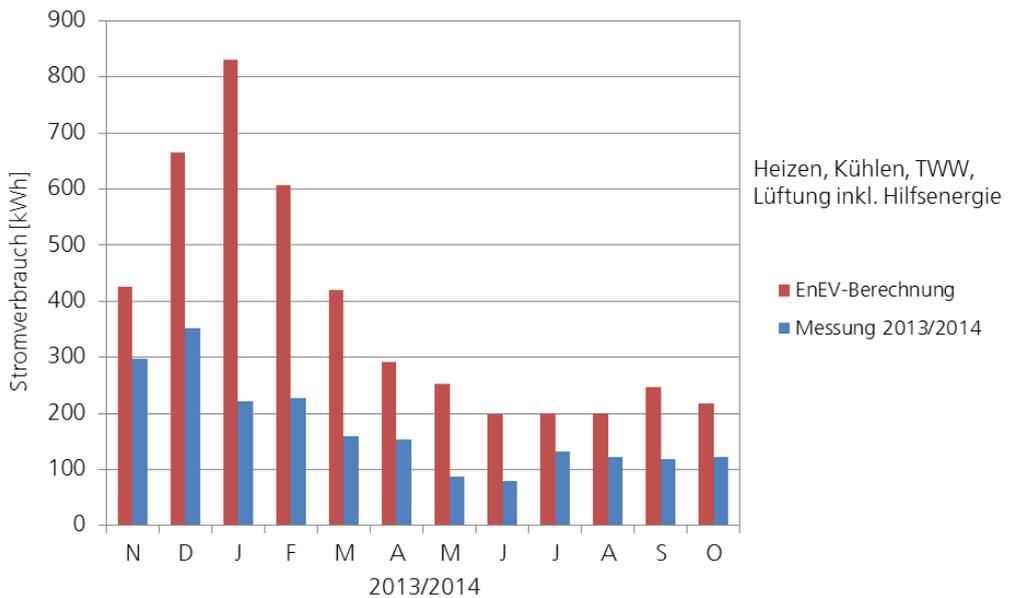


Bild 20: Stromverbrauch und –bedarf Heizung, TWW, Kühlung, Lüftung einschl. Hilfsenergie im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

6.3.2 Stromverbrauch Beleuchtung

Der Stromverbrauch für die Beleuchtung hat im 1. Messjahr eine Größe von 2.780 kWh/a und im 2. Messjahr von 2.418 kWh/a. Bild 21 und Bild 22 zeigen die monatlichen Verläufe für das 1. und 2. Messjahr sowie die vorherberechneten Werte gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus Standard.

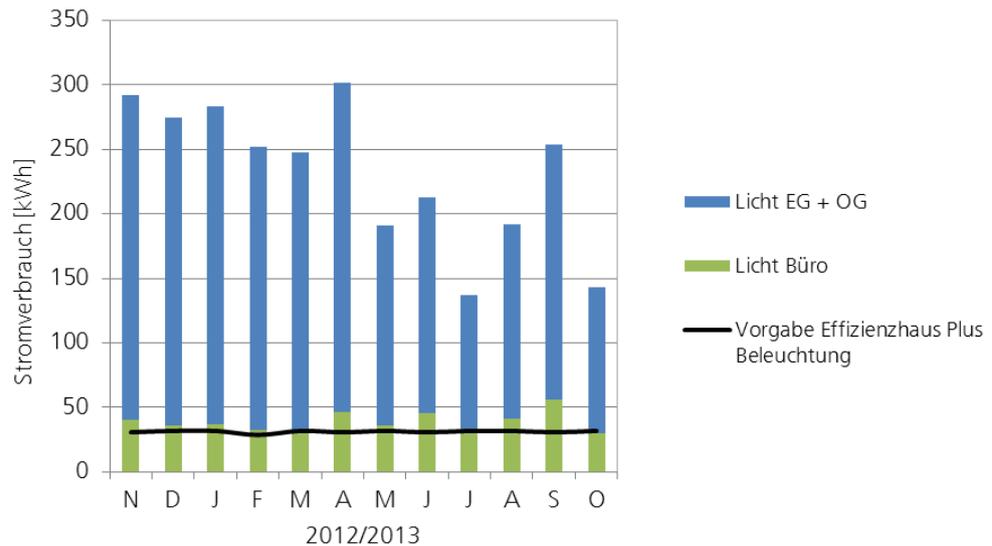


Bild 21:
Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

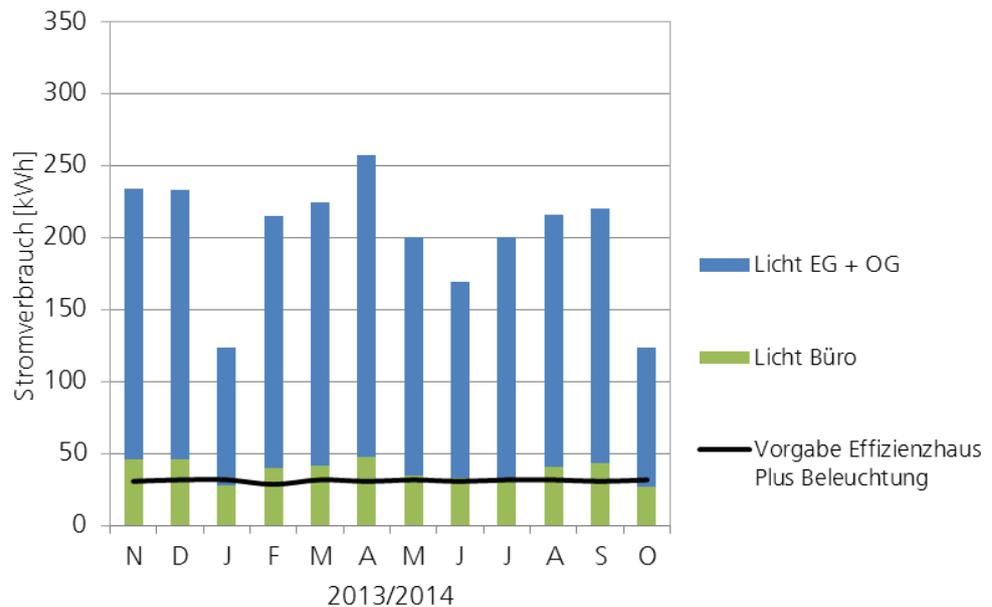


Bild 22:
Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

Die Grafiken zeigen, dass der in der Berechnung vorgegebene Verbrauch des Effizienzhaus Plus Standards mit monatlich ca. 31 kWh bereits durch einen Raum mit einer Büronutzung abgedeckt wird. Der Gesamtverbrauch der Beleuchtung übersteigt den Grenzwert nach Effizienzhaus Plus Standard im 1. Messjahr um 540 % und im 2. Messjahr um 640 %. Der extrem hohe Stromverbrauch für die Beleuchtung des Hauses ist durch die Funktion des Gebäudes als Musterhaus bedingt, sollte jedoch im Hinblick auf die Energieeffizienz des Gebäudes reduziert werden.

6.3.3 Stromverbrauch Hilfsenergie

Die Aufteilung des Stromverbrauchs der Hilfsenergie erfolgt in die Anteile Lüftung, Pumpen und Steuerung. Die Monatswerte für die 1. Messperiode sind in Bild 23 und die für die 2. Messperiode in Bild 24 dargestellt.

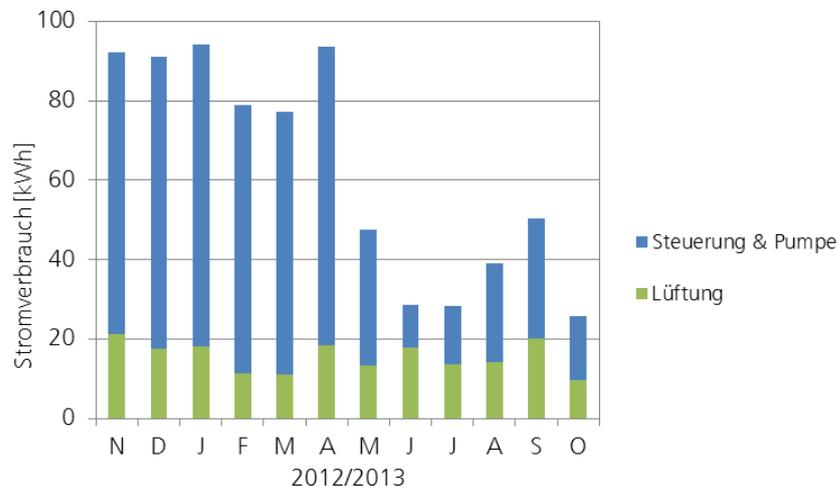


Bild 23: Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

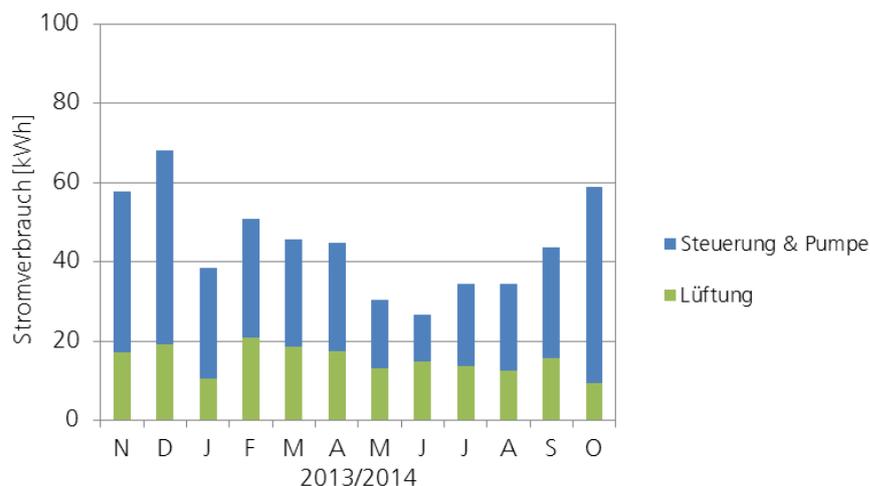


Bild 24: Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Im 1. Messjahr wurden für die Hilfsenergie 747 kWh/a und im 2. Messjahr 534 kWh/a Strom verbraucht. Damit wurden für den Betrieb der Wärmepumpe und Lüftungsanlage im 1. Messjahr 20 % und im 2. Messjahr 43 % weniger Energie benötigt als vorherberechnet. Für die Lüftungsanlage, die ganzjährig kontinuierlich läuft, werden jährlich 25 % bis 34 % der Hilfsenergie benötigt. Der Stromverbrauch für die Steuerung der Wärmepumpe und den Betrieb der Hocheffizienzpumpe beträgt im 1. Messjahr, während der Heizperiode von November 2012 bis März 2013, 354 kWh und konnte im 2. Messjahr um 50 % auf 174 kWh gesenkt werden.

6.3.4 Stromverbrauch Haushaltsgeräte

An der Messstelle Haushalt wird die gesamte Endenergie erfasst, die die Haushaltsgeräte, Steckdosen, Gebäudeautomation und Messtechnik betrifft. Hier liegen keine Messwerte zu Einzelzählern wie Backofen, Steckdosen Küche, Steckdosen Büro, Steckdosen ohne Küche und Büro und Hausautomation, wie in der Skizze in Bild 5 gezeigt, vor.

Die monatliche Verteilung des Energieverbrauchs für die Haushaltsgeräte und Sonstiges sowie die Vorgabe gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus Standard sind für das 1. Messjahr in Bild 25 und das 2. Messjahr in Bild 26 gezeigt. Der monatliche Stromverbrauch für die Haushaltsgeräte und Steckdosen lag im 1. und 2. Messjahr im Mittel bei 205 kWh/mth und damit 16 % über dem zulässigen Verbrauch von im Mittel 177 kWh/mth nach der Vorgabe Effizienzhaus Plus. Aufgrund fehlender Einzelzähler kann eine genaue Unterteilung der Endenergie in Haushaltsgeräte und -prozesse nicht vorgenommen werden.

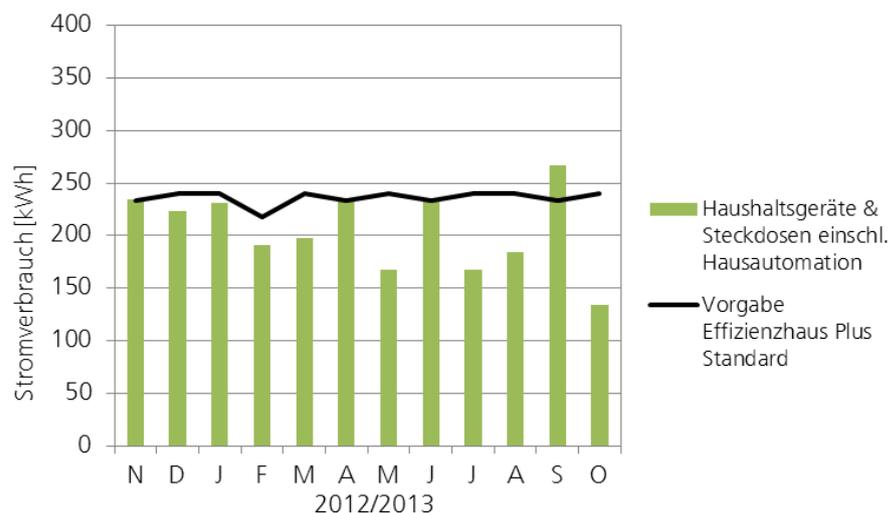


Bild 25: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

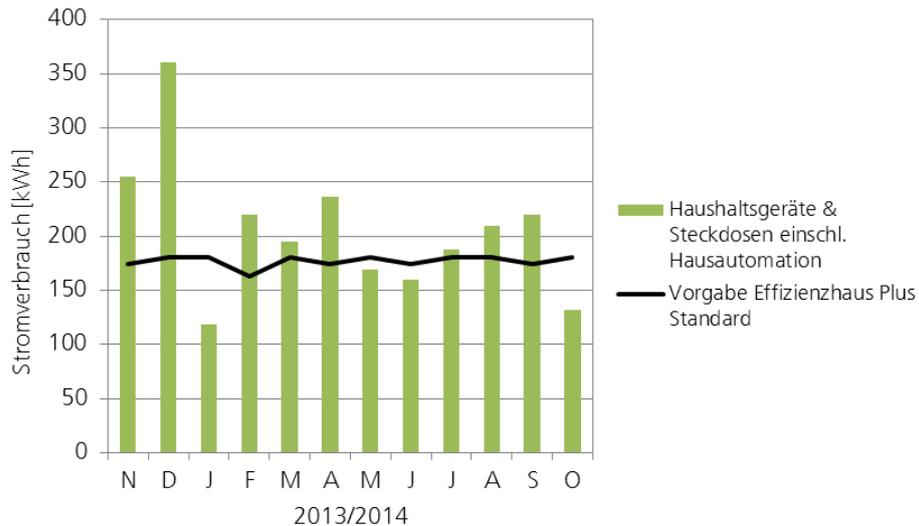


Bild 26:
Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

6.3.5 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag

Eine Energiebilanz aus den Stromerträgen und Stromverbräuchen im 1. Messjahr zeigt Bild 27.

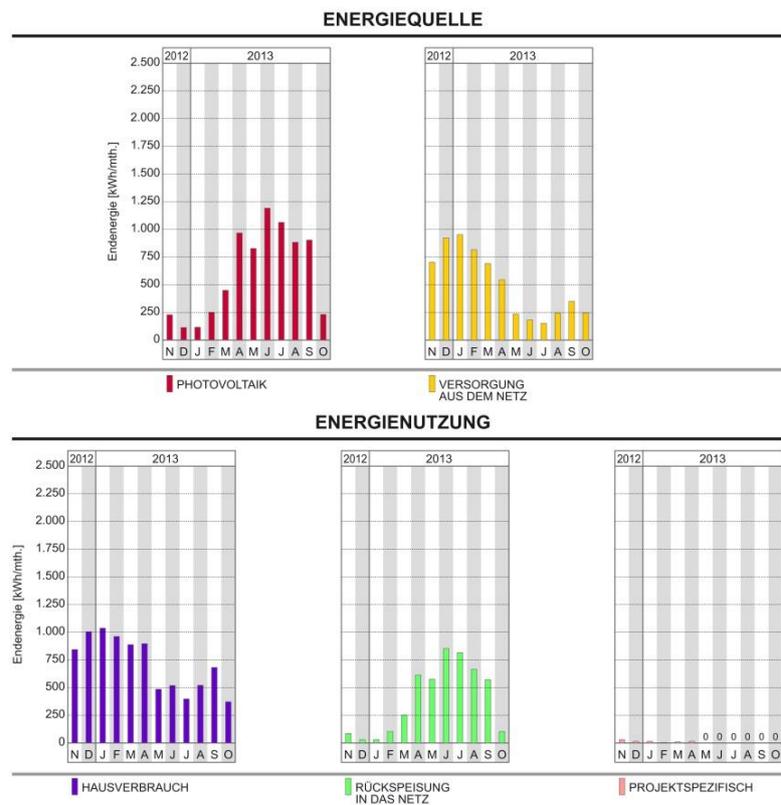


Bild 27:
Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus VIO 400 FingerHaus im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

Von der Photovoltaikanlage wurden im 1. Messjahr 7.222 kWh/a generiert, davon wurden 2.582 kWh/a selbst im Haus genutzt und 4.640 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im Messzeitraum 6.028 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch (ohne projektspezifischen Anteil (42 kWh/a)) von 8.610 kWh/a.

Im 2. Messjahr wurden, wie Bild 28 zeigt, von der Photovoltaikanlage 7.658 kWh/a generiert, davon wurden 2.711 kWh/a selbst im Haus genutzt und 4.947 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im Messzeitraum 4.286 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch (ohne projektspezifischen Anteil (42 kWh/a)) von 6.955 kWh/a.

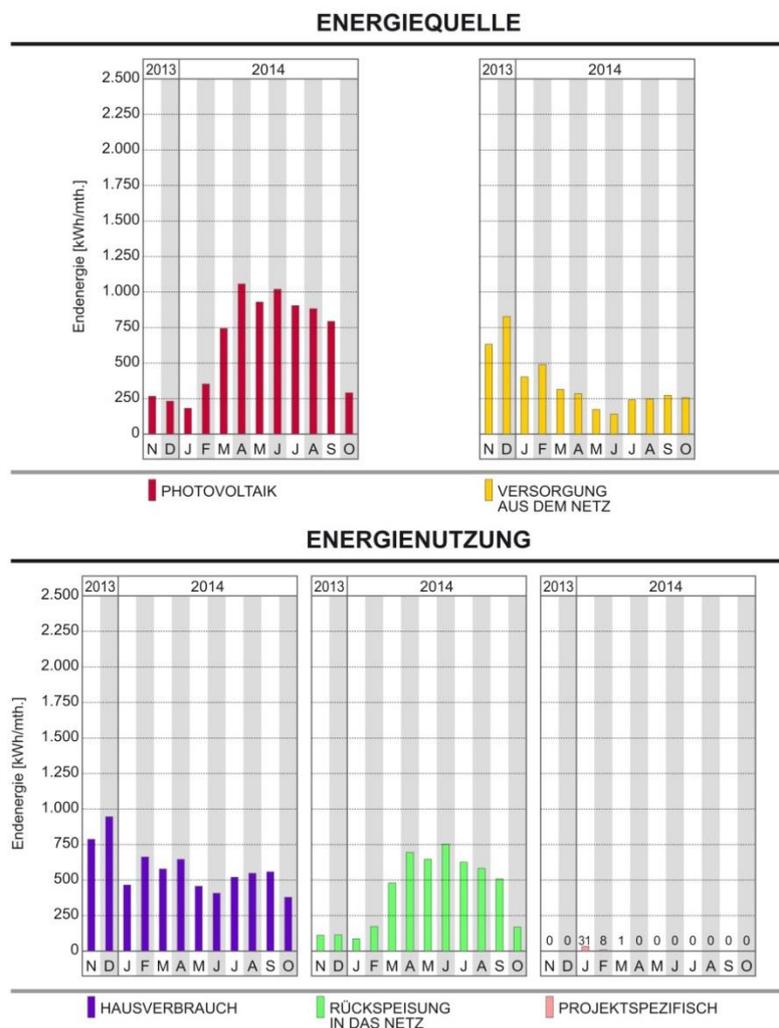


Bild 28:
Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus VIO 400 FingerHaus im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

Das Photovoltaiksystem konnte somit, wie Bild 29 zeigt, den Hausverbrauch im 1. Messjahr nicht decken. Die Differenz zwischen Verbrauch und Ertrag beträgt 1.430 kWh. Der vorherberechnete Endenergieüberschuss von 349 kWh wird nicht erreicht. Die größte Abweichung zwischen der Vorherberechnung und der Messung resultiert aus dem erhöhten Stromverbrauch für die Beleuchtung und die Haushaltsgeräte. Es waren 2.500 kWh angesetzt und es wurden im Laufe des 1. Messjahres 5.287 kWh - gut das doppelte - verbraucht. Der projektspezifische Verbrauch von 42 kWh/a, der den Energieverbrauch für die Außenbeleuchtung beinhaltet, wird bei der kumulierten Endenergie nicht berücksichtigt.

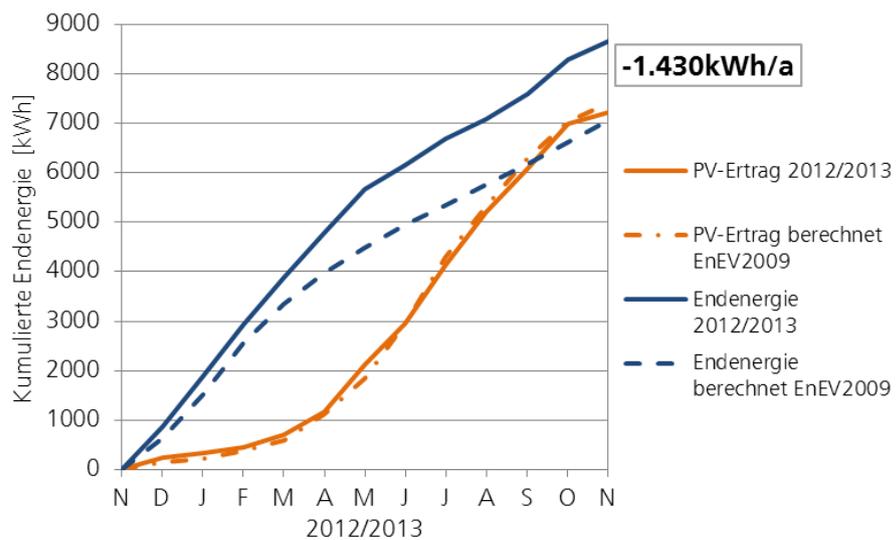


Bild 29: kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

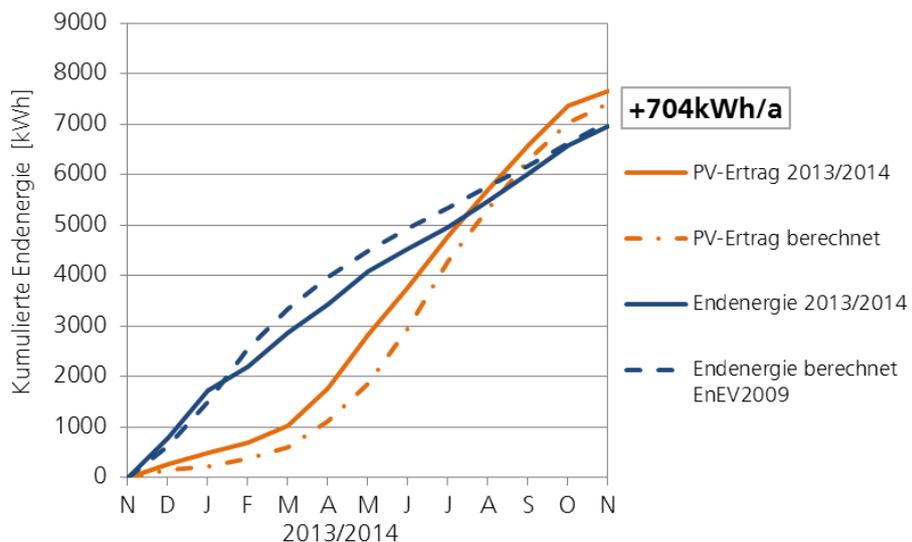


Bild 30: kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus der Photovoltaikanlage des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

Im 2. Messjahr wurde, wie Bild 30 zeigt, ein Energieüberschuss von 704 kWh erzeugt. Dieser resultiert sowohl aus der Mehrproduktion der PV-Anlage als auch aus einem geringeren Hausverbrauch.

6.4 Eigenstromnutzung und Autarkiegrad

Bild 31 und Bild 32 zeigen für das 1. und 2. Messjahr die monatlichen Photovoltaikerträge aufgeteilt in die Anteile Eigenverbrauch und Einspeisung in das öffentliche Netz sowie die Darstellung der Eigenverbrauchsquote.

Der von der Photovoltaikanlage produzierte und im Gebäude selbst genutzte Strom betrug in den Monaten April bis September 2013 im Mittel 31 %. In den Wintermonaten steigt der selbstgenutzte Anteil des PV-Stroms aufgrund des geringen Angebots auf 74 % an. Im Jahresmittel lag der Eigenverbrauch bei 46 %.

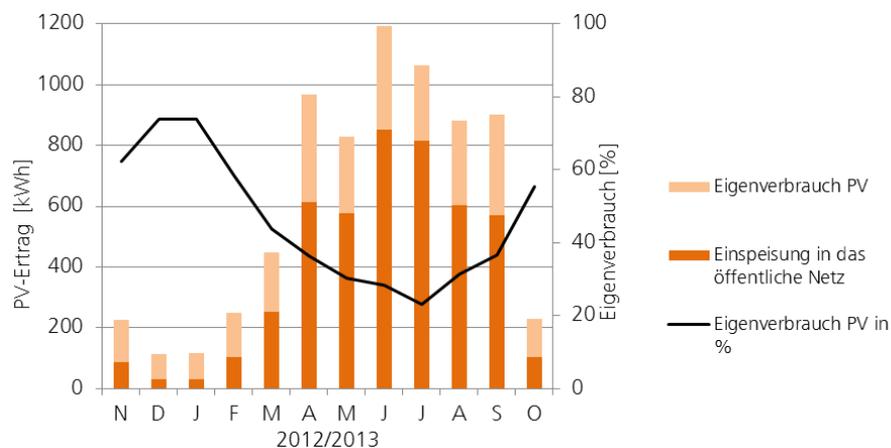


Bild 31: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch und Netzeinspeisung sowie prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2013.

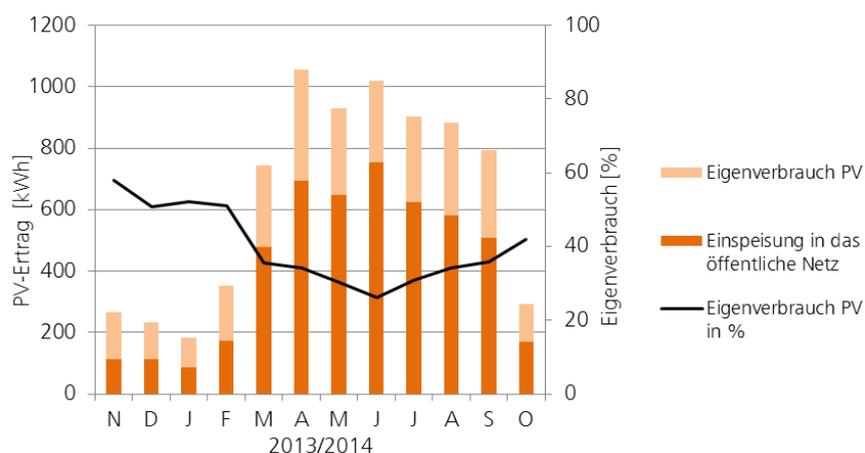


Bild 32: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch und Netzeinspeisung sowie prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

Im 2. Messjahr betrug der im Gebäude selbst genutzte Strom in den Monaten April bis September 2014 im Mittel 32 %. In den Wintermonaten steigt er auf 58 % an und liegt im Jahresmittel bei 40 %.

Die Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und der monatliche Autarkiegrad in Bezug auf den PV-Strom sind für das 1. Messjahr in Bild 33 und das 2. Messjahr in Bild 34 gezeigt. Der Autarkiegrad beschreibt dabei den Deckungsanteil des Endenergiebedarfs des Gebäudes durch den selbst generierten Photovoltaikstrom. Er schwankt im 1. Messjahr zwischen 8 % und maximal 65 % und liegt im Mittel bei 35 %. Im 2. Messjahr schwankt er zwischen 12 % und 65 % und liegt im Mittel bei 42%.

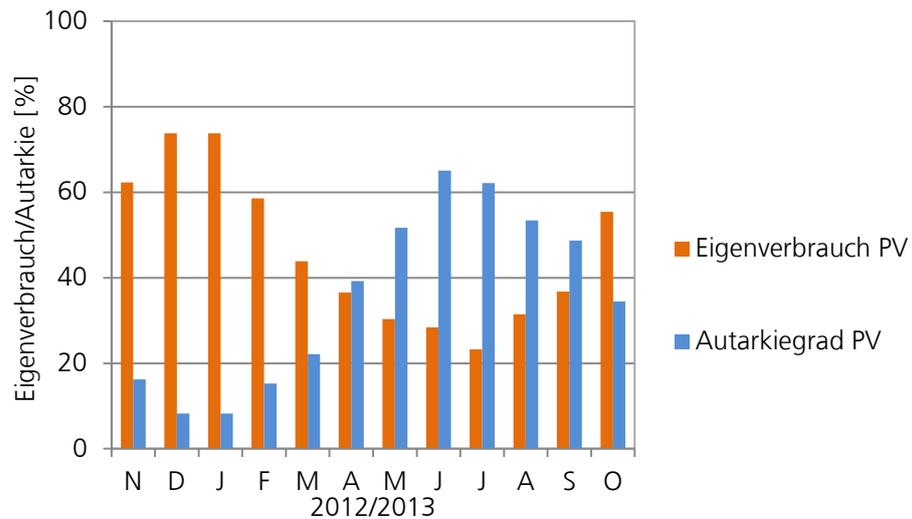


Bild 33: monatliche Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad des PV-Stroms im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

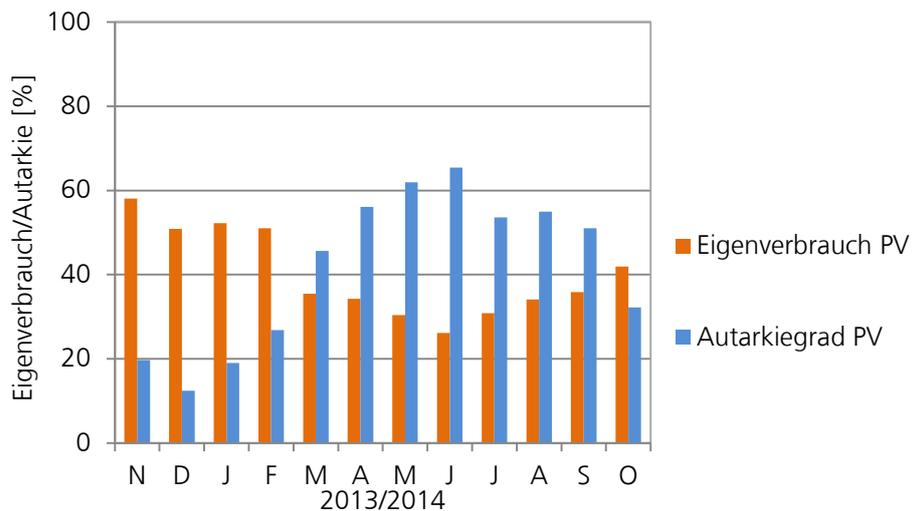


Bild 34: monatliche Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad des PV-Stroms im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

6.5 Anlagenperformance

Die Performance der Lüftungsanlage in Form der Rückwärmzahl konnte aufgrund der nicht durchgängigen Messwerterfassung nicht bestimmt werden.

Die Anlagenperformance der Split-Luft- / Wasser-Wärmepumpe lässt sich durch die monatliche Arbeitszahl beschreiben. Diese wird im Folgenden für die Bilanz der Wärmepumpe im Heizfall aus dem Energieanteil für den Heizbetrieb und die Trinkwarmwassererwärmung der Wärmepumpe einschließlich Heizstab und die dabei abgegebene Wärmemenge bestimmt. Die monatlichen Arbeitszahlen können aufgrund der nachträglichen Installation der Wärmemengenzähler erst ab März 2013 für das 1. Messjahr bestimmt werden und sind in Bild 35 gezeigt. Die monatlichen Arbeitszahlen für das 2. Messjahr zeigt Bild 36. In den im 1. Messjahr für 8 Monate ermittelten monatlichen Arbeitszahlen beträgt das Mittel 2,8. Im 2. Messjahr schwankt die monatliche Arbeitszahl zwischen 2,2 und 4,4 und hat einen Jahreswert von 3,2.

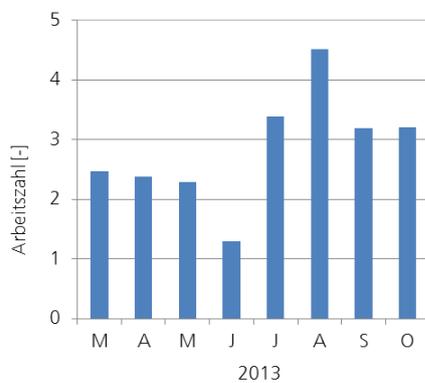


Bild 35: monatliche Arbeitszahl und Jahresarbeitszahl der Luft- / Wasser-Wärmepumpe im Messzeitraum März 2012 bis Oktober 2013.

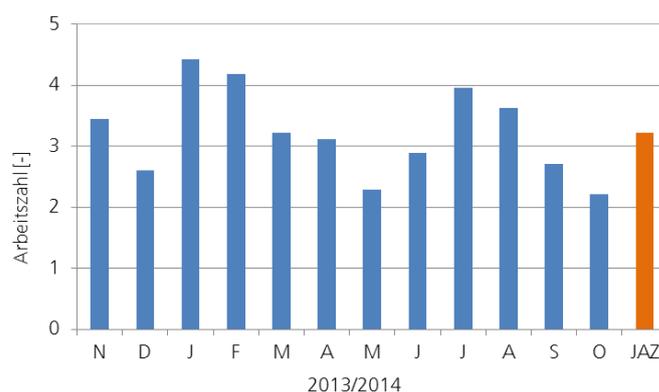


Bild 36: monatliche Arbeitszahl und Jahresarbeitszahl der Luft- / Wasser-Wärmepumpe im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014.

6.6 Innenraumlufttemperaturen Sommer

In den Räumen des Erd- und Obergeschosses wurden die Lufttemperaturen gemessen. Einen Überblick über die sommerliche Temperaturentwicklung in den ausgewählten Räumen Küche (EG), Büro (EG) und Schlafzimmer (OG) für die Monate Juli, August 2013 und August 2014 zeigen die Bilder 37 bis 39. Zum Vergleich ist jeweils der Temperaturverlauf der Außenlufttemperatur der Wetterstation des DWD in Euskirchen eingezeichnet.

Die Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen aller gemessenen Räume sind für die 1. und 2. Messperiode der Tabelle 12 und Tabelle 13 im Anhang B zu entnehmen.

Die Raumlufttemperatur in den drei ausgewählten Räumen schwankt im Juli 2013 zwischen 24 °C und 34 °C und im August 2013 zwischen 21,5 °C und 30 °C. Im August 2014 liegt sie zwischen 14,6 °C und 30,7 °C. Innerhalb eines Raumes liegt die Temperaturspreizung zwischen der Tag- und Nachtspitze zwischen 1,5 K (Küche) und 3 K (Schlafzimmer und Büro). Das Gebäude heizt sich sehr stark auf, einen Einfluss der indirekten Kühlung über die Fußbodenheizung beim reversiblen Betrieb der Wärmepumpe ist nicht erkennbar. Es sollte daher die Leistung der Kühlung über die Fußbodenheizung überprüft und der Einsatz außenliegender Sonnenschutzmaßnahmen erwogen werden.

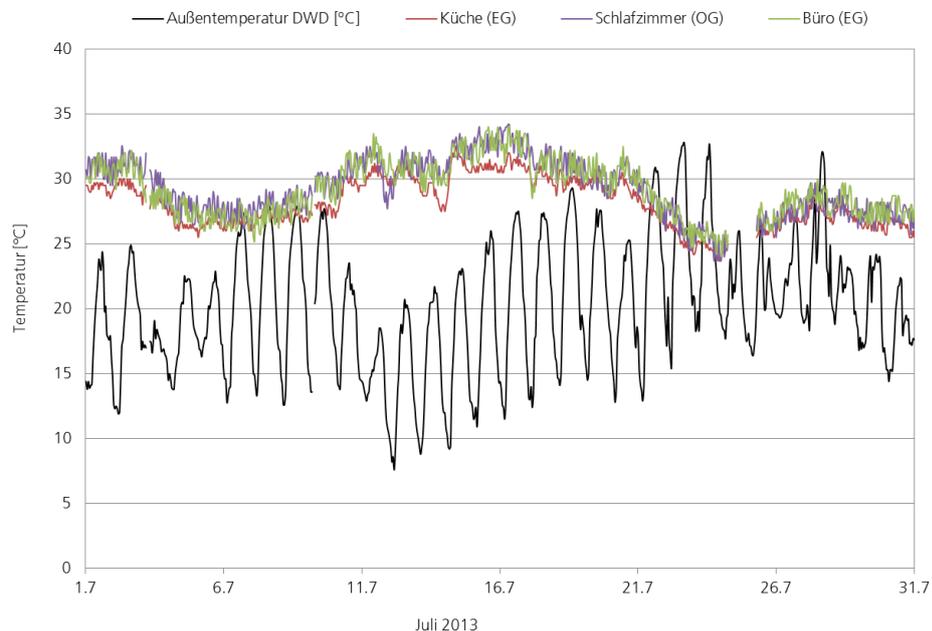


Bild 37:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juli 2013.

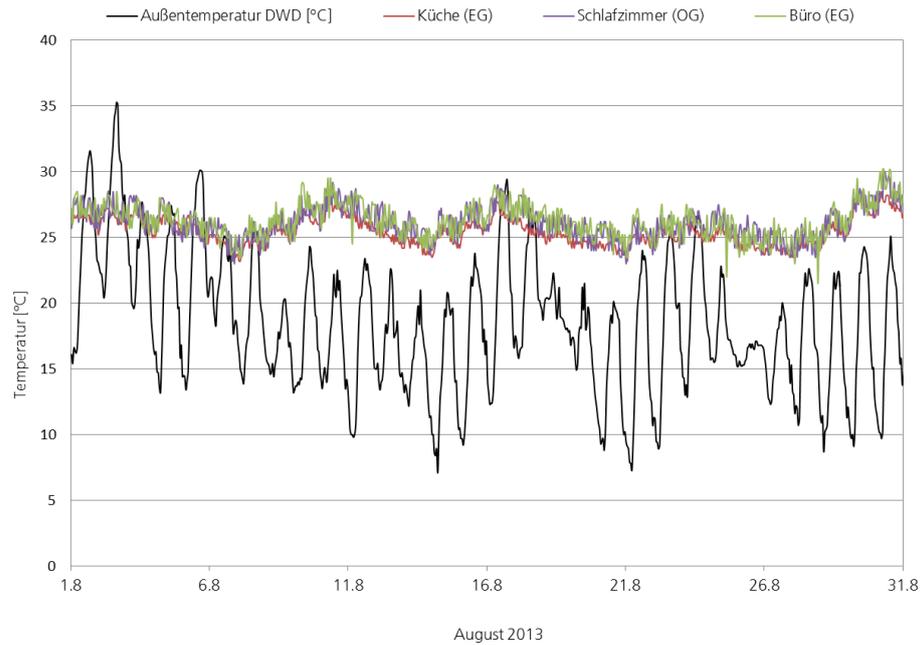


Bild 38:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat August 2013.

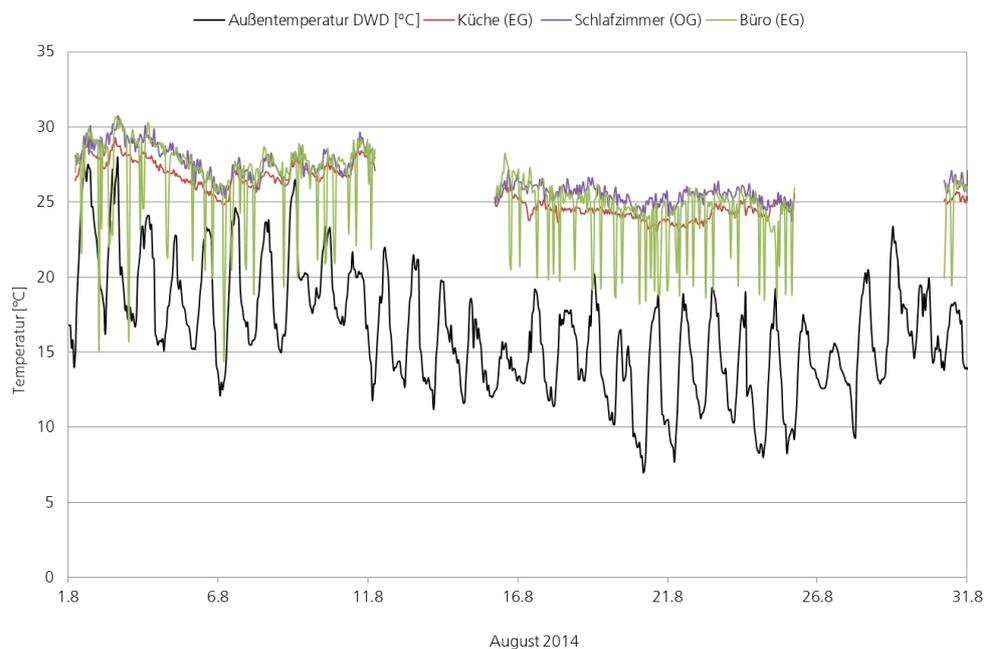


Bild 39:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat August 2014.

6.7 Innenraumlufttemperaturen Winter

Einen Überblick über die Raumlufttemperaturen gegen Ende der Heizperiode des 1. Messjahres in ausgewählten Räumen im Erdgeschoss (Küche und Büro) und Obergeschoss (Schlafzimmer) für den Monat März 2013 zeigt Bild 40. Die

Raumlufttemperatur schwankt zwischen 23 °C und 28 °C; im Mittel beträgt die Raumlufttemperatur 25 °C und liegt damit um 5 K über der angesetzten Raumtemperatur nach DIN V 18599 von 20 °C.

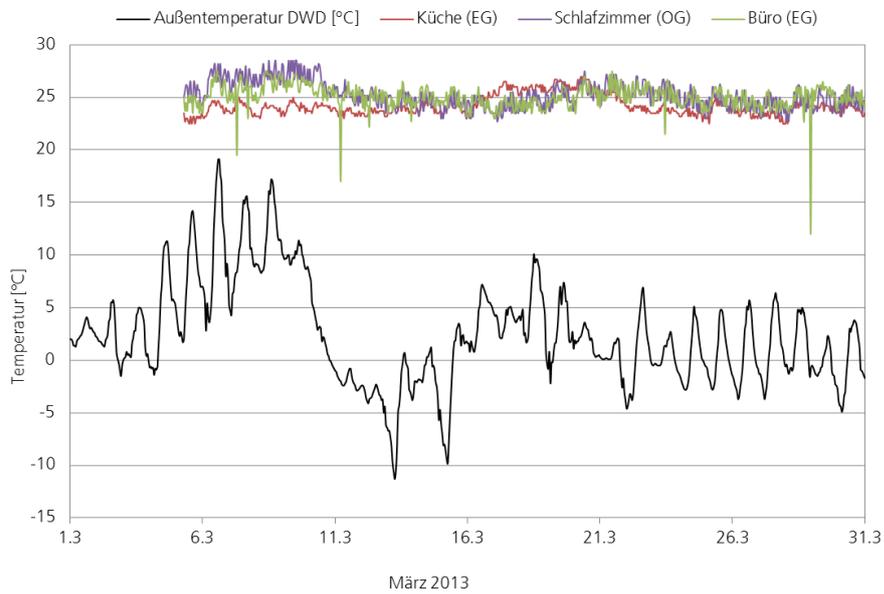


Bild 40:
Verlauf der Außen- und der Innenraumlufttemperatur im Monat März 2013.

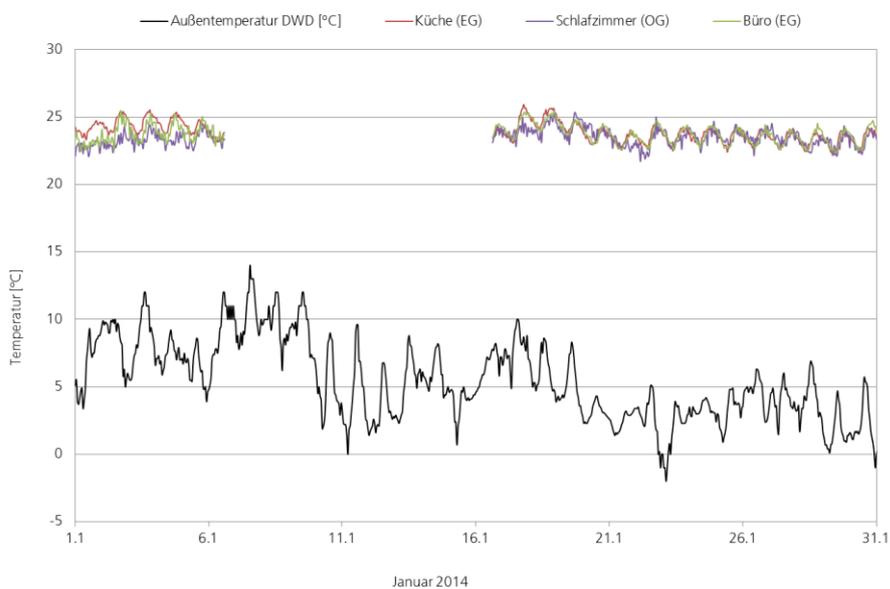


Bild 41:
Verlauf der Außen- und der Innenraumlufttemperatur im Monat Januar 2014.

Für das 2. Messjahr ist die winterliche Temperaturentwicklung in ausgewählten Räumen für den Januar 2014 in Bild 41 dargestellt. Die Raumlufttemperatur schwankt zwischen 22 °C und 25 °C und beträgt im Mittel 24 °C. Damit liegt

die Raumlufttemperatur ca. 4 K über der angesetzten Innenraumlufttemperatur von 20 °C nach DIN V 18599.

6.8 Behaglichkeit

Die Behaglichkeit im Gebäude wird in einem sogenannten „Behaglichkeitsdiagramm“ nach Leusden und Freymark [5] graphisch dargestellt. Dabei werden die Stundenmittelwerte der relativen Raumluftfeuchten über den Raumlufttemperaturen aufgetragen. Durch die Darstellung der Behaglichkeitsfelder „noch behaglich“ und „behaglich“, lassen sich die Messwerte beurteilen.

In den Bildern 42 bis 49 sind die Behaglichkeitsdiagramme für zwei Räume im Gebäude, das Büro im EG und das Schlafzimmer im OG für einen Wintermonat innerhalb der Heizperiode im März und für einen Sommermonat, den August bzw. September im Jahr 2013 und 2014 dargestellt. Die unterschiedliche Darstellung der Messwerte (geordnete Punktreihe und Punktwolke) resultiert aus den Messwerten für das Jahr 2013, diese lagen nur auf die erste Kommastelle gerundet vor.

Die Messwerte liegen im März im Büro und dem Schlafzimmer zum überwiegenden Teil für beide Messjahre im „noch behaglichen“ Bereich. Im August liegen die Messwerte aufgrund der hohen Raumtemperaturen zur Hälfte im noch behaglichen und zur Hälfte im unbehaglich feuchten Bereich. In den Sommermonaten kann daher von einem unangenehmen Raumklima ausgegangen werden. Es wird empfohlen, geeignete Verschattungsmaßnahmen anzuordnen.

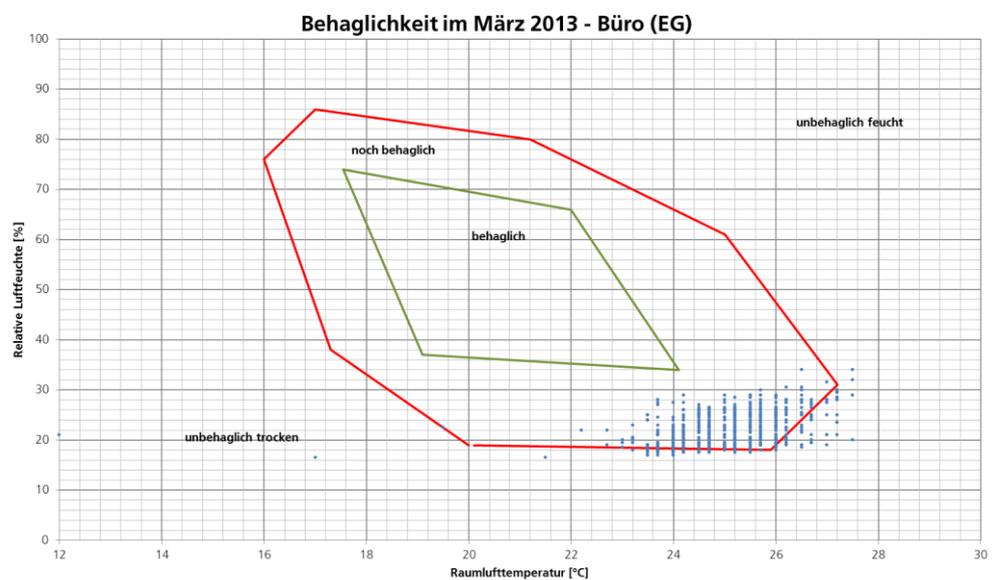


Bild 42: Behaglichkeitsdiagramm Bereich Büro (EG) im März 2013.

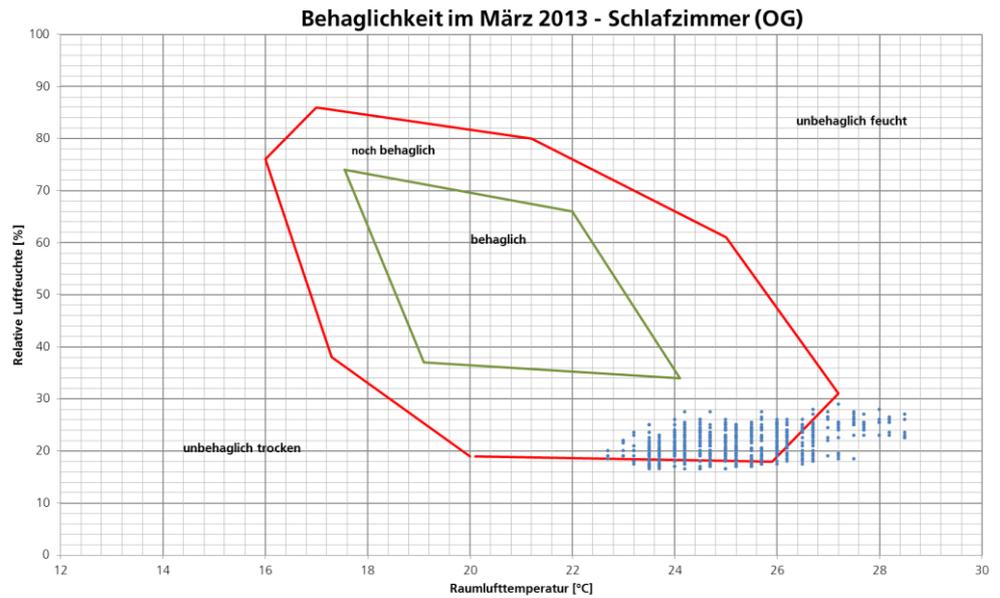


Bild 43:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich Schlafzimmer (OG) im März 2013.

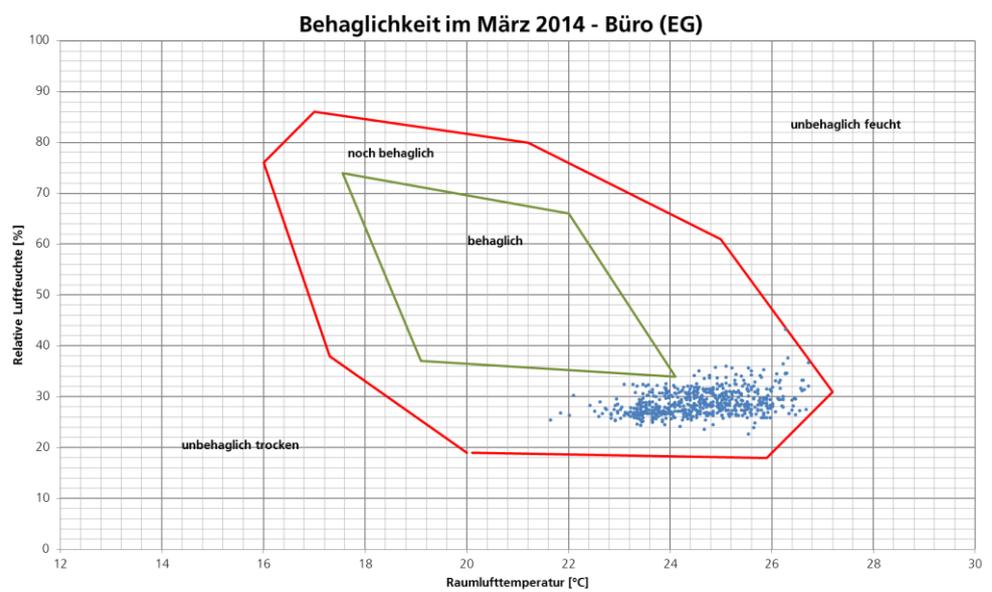


Bild 44:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich Büro (EG) im März 2014.

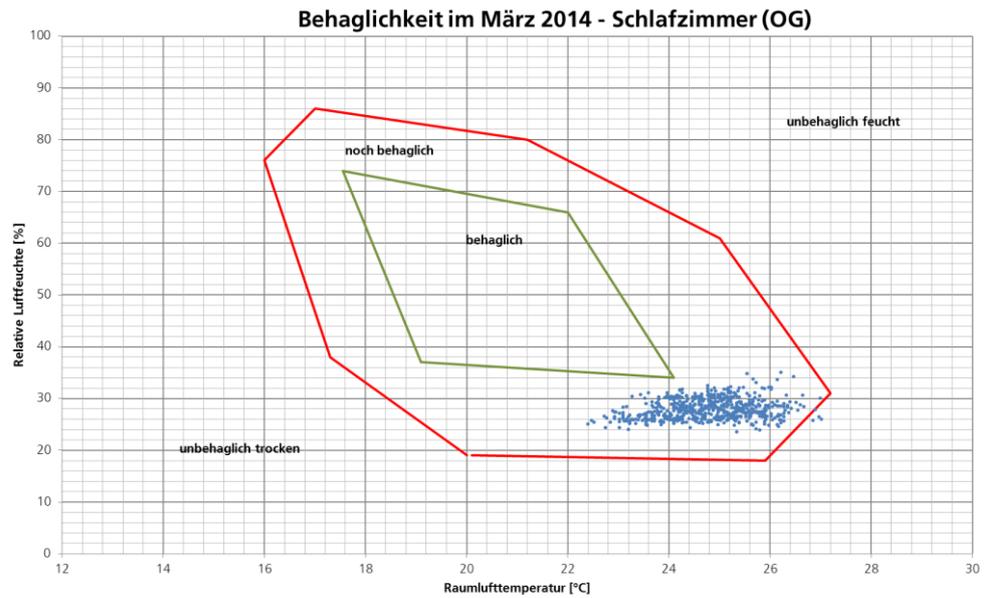


Bild 45:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich Schlafzimmer (OG) im März 2014.

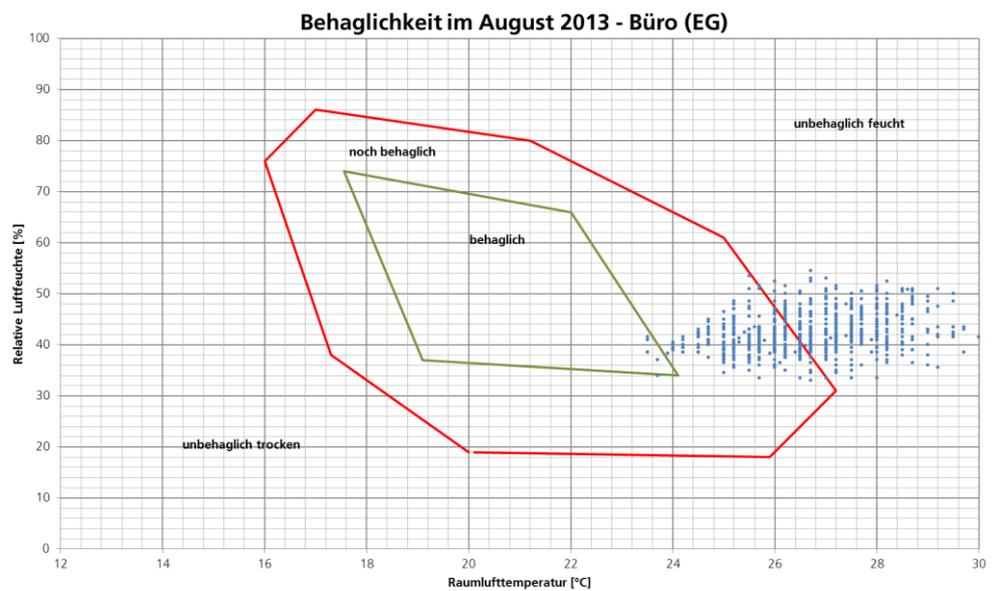


Bild 46:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich Büro (EG) im August 2013.

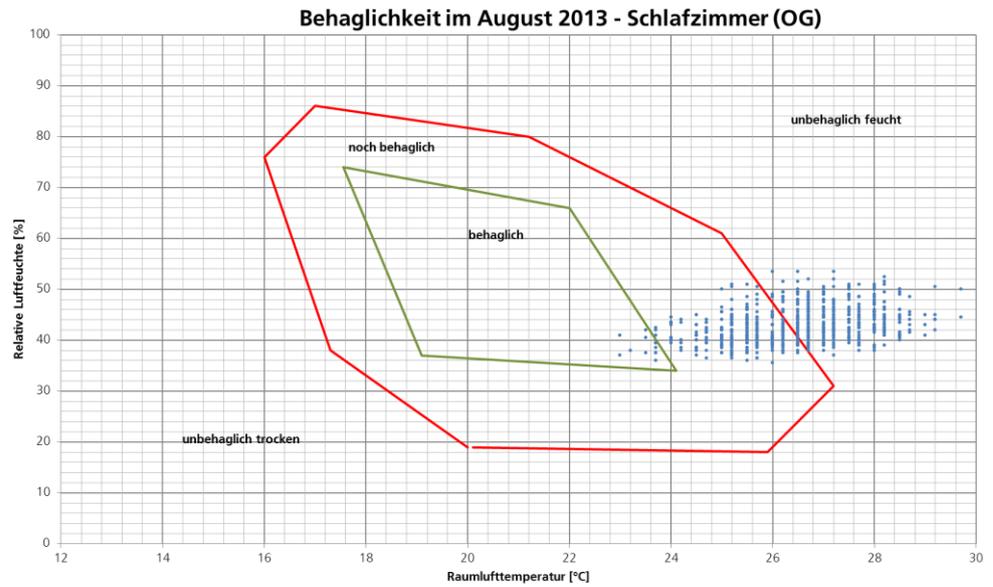


Bild 47:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich Schlafzimmer (OG) im August 2013.

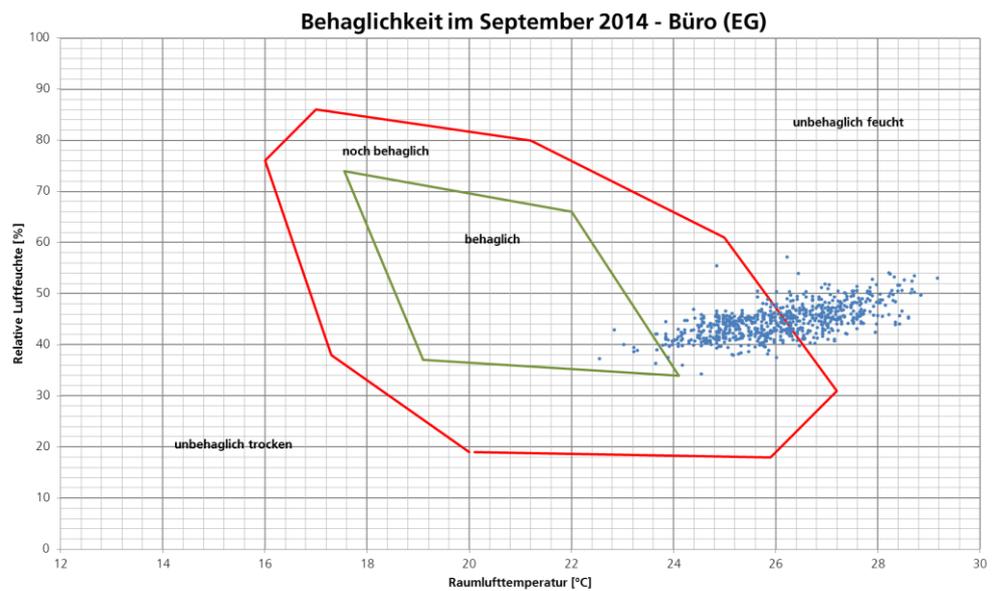


Bild 48:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich Büro (EG) im September 2014.

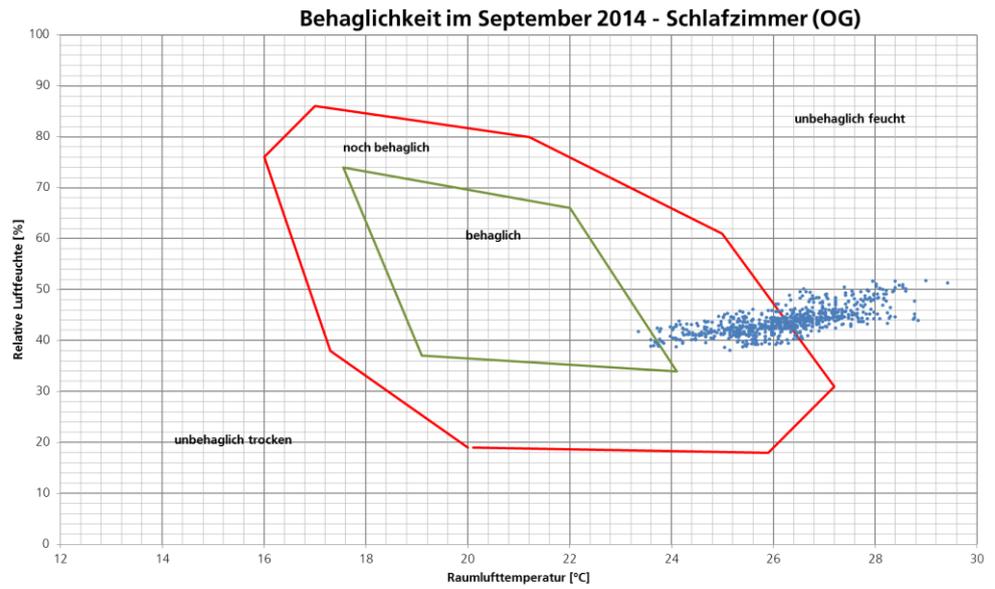


Bild 49:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich Schlafzimmer (OG) im September 2014.

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

7.1 Baukosten und laufende Kosten

Die Mehrkosten für den Effizienzhaus Plus Standard und die jährlichen Betriebskosten sind in Tabelle 8 dargestellt. Es ergeben sich Mehrinvestitionen für den Effizienzhaus Plus Standard von ca. 70.000 €.

Tabelle 8:
Baukosten und laufende Kosten des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus.

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr- / Minderkosten inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard [€]
Außenwand	-	-
Dach	-	-
Bodenplatte	-	-
Fenster	-	-
Heizungsanlage incl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	17.200 (Luft- / Wasser-WP)
Solarthermie	vorhanden (10 m ² EEWärmeG)	-
Lüftungsanlage	vorhanden	0 €
Photovoltaik	keine	26.175
Batterie	keine	keine
Beleuchtung	Standard	
Geräte	Standard	26.563 (Messeinrichtung)
Mehrinvestitionskosten	-	69.938
Energie- und Betriebskosten		
Gas	0 €	0 €
Strom	k. A.	3.243
Wartung Heizung / Lüftung	k. A.	2.049
Netzeinspeisevergütung	0 €	- 2.000
Laufende Kosten pro Jahr		3.292

7.2 Kosten Geräte

Die Effizienzklassen und Kosten der eingebauten Geräte sind in Tabelle 9 gezeigt.

Tabelle 9:
Effizienzklasse und Kosten der Geräte des Effizienzhauses Plus VIO 400 FingerHaus.

Gerät	Effizienzklasse	Kosten [€]
Herd	-	490
Kombigerät Backofen / Mikrowelle	A	1.979
Dunstabzugshaube	-	620
Spülmaschine	A ⁺⁺	1.049
Kühlschrank	A ⁺	495
Gefrierschrank	-	-
Waschmaschine	-	-
Wäschetrockner	-	-
Beleuchtung	-	-
Investitionskosten	-	4.633

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

In der zweijährigen Messperiode von November 2012 bis Oktober 2014 erwirtschaftet das Gebäude aufgrund des hohen Stromverbrauchs für die Beleuchtung im ersten Messjahr keinen Überschuss. Im zweiten Messjahr konnte aufgrund des milden Winters und der guten Stromproduktion der PV-Anlage ein Plus von 704 kWh/a erreicht werden, das den Wert der Prognose um 346 kWh/a übersteigt.

Der Vergleich der gemessenen hausbezogenen Verbrauchswerte (gemäß Kapitel 6.3) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (gemäß Kapitel 3.5) zeigt unterschiedliche Abweichungen der Energieverbräuche; zum Teil fallen sie deutlich aus, zum Teil sind sie nur geringfügig. Es ergeben sich die folgenden Werte:

1. Messjahr

- Wärmepumpe einschl. Hilfsenergien: 3.365 kWh (Messung) anstelle 4.555 kWh (Planung)

- Beleuchtung: 2.780 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt einschl. Sonstiges: 2.465 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem um etwa 22 % höherem Energieverbrauch: 8.610 kWh (Messung) anstelle 7.055 kWh (Planung). Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (gemäß Kapitel 6.2) 7.222 kWh/a mit dem vorherberechneten Ertragswert (gemäß Kapitel 3.5) 7.401 kWh/a zeigt eine gute Übereinstimmung.

2. Messjahr

- Wärmepumpe einschl. Hilfsenergien: 2.073 kWh (Messung) anstelle 4.555 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 2.418 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt einschl. Sonstiges: 2.464 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zum ungefähr prognostizierten Energieverbrauch: 6.955 kWh (Messung) anstelle 7.055 kWh (Planung). Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (gemäß Kapitel 6.2) mit dem vorherberechneten Ertragswert (gemäß Kapitel 3.5) 7.658 kWh/a anstelle der prognostizierten 7.401 kWh/a zeigt einen erhöhten PV-Ertrag für 2014 gegenüber der Vorherberechnung.

Wie die Messwerte zeigen, wurde der endenergetische Mehrverbrauch für die Beleuchtung durch den Minderbedarf für die Haustechnik aufgrund der günstigeren klimatischen Bedingungen und des geringen Trinkwarmwasserbedarfs ausgeglichen.

Die Anlagenperformance der Wärmepumpe, dargestellt durch die Systemarbeitszahl, lässt sich nur für das 2. Messjahr angeben. Im 2. Messjahr schwankt die monatliche Arbeitszahl zwischen 2,2 und 4,4 und weist einen Jahreswert von 3,2 auf.

Während der Sommermonate und bei hohen Strahlungsintensitäten neigt das Gebäude zur Überhitzung. Hier werden dringend die Nutzung eines außenliegenden Sonnenschutzes und eine gezielte sommerliche Nachtlüftung empfohlen.

Aufgrund fehlender Messzähler können detaillierte Aussagen zu Einzelenergieverbräuchen nicht gegeben werden. Die Doppelnutzung der Messensorik sowohl für die Regelungstechnik der Anlagentechnik als auch des Monitorings hat sich als ungeeignet erwiesen.

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, lässt sich nicht abschätzen. 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.

Dem Wunsch des Nutzers entsprechend liegt die Innenraumlufttemperatur in der Heizperiode ca. 3 K bis 5 K über der Norminnentemperatur von 20 °C. Hier sind Einsparungen durch Reduzierung der Raumlufttemperatur möglich.

In der Regel ist heutzutage die Erfassung von Monitoringdaten und Daten zur Regelung der Anlagentechnik möglich, doch bei diesem Gebäude traten bisher Probleme auf, die noch gelöst werden müssen.

Die Ergebnisse der ersten Betriebsjahre zeigen, dass für ein Effizienzhaus Plus eine Monitoring- und Einregulierungsphase zwingend eingeplant werden muss, um überhaupt über Messdaten des Gebäudes zu verfügen und auf Ineffizienzen im Betrieb reagieren zu können.

9 Literatur

- [1] Fraunhofer IBP: Steckbrief Effizienzhaus Plus VIO 400 FingerHaus (Stand Februar 2015). Veröffentlicht auf <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/netzwerk/fingerhaus/>.
- [2] FingerHaus: Energieeinsparnachweis nach der EnEV 2009 (Stand 16. Mai 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.
- [5] Leusden und Freymark: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch, Gesundheitsingenieur (Heft 16, 1951).

Anhang A

Tabelle 10:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von November 2012 bis Oktober 2013.

Monat	Bezug		Photovoltaik		projekt- spezifisch	Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV- Ertrag	PV- Einspeisung	PV- Eigenverbrauch		Heizung, TWW + Küh- lung	Hilfs- energie	Beleuchtung	Haushalts- geräte	
	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh	kWh	kWh	
Nov. 12	702	228	86	142	30	225	92	293	234	844
Dez. 12	922	113	30	83	3	416	91	274	224	1.005
Jan. 13	952	116	31	86	3	429	94	283	231	1.037
Feb. 13	815	251	104	147	1	440	79	252	191	962
Mrz. 13	691	449	252	197	2	366	77	247	198	888
Apr. 13	544	967	614	353	3	269	94	301	233	897
Mai 13	235	827	576	251	0	80	47	191	168	486
Juni 13	181	1.191	853	338	0	46	29	213	232	519
Juli 13	151	1.063	816	247	0	65	28	137	167	398
Aug. 13	243	883	605	278	0	106	39	192	184	521
Sep. 13	350	903	571	332	0	111	50	254	267	682
Okt. 13	244	231	103	128	0	68	26	143	135	372
Summe	6.028	7.222	4.640	2.582	42	2.619	747	2.780	2.465	8.610

Tabelle 11:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von November 2013 bis Oktober 2014.

Monat	Bezug		Photovoltaik		projekt- spezifisch	Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV- Ertrag	PV- Einspeisung	PV- Eigenverbrauch		Heizung, TWW + Küh- lung	Hilfs- energie	Beleuchtung	Haushalts- geräte	
	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh	kWh	kWh	
Nov. 13	632	267	112	155	0	241	58	234	255	787
Dez. 13	828	232	114	118	0	284	68	233	361	946
Jan. 14	403	182	87	95	34	184	38	124	119	465
Feb. 14	490	353	173	180	8	177	51	215	219	663
Mrz. 14	315	744	480	264	1	113	46	225	195	578
Apr. 14	284	1.057	695	362	0	108	45	257	236	646
Mai 14	174	930	647	283	0	57	31	201	169	457
Juni 14	141	1.020	753	267	0	53	27	169	160	408
Juli 14	241	905	626	279	0	97	34	201	188	520
Aug. 14	247	883	582	301	0	87	34	216	210	548
Sep. 14	273	794	509	285	0	75	44	220	220	558
Okt. 14	257	291	169	122	0	64	59	124	132	379
Summe	4.286	7.658	4.947	2.711	42	1.539	534	2.418	2.464	6.955

Anhang B

Tabelle 12:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen und –feuchten von November 2012 bis Oktober 2013.

Monat	Küche	Flur	Schlafzimmer	Büro	Küche	Flur	Schlafzimmer	Büro
	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%
Nov. 12	-	-	-	-	-	-	-	-
Dez. 12	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan. 13	23,7	24,5	25,6	25,4	-	-	-	-
Febr. 13	24,1	24,8	26,0	25,4	-	-	-	-
März 13	24,4	24,9	25,5	25,2	26,1	23,3	24,1	24,2
Apr. 13	24,6	25,1	25,8	25,9	27,6	25,3	25,2	26,1
Mai 13	23,5	23,5	24,6	24,6	37,4	35,7	34,8	35,2
Juni 13	25,8	25,8	27,0	27,0	39,2	37,9	36,4	37,1
Juli 13	28,2	28,2	29,3	29,2	42,7	41,5	39,9	40,4
Aug. 13	25,7	25,7	26,4	26,6	44,6	43,7	42,9	42,4
Sep. 13	24,1	24,1	24,3	24,5	35,7	35,3	35,1	35,1
Okt. 13	25,5	25,3	24,9	25,1	37,7	37,1	38,1	38,4

Tabelle 13:

Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen und -feuchten von November 2013 bis Oktober 2014.

Monat	Küche	Flur	Schlafzimmer	Büro	Küche	Flur	Schlafzimmer	Büro
	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%
Nov. 13	23,4	23,6	23,3	23,3	30,1	28,4	29,9	27,3
Dez. 13	23,5	23,7	23,3	23,1	31,7	29,9	31,4	29,2
Jan. 14	23,7	23,7	23,5	23,0	30,1	28,9	30,1	29,3
Feb. 14	24,2	24,2	24,2	23,4	29,2	27,7	28,4	28,4
Mrz. 14	24,4	24,6	24,8	23,9	29,1	27,3	27,9	27,9
Apr. 14	24,2	24,1	25,2	24,2	31,7	30,5	29,8	29,7
Mai 14	26,3	26,4	27,6	26,6	37,3	35,9	34,3	34,3
Juni 14	-	-	-	-	-	-	-	-
Juli 14	27,7	28,00	29,6	27,9	51,9	50,5	45,3	43,6
Aug. 14	25,6	25,4	26,6	25,5	45,1	44,8	42,3	41,3
Sep. 14	25,4	25,4	26,2	25,4	46,4	45,7	43,8	43,5
Okt. 14	24,7	24,9	25,2	24,4	44,5	44,4	43,9	42,6