

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 10

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus
der Firma HUF 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

September 2012 bis August 2014

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-11.2

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 177/2015

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

Durchgeführt im Auftrag von
HUF HAUS 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 177/2015

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

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

Der Bericht umfasst

50 Seiten Text
13 Tabellen
55 Abbildungen

Hans Erhorn
Antje Bergmann
Michael Beckert
Johann Reiß

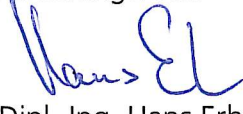
Stuttgart, 22. Mai 2015

Institutsleiter



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

Abteilungsleiter



Dipl.-Ing. Hans Erhorn

Bearbeiter



Dipl.-Ing. Antje Bergmann

Inhalt

1	Kurzfassung	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	10
3.6	Bewertung der Effizienz	10
4	Messkonzept	12
5	Meteorologische Randbedingungen	14
5.1	Solarstrahlung	14
5.2	Außenlufttemperaturen	16
5.3	Klimabereinigung	17
6	Messergebnisse	18
6.1	Messwerterfassung Chronologie	18
6.2	Stromertrag	19
6.3	Stromverbrauch	21
6.3.1	Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser	22
6.3.2	Stromverbrauch Beleuchtung	25
6.3.3	Stromverbrauch Hilfsenergie	26
6.3.4	Stromverbrauch Haushaltsgeräte	29
6.3.5	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag	30
6.4	Eigenstromnutzung und Autarkiegrad	34
6.5	Anlagenperformance	37
6.6	Innenraumlufthtemperaturen Sommer	38
6.7	Innenraumlufthtemperaturen Winter	41
6.8	Raumlufthqualität	42
6.9	Behaglichkeit	43
7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	48
8	Bewertung	48
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	48

8.2	Verbesserungspotentiale	49
9	Literatur	50

1 Kurzfassung

Die Firma HUF HAUS hat in der FertighausWelt in Köln-Frechen das Musterhaus green[r]evolution 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 September 2012 bis August 2014.

Im April 2012 wurde bereits mit dem Monitoring begonnen, bei dem während einer 5-monatigen Einregulierungsphase bis August 2012 lediglich händisch die Werte der Hauptzähler abgelesen und ausgewertet werden konnten. Ab September 2012 liegen detaillierte Messwerte der Elektrozähler vor, ab März 2013 liefern auch die Wärmemengenzähler und Temperaturfühler relativ durchgängig Messwerte. Die Messungen zeigen, dass die Erträge aus der Photovoltaikanlage den Hausverbrauch im 1. Messjahr nicht decken konnten, im 2. Messjahr jedoch ein Plus von 1.763 kWh/a erwirtschaftet wurde. Die Energieverbräuche des Gebäudes lagen im 1. Messzeitraum etwa 56 % und im 2. Messzeitraum 51 % über den vorherberechneten Werten. Dies lag im Wesentlichen an einem stark erhöhten Stromverbrauch für die Beleuchtung. Aufgrund der eingesetzten aktiven und passiven Kühlung des Gebäudes werden auch in den Sommermonaten angenehme Raumtemperaturen in den Aufenthaltsräumen erreicht. Die Anlagenperformance der Wärmepumpe ist starken saisonalen Schwankungen ausgesetzt. Im 2. Messjahr steigt die monatliche Arbeitszahl während der Heizperiode auf 6,7 an und fällt bei reinem Warmwasserbetrieb auf 1,4. Die Jahresarbeitszahl hat eine Größe von 4,0.

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

2 Kontext und Zielsetzung

HUF HAUS 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. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) hat bereits über 200 von der Bundesregierung geförderte Forschungsvorhaben auf diesem Gebiet erfolgreich begleitet.

HUF HAUS 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 einer Batterie zwischengespeichert oder 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 Fördervorhaben „Effizienzhaus Plus“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB (ehemals BMVBS) 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	ca. 370 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	311,1 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	1.218,9 m ³
Hüllflächenfaktor A / V	0,58 m ⁻¹
Gebäudenutzfläche A _N (nach EnEV)	390 m ²

3.2 Architektur

Das Gebäude vermittelt, wie Bild 1 zeigt, mit seinen klaren Formen, einem offenen Raumkonzept und großzügigen Glasfronten ein freies Wohngefühl und bietet einen unmittelbaren Bezug zur umgebenden Natur. Dieses wird unterstützt durch die zentrale Lichtachse, die den Treppenaufgang und den Essbereich miteinander verbindet. Das Herzstück des Hauses ist die leistungsstarke Photovoltaikanlage, sie kann gemäß der Planung mehr Strom erzeugen als im Haus verbraucht wird. Die erzeugte Energie wird nicht nur im Eigenheim genutzt, sondern auch in das öffentliche Netz gespeist. Statt der üblichen Montage auf den Dachziegeln ist die effiziente Anlage als Energiedach in die Dach-eindeckung integriert und damit harmonisch in die Architektur eingebunden. Neben einem hocheffizienten Wärmeschutz, auch in Wärmebrückenbereichen,

und einer luftdichten Konstruktion verfügt das Haus über eine moderne Technik zur kontrollierten Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung. Durch diese Maßnahmen wird neben der hohen Energieeffizienz ein angenehmes Wohnklima garantiert.



Bild 1:
Ansicht von West.

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



Bild 2:
Erdgeschoss-Grundriss.

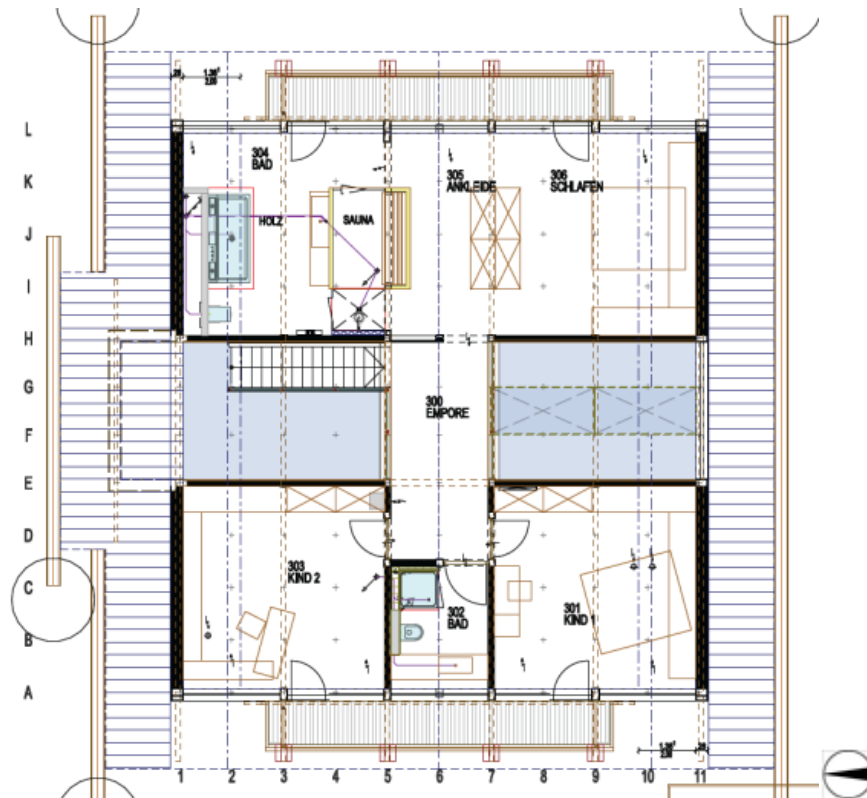


Bild 3:
Obergeschoss-Grundriss.

3.3 Wärmeschutz

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

Die Außenwand wird aus einer 28 cm dicken Holzfachwerkkonstruktion erstellt, auf die außenseitig ein 13 cm dickes Wärmedämm-Verbundsystem aufgebracht wird, und erreicht einen U-Wert von $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Holz-Aluminium-Fenster werden mit einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U_w -Wert von $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgeführt. Das geneigte Dach erhält eine 38 cm dicke Mineralwollgedämmschicht und erzielt mit dem Gesamtaufbau einen U-Wert von $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Bodenplatte erhält eine 15,5 cm starke Wärmedämmschicht, auf die ein schwimmender Estrich aufgebracht wird. Der Fußbodenaufbau im Erdgeschoss ist insgesamt 26 cm dick. Die Gesamtkonstruktion hat einen U-Wert von $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

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)	Naturgipsplatte	12,5	0,17
	Holzweichfaserplatte	40	
	Brettsperrholz	80	
	Dämmung WLG 031	130	
	Putz	6	
Fenster	Holz-Alu-Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,48)	-	0,76
Dach (von oben nach unten)	Betondachstein	-	0,08
	Traglattung	30	
	Konterlattung	30	
	Holzweichfaserplatte	35	
	Mineralwolle zwischen Sparren	220	
	Mineralwolle	40	
	Mineralwolle zwischen Unterkonstruktion	120	
	Dampfbremse	-	
	Naturgipsplatte	12,5	
Bodenplatte (von oben nach unten)	Oberbelag	20	0,17
	Anhydritestrich	45	
	Fußbodenheizsystem	20	
	EPS-Dämmung (Trittschalldämmung)	20	
	EPS-Dämmung	155	

3.4 Anlagentechnik

Eine Sole / Wasser-Wärmepumpe, wie in Bild 4 gezeigt, erzeugt umwelt-schonende Energie zum Heizen und Kühlen des Gebäudes sowie zur Versorgung mit Trinkwarmwasser. Die maximale Heizleistung der Sole / Wasser-Wärmepumpe bei B0 / W35 beträgt 12,83 kW. Die Heizlast des Gebäudes nach DIN EN 12831 beträgt 10,45 kW.

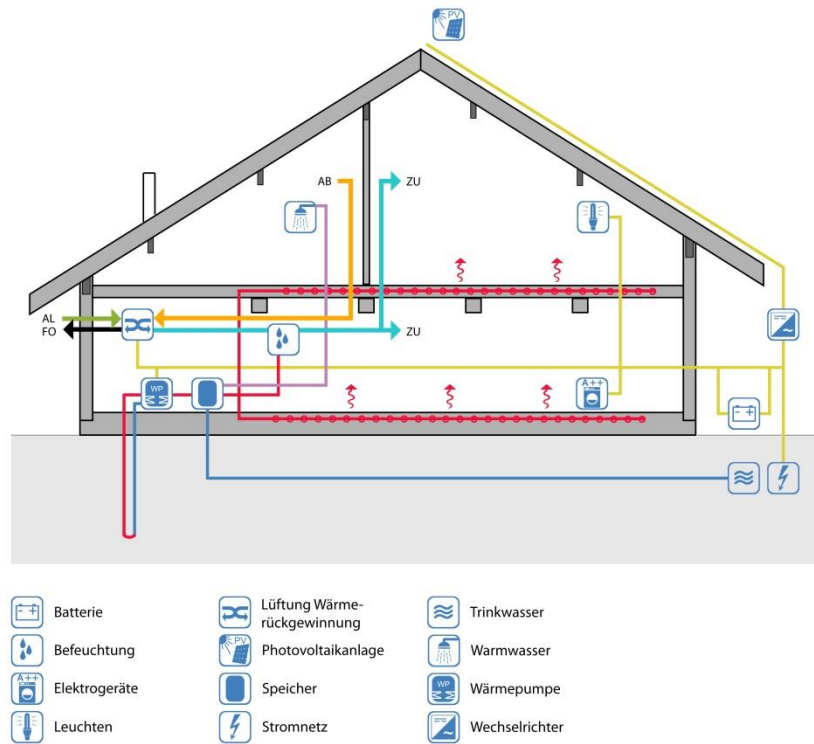


Bild 4:
Haustechnikkonzept.

Eine kontrollierte Wohnraumlüftung versorgt das Gebäude stets mit frischer und vorgewärmter Luft. Die Rückwärmzahl des eingesetzten Geräts beträgt bis zu 95 %. Die im Gebäude vorhandene Luftfeuchte wird durch den Einsatz eines in die Lüftungsanlage integrierten Enthalpiewärmetauschers teilweise zurückgewonnen. Ergänzend ist zur Sicherstellung einer konstanten Luftfeuchte im Gebäude im Zuluftstrom des Erdgeschosses ein aktiver Befeuchter angeordnet, der nach dem Prinzip der adiabaten Verdunstung arbeitet. Als Unterstützung der passiven Kühlung über die Fußbodenheizung wurden außerdem zwei Aktivkühlmodule mit je einer Leistung von 2,4 kW eingesetzt, so dass in Summe eine weitere Kühlleistung in Höhe von 4,8 kW zur Verfügung steht. Elektrische Energie wird mit dem Einsatz einer hochwertigen, dachintegrierten Photovoltaikanlage mit monokristallinen Modulen (103,75 m²) gewonnen. Rechnerisch steht eine Gesamtleistung in Höhe von 14,53 kWp zur Verfügung. Zur Optimierung des Verbrauchs des eigenproduzierten Stroms wurde ein Batteriespeicher eingesetzt, der bei Bedarf bis zu 13,2 kWh Energie zur Verfügung stellt. Nach Angabe des Herstellers rundet ein intelligentes Energiemanagementsystem auf KNX-Basis (intelligente Vernetzung in der Gebäude- und Systemtechnik) das Gesamtkonzept ab und soll ein effektives Monitoring sowie eine einfache und kundenfreundliche Bedienung ermöglichen.

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 9.730 kWh/a auf. Davon entfallen auf den Betrieb der Wärmepumpe einschließlich Lüftungsanlage zur Beheizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Lüftung 7.230 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 green[r]evolution HUF HAUS.

green[r]evolution HUF HAUS	Heizung	Warm- wasser	Lüftung	Kühlung + Befeuch- tung	Licht	Haushalt + Kochen	Sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	8.818	3.394	-	-	-	-	-
Wärme-/ Kälte- abgabe der Er- zeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	9.701	5.165	-	-	-	-	-
Endenergie $Q_{x,f}$ [kWh/a]	2.017	1.623	-	-	375	1.625	500
Hilfsenergie $Q_{x,f,aux}$ [kWh/a]	706	74	1.562	1.248	-	-	-
Strombedarf [kWh/a]	2.723	1.697	1.562	1.248	375	1.625	500
	Gesamt 9.730						

Die Photovoltaikanlage soll gemäß Vorherberechnung jährlich 12.710 kWh Strom erzeugen. Die Überschüsse zwischen Endenergiebedarf (9.730 kWh) und erzeugtem Strom (12.710 kWh) in Höhe von 2.980 kWh/a werden in die Batterie und 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 sicherzustellen. 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 390 m² bezogen.

Tabelle 4:
Vorherberechnung der Energie des Effizienzhauses Plus green[r]evolution HUF HAUS.

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m ² a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	12.212	31,3
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	14.866	38,1
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	3.640	9,3
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	7.230	18,5
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik *($f_{p, \text{Kühlen}} = 2,7$)	18.922*	48,5

In den Räumen tritt laut der Vorherberechnung ein Nutzwärme- / Nutzkältebedarf von 12.212 kWh/a für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung auf. Die Verteilung verursacht Verluste in Höhe von 2.654 kWh/a. Um diese Wärme / Kälte bereitzustellen, benötigen die Erzeuger (Wärmepumpen) 3.640 kWh/a Strom. Die Hilfsenergie für den Betrieb der Anlagentechnik beträgt ergänzend 3.590 kWh/a. Der Primärenergieaufwand für die gesamte Haustechnik beträgt somit 18.922 kWh/a. Daraus lassen sich die in Tabelle 5 aufgeführten Aufwands- / Arbeitszahlen ableiten.

Tabelle 5:
Aufwands- / Arbeitszahlen der Vorherberechnung für das Effizienzhaus Plus green[r]evolution
HUF HAUS.

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,22
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,24
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,59
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,69
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	4,08
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	1,55

4 Messkonzept

Das Messkonzept zur messtechnischen Validierung des Gebäudes wurde in Zusammenarbeit mit HUF HAUS 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 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, teilweise relative Luftfeuchte und CO₂-Konzentration 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. Messdaten der Batterie werden extern aufgezeichnet und nicht an das IBP übermittelt. Daher kann keine Aussage zur Wirkweise der Batterie in Bezug auf Energieverluste und Eigennutzungsgrad des PV-Ertrags gemacht werden.

ELEKTROVERSORGUNG

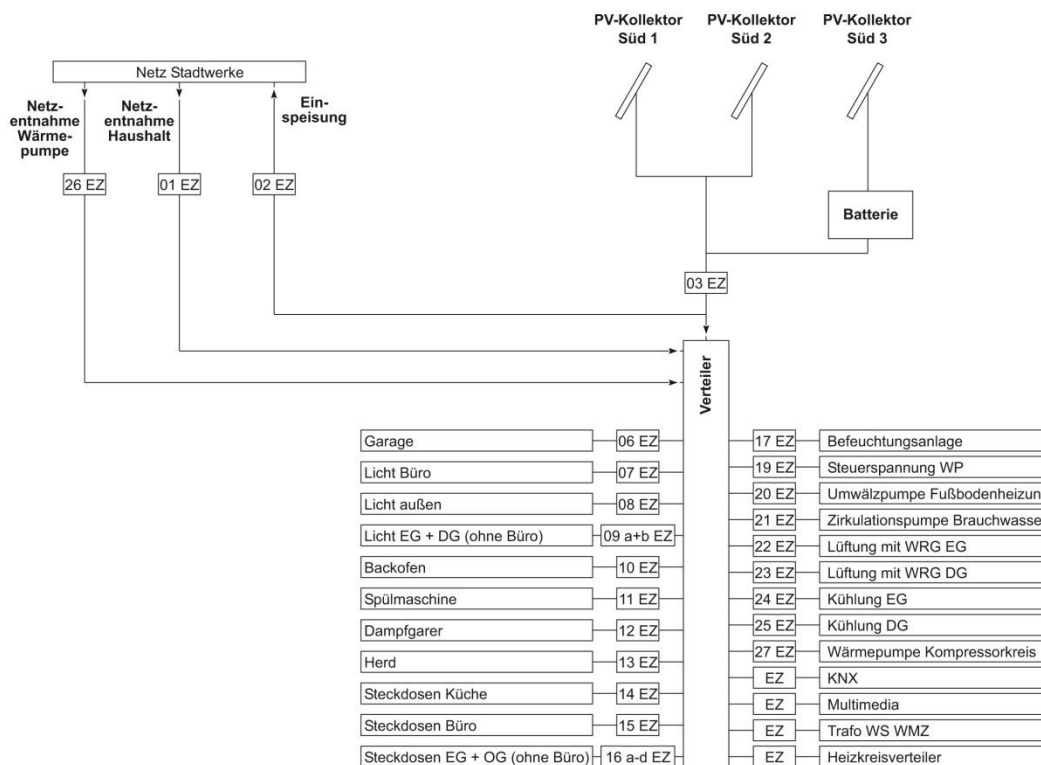


Bild 5:
Messkonfiguration Elektroversorgung.

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

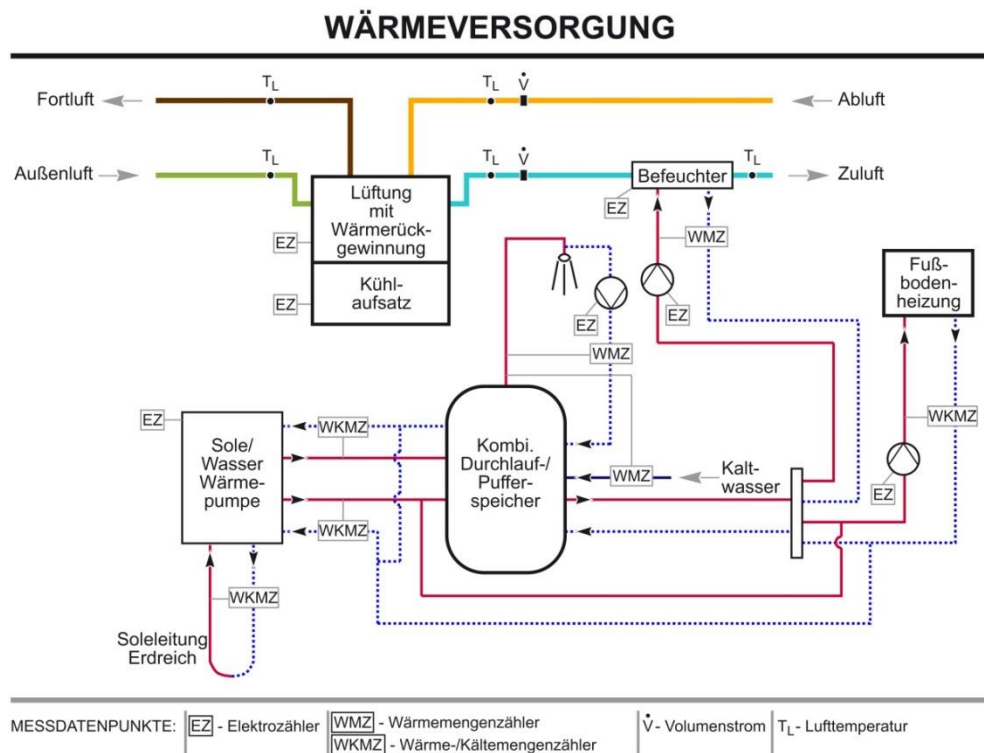


Bild 6:
Messkonfiguration Wärmeversorgung.

5 Meteorologische Randbedingungen

Der Energiebedarf eines Gebäudes hängt wesentlich von der Außenlufttemperatur und der Solarstrahlung ab. Da bei der Berechnung des Energiebedarfs nach der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) ein mittleres Klima in Deutschland herangezogen wird (Referenzklima Deutschland), wird das während der Messperiode vorhandene Klima, hier Wetterstation am Gebäude und Wetterdaten des DWD in Euskirchen, dem Referenzklima gegenübergestellt. Euskirchen liegt ca. 30 km vom Standort des Gebäudes entfernt. Im Messzeitraum September 2012 bis August 2014 wurden meteorologische Daten am Gebäude in Köln-Frechen aufgezeichnet und mit den Werten der Station Euskirchen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie den Klimadaten des Referenzklimas für Deutschland, 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 des Musterhauses in Köln (März 2013 bis August 2014) und des DWD in Euskirchen (September 2012 bis August 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 geringer als die Messwerte des Jahres 2013.

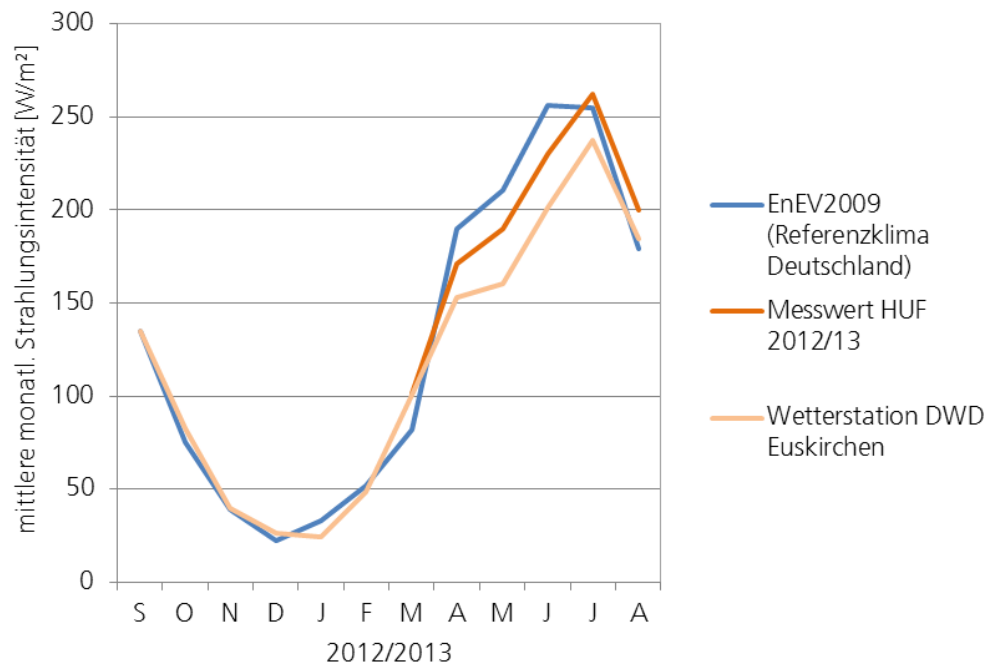


Bild 7: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

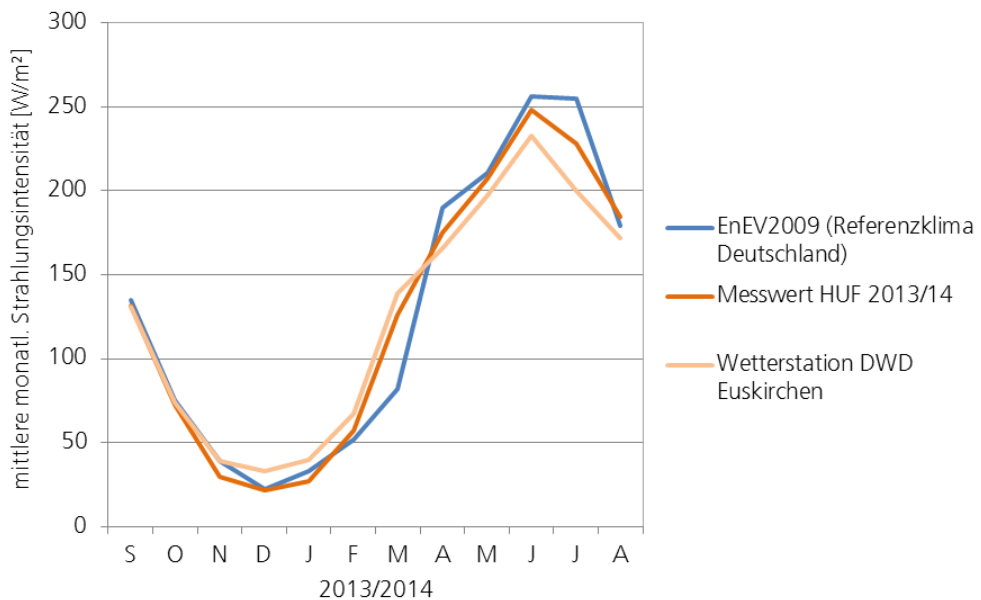


Bild 8: Gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

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 HUF Hauses und der des DWD in Euskirchen zeigen nur geringfügige Abweichungen, für die weiteren Betrachtungen wird die gemessene Globalstrahlung am Musterhaus herangezogen.

5.2 Außenlufttemperaturen

Die am Gebäude gemessenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen sowie die der Wetterstation in Euskirchen und die Werte des Referenzklimas sind für die zwei 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 Messung am HUF Haus zurückgegriffen. Es ist weiter erkennbar, dass die Außenlufttemperaturen am Musterhaus im 1. Messjahr im Dezember 2012, 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 Dezember 2013 bis März 2014 um bis zu 5 K höher als das Referenzklima.

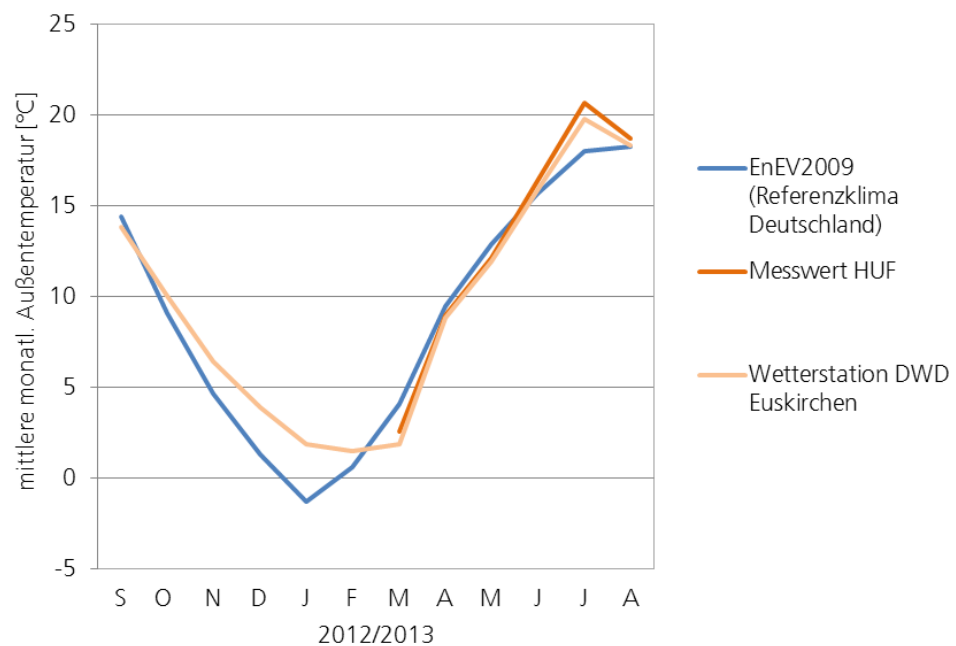


Bild 9: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

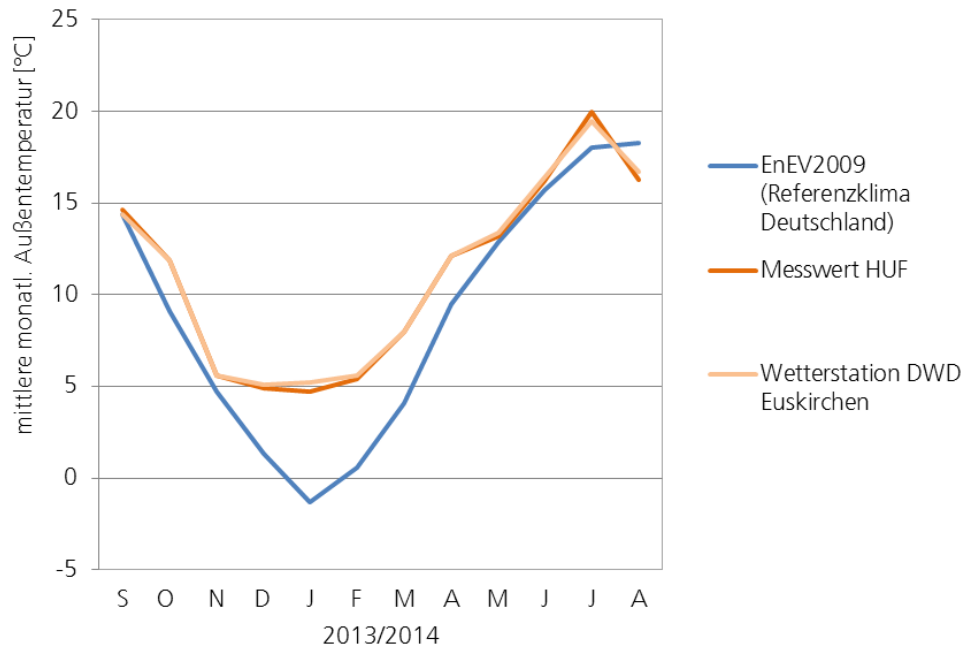


Bild 10: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

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 $G_{20/12}$ [Kd]
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen September 2012 bis August 2013 (1. Messperiode)	3.181
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen September 2013 bis August 2014 (2. Messperiode)	2.386
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 kälter als am Standort Köln-Frechen im langjährigen Mittel üblich, aber wärmer als unter mittleren deutschen Klimaverhältnissen üblich. Es ergeben sich daraus folgende Klimafaktoren:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Köln-Frechen :
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 3.181 \text{ Kd} = 0,91$ (1. Messperiode)
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 2.386 \text{ Kd} = 1,22$ (2. Messperiode)
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3.181 \text{ Kd} = 1,13$ (1. Messperiode)
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.386 \text{ Kd} = 1,51$ (2. Messperiode)

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 0,91 bzw. 1,22 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 1,13 bzw. 1,51 multipliziert werden.

6 Messergebnisse

6.1 Messwerterfassung Chronologie

Im April 2012 wurde mit dem Monitoring im Modellgebäude begonnen. Bis August 2012 konnten lediglich händisch die Hauptzähler für den Gesamtstromverbrauch des Hauses, den Bezug des Photovoltaikstroms sowie die Größe des in das öffentliche Netz eingespeisten Stroms abgelesen werden. Ab September 2012 liegt eine relativ detaillierte und durchgängige Messwerterfassung der Elektrozähler vor. Eine zeitlich durchgehende und detaillierte Messwerterfassung des Raumklimas, der Elektro- und Wärmemengenzähler steht ab März 2013 zur Verfügung. Die Auswertung der Messergebnisse in Bezug auf die Energiebilanz für die zweijährige Messphase wird von September 2012 bis Au-

gust 2014 geführt. Eine Betrachtung zur Temperaturentwicklung in den Aufenthaltsräumen erfolgt für die Monate Juni, Juli 2013 und 2014 sowie für den Januar 2014.

6.2 Stromertrag

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

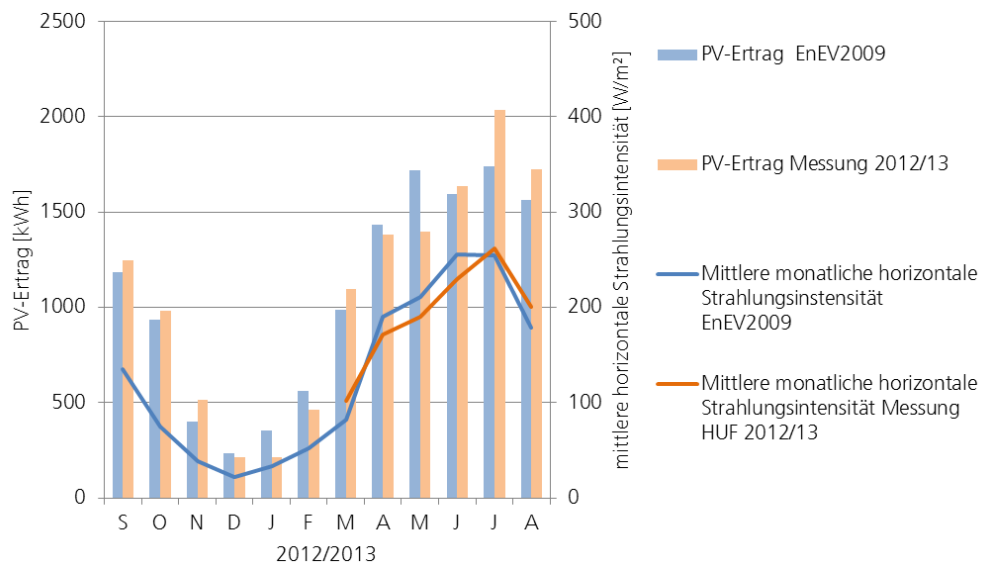


Bild 11: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der PV-Anlage im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

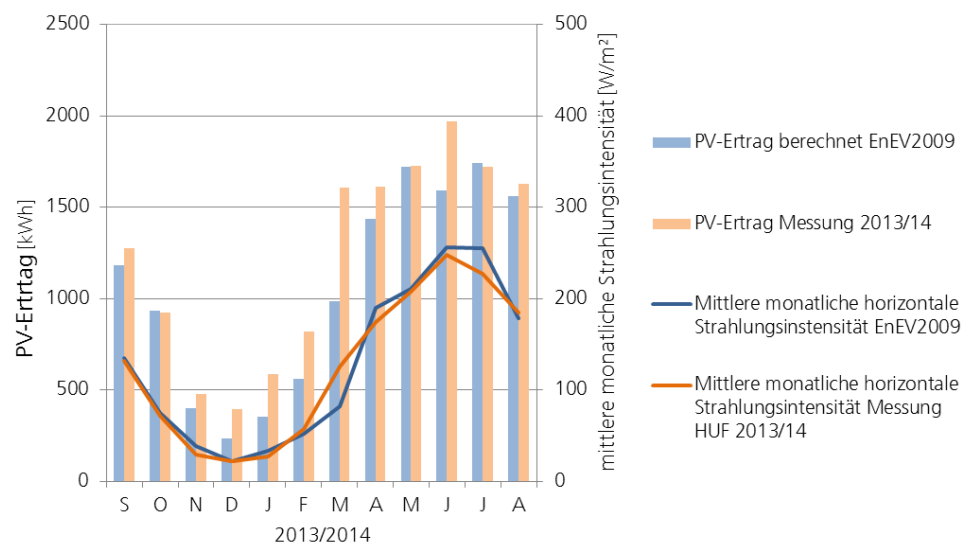


Bild 12: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der PV-Anlage im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Gemäß den Vorherberechnungen nach EnEV 2009 liefert die Photovoltaikanlage einen Ertrag von 12.710 kWh pro Jahr. Im Messzeitraum von September 2012 bis August 2013 konnte ein um 195 kWh höherer Ertrag, nämlich 12.905 kWh gewonnen werden. Im 2. Messjahr wurde der Ertrag noch einmal gesteigert und lag bei 14.765 kWh Strom. Auffällig, trotz der guten Übereinstimmung der Gesamterträge, war die Abweichung einzelner Monatserträge im 2. Messjahr. Trotz gleicher mittlerer gemessener Strahlungsintensität und Normklima nach EnEV 2009 ist der Ertrag der PV-Anlage von November 2013 bis Januar 2014 höher als in der Vorherberechnung. Gleiches gilt für den Juli 2014. In den übrigen Monaten stimmen die Tendenzen der Strahlungsintensität mit denen des PV-Ertrages überein.

Den spezifischen, auf die Photovoltaikfläche von 103,73 m² bezogenen Stromertrag zeigen Bild 13 für das 1. Messjahr und Bild 14 für das 2. Messjahr. Er beträgt im Mittel im 1. Messjahr 10,4 kWh/m²_{PV} und im 2. Messjahr 11,9 kWh/m²_{PV}.

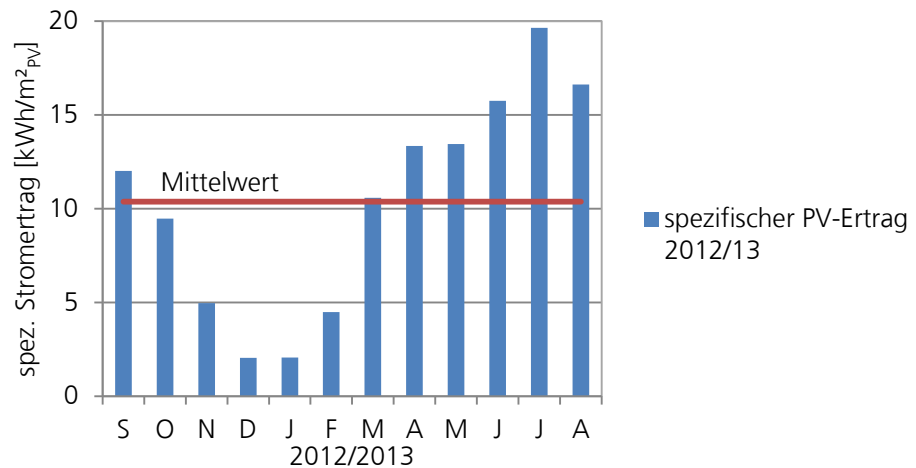


Bild 13: spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

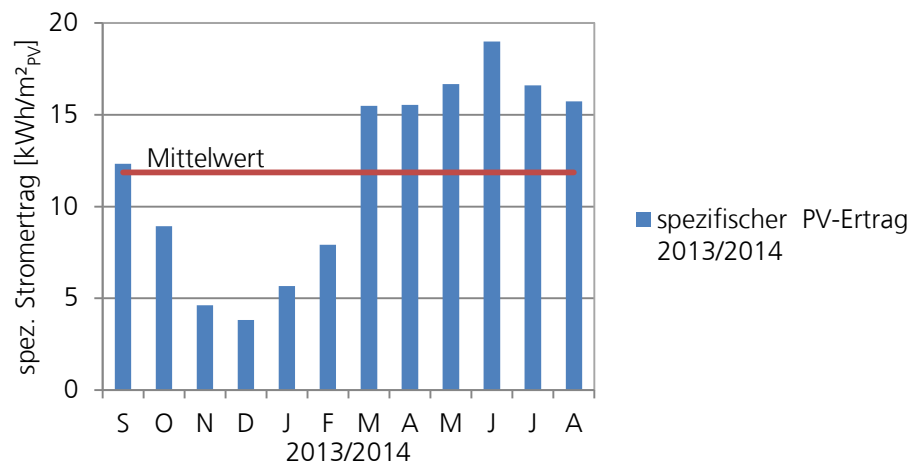


Bild 14: spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

6.3 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch im Effizienzhaus Plus green[r]evolution der Firma HUF HAUS setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, die bei der Bilanzierung zu beachten sind:

- Hausverbrauch (Heizung und Trinkwarmwasser inkl. indirekte Kühlung, Beleuchtung, Hilfsenergie, Elektrogeräte inkl. Sonstiges)
- Projektspezifischer Anteil (Außenbeleuchtung, Monitor zur Visualisierung der Hausautomation im Eingangsbereich)

Die monatlichen Summen sind für das 1. Messjahr in Bild 15 und für das 2. Messjahr in Bild 16 dargestellt.

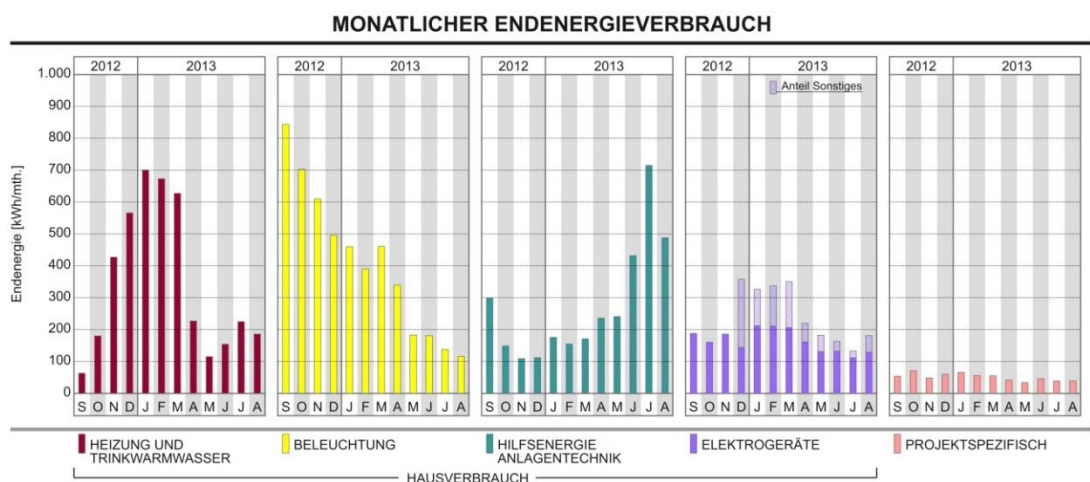


Bild 15: gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

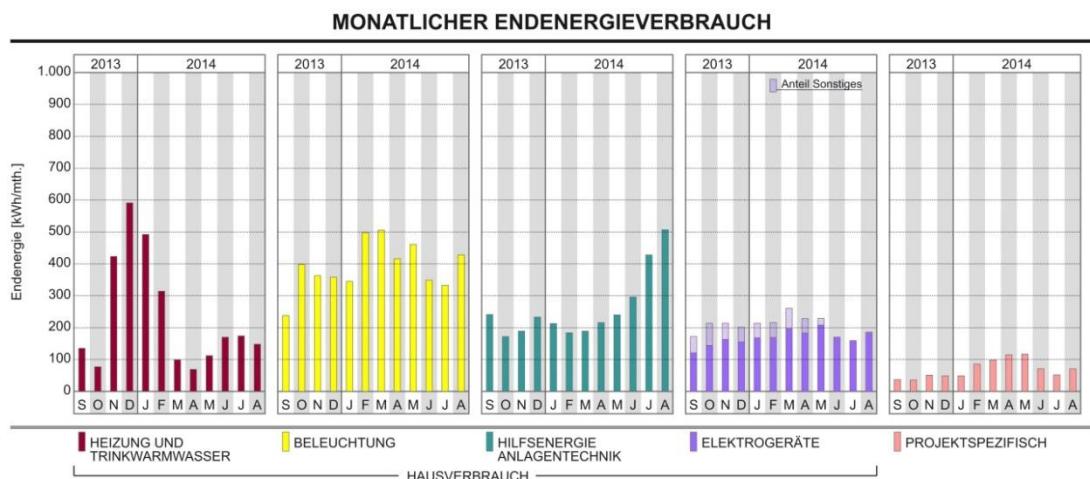


Bild 16: gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Die numerischen Werte der monatlichen Endenergieverbräuche sind im Anhang A in den Tabellen 8 und 9 zusammengefasst. Für den Betrieb des Gebäudes wurden in den beiden Messjahren die Energieverbräuche gemäß Tabelle 7 registriert.

Tabelle 7:
Endenergieverbrauch des Effizienzhauses Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2012 bis August 2014.

Endenergieverbrauch					
Messjahr	Heizen, Kühlen, TWW	Beleuchtung	Hilfsenergie (Lüftung, Kühlen, Befeuchten, Regelung und Hausautomation)	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges	Summe
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
2012/13	4.145	4.922	3.282	2.799	15.148
2013/14	2.804	4.693	2.909	2.597	13.003

Der Stromverbrauch für den Hausbetrieb beträgt in der Summe somit für das 1. Messjahr 15.148 kWh/a und für das 2. Messjahr aufgrund des milden Winters 13.003 kWh/a.

6.3.1 Stromverbrauch Heizung und Trinkwarmwasser

Bild 17 zeigt den monatlichen Stromverbrauch der Sole/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.

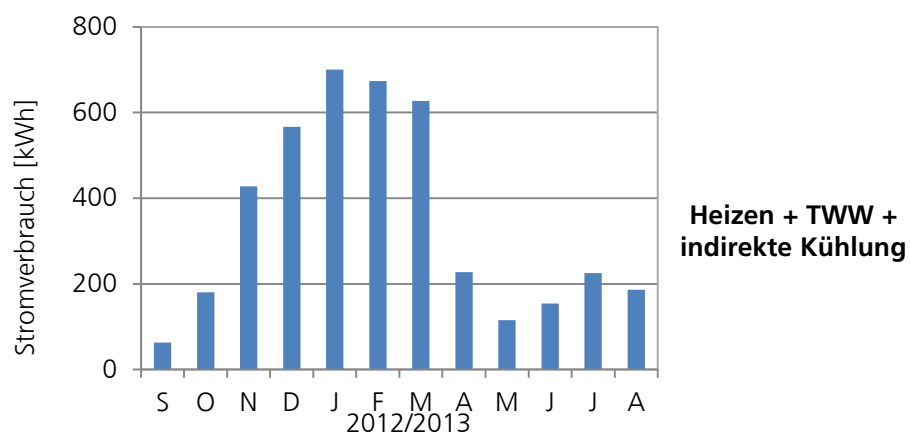


Bild 17:
Stromverbrauch für Heizen, Trinkwarmwasserbereitung und indirekte Kühlung im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

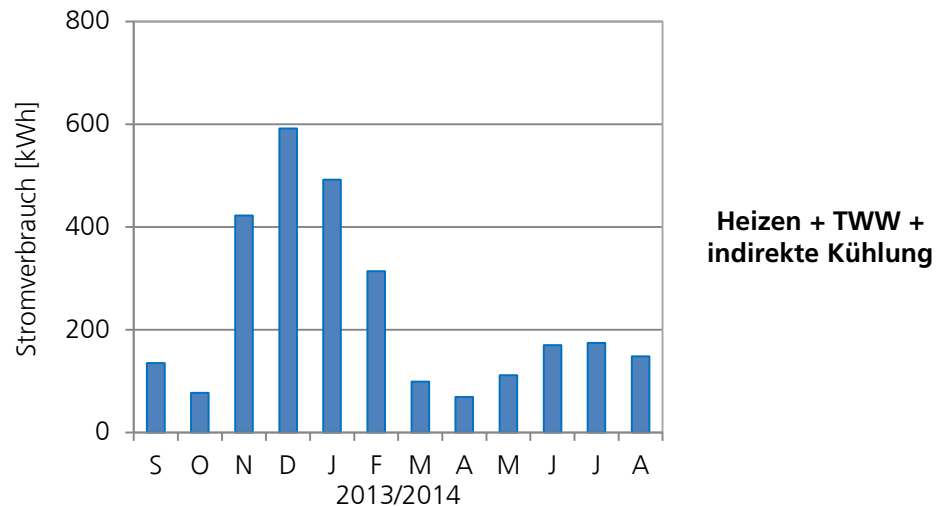


Bild 18:
Stromverbrauch für Heizen, Trinkwarmwasserbereitung und indirekte Kühlung im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Aufgrund des milden Winters bzw. Frühjahrs verbraucht die Wärmepumpe von Januar bis April 2014 um 56 % weniger Energie als im gleichen Zeitraum des Vorjahrs.

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, Lüften und Befeuchten einschließlich der Hilfsenergien für die Berechnung nach EnEV 2009 und die Messwerte für das 1. Messjahr, Bild 20 zeigt dasselbe für das 2. Messjahr.

Für den Absolutwert des jährlichen Verbrauchs zeigt sich im ersten Messjahr (7.427 kWh/a) eine gute Übereinstimmung zur Vorherberechnung (7.230 kWh/a). Im 2. Messjahr (5.173 kWh/a) wurde der vorherberechnete Wert aufgrund des milden Klimas um 28 % unterschritten. Bei der monatlichen Betrachtung der Gegenüberstellung der Messwerte zur Vorherberechnung zeigen sich größere Unterschiede. Diese treten vor allem in den Monaten auf, in denen das vor Ort aufgezeichnete Klima vom Normklima abwich. Im 1. Messjahr waren der Dezember 2012 und der Januar 2013 wärmer als das Normklima und es wurde weniger Energie benötigt als vorherberechnet. Im März 2013 war es in Köln-Frechen kälter als das Normklima es vorgibt und die haustechnischen Anlagen benötigten mehr Energie zur Versorgung des Hauses. Im 2. Messjahr war es von Dezember 2013 bis März 2014 wärmer als das Normklima und es wurde weniger Endenergie verbraucht als prognostiziert. Während der Sommermonate von Juni bis August 2014 wird ein um 70 % geringerer Kühlenergieverbrauch der aktiven Kühlung (Hilfsenergie) gegenüber dem Vorjahr registriert.

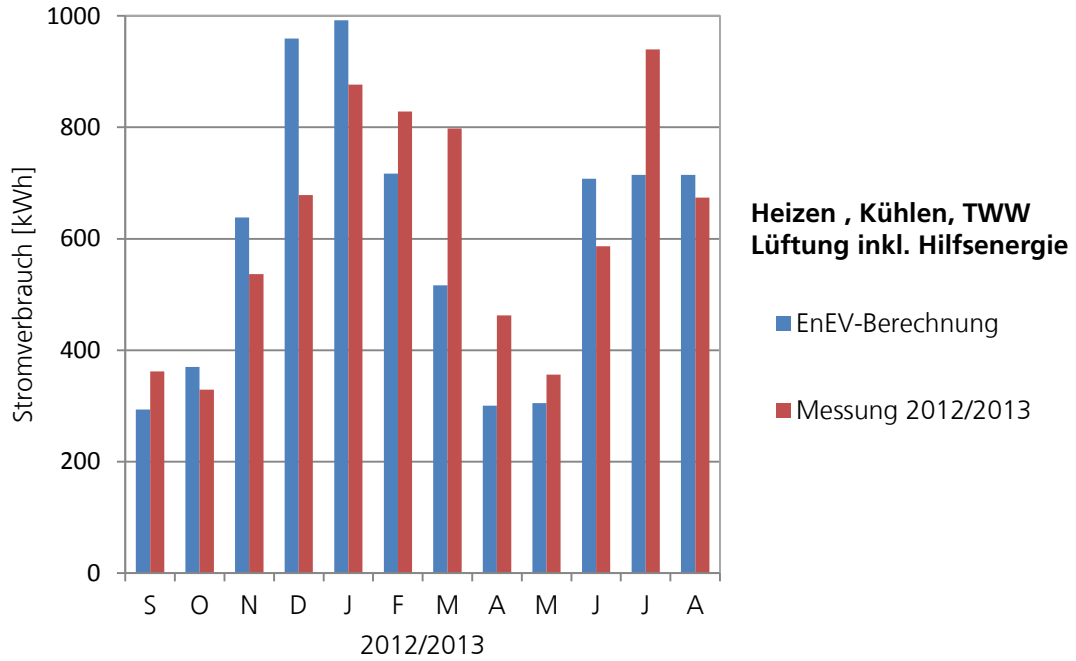


Bild 19:
Stromverbrauch und -bedarf Heizung, TWW, Kühlung, Lüftung einschl. Hilfsenergie im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

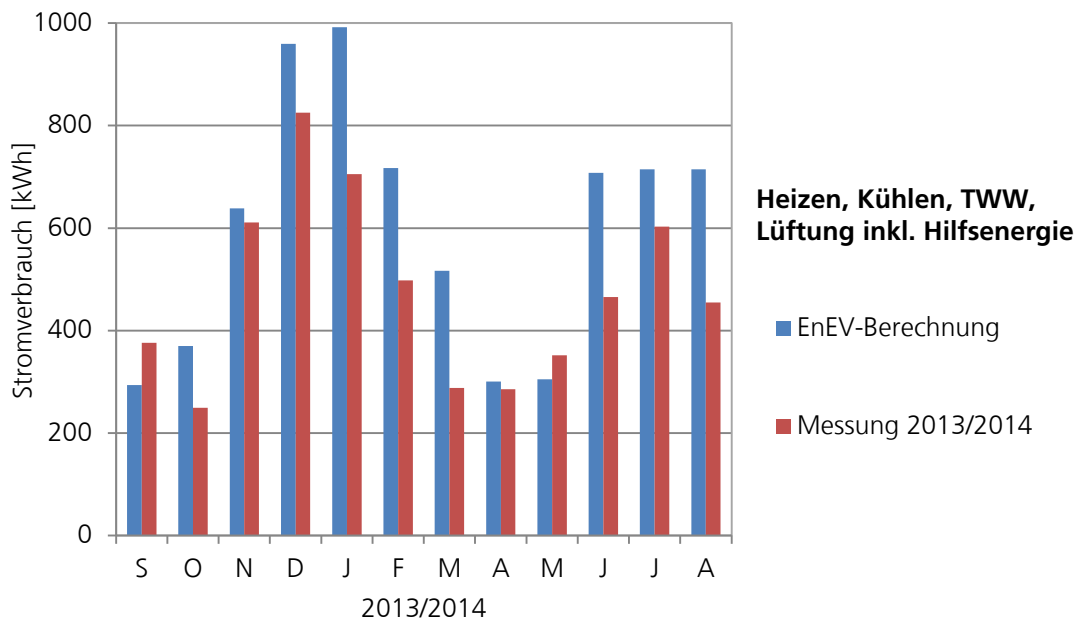


Bild 20:
Stromverbrauch und -bedarf Heizung, TWW, Kühlung, Lüftung einschl. Hilfsenergie im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

6.3.2 Stromverbrauch Beleuchtung

Der Stromverbrauch für die Beleuchtung hat eine Größe von 4.922 kWh/a im 1. Messjahr und 4.693 kWh im 2. Messjahr. Bild 21 und 22 zeigen die monatlichen Verläufe für das 1. und 2. Messjahr sowie die vorherberechneten Werte gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus Standard. Die Werte für die Beleuchtung im Dachgeschoss wurden für die Monate September 2012 bis Januar 2013 als Rechenwerte basierend auf der Gesamtbilanz der Beleuchtung ermittelt. Ab Februar 2013 wird die Beleuchtung im Dachgeschoss als Messwert einzeln erfasst.

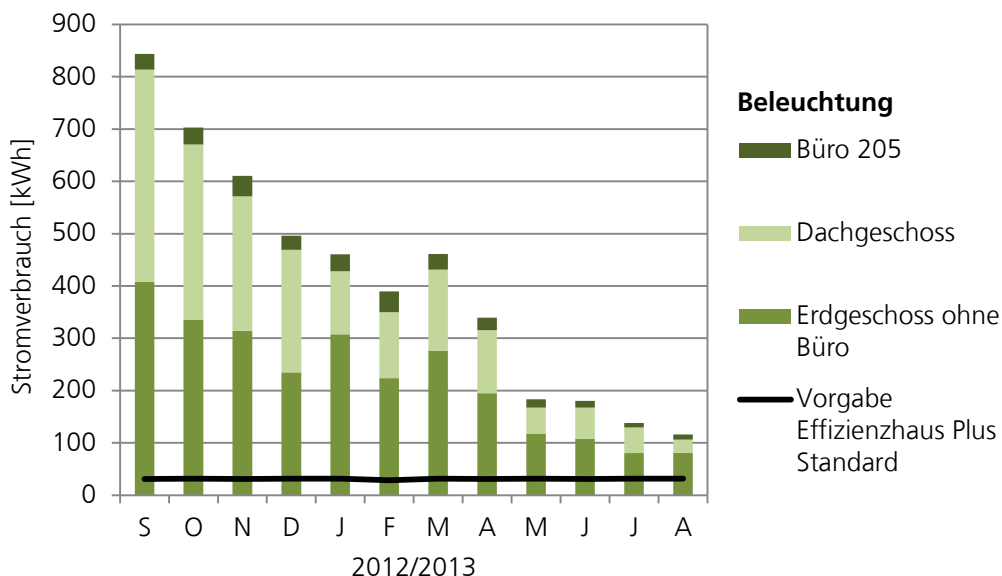


Bild 21: Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

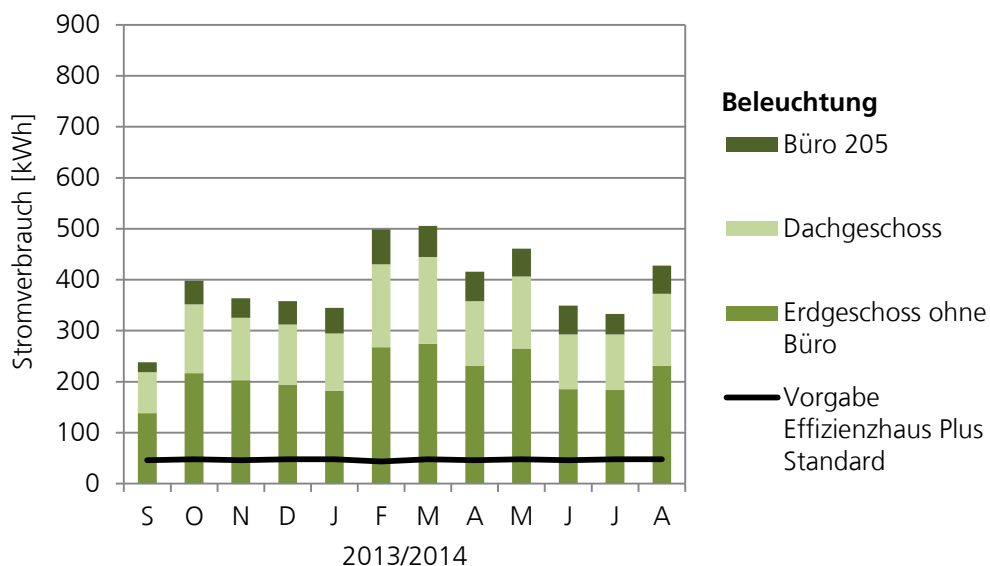


Bild 22: Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Der extrem hohe Stromverbrauch für die Beleuchtung des Hauses ist durch die Funktion des Gebäudes als Musterhaus bedingt. Nach Abstimmungsgesprächen zur energetischen Optimierung des Gebäudes konnte der Stromverbrauch für die Beleuchtung im Laufe des 1. Messjahres reduziert werden. Er liegt jedoch in den Monaten Mai 2013 bis August 2013 mit einem Mittel von 154 kWh/mth noch stets weit über der Vorgabe für den Effizienzhaus Plus Standard von im Mittel 31 kWh/mth.

Im 2. Messjahr konnte der Energieverbrauch der Beleuchtung um 5 % reduziert werden, macht dennoch 36 % des gesamten Energiebedarfs des Hauses aus und sollte trotz der Nutzung des Gebäudes als Musterhaus im Hinblick auf die Energieeffizienz des Gebäudes reduziert werden.

6.3.3 Stromverbrauch Hilfsenergie

Der Stromverbrauch der Hilfsenergie wird in die Anteile Regelung (Pumpen), Befeuchtung, Lüftung, Kühlung über die Lüftungsanlage und Hausautomation (KNX) aufgeteilt. Die Monatswerte für die 1. Messperiode sind in Bild 23 und die für die 2. Messperiode in Bild 24 dargestellt. Eigene Messwerte für die Hausautomation liegen erst ab April 2014 vor. Ergänzend dazu ist die prozentuale Verteilung der Anteile der Hilfsenergie für das erste Messjahr in Bild 25 und für das 2. Messjahr in Bild 26 gezeigt.

Im 1. Messjahr wurden für die Hilfsenergie 3.282 kWh/a und im 2. Messjahr 2.909 kWh/a Strom verbraucht. Davon werden jährlich etwa 40 % für den Betrieb der Lüftungsanlage im Erd- und Obergeschoss genutzt, die ganzjährig kontinuierlich läuft. Die direkte Kühlung über die Lüftungsanlage verbraucht im 1. Messjahr 23 % der Hilfsenergie und wurde im 2. Messjahr auf 11 % reduziert. Der Anteil der Hausautomation an der Hilfsenergie wurde im 1. Messjahr nur für 5 Monate getrennt erfasst. Im 2. Messjahr beträgt der Energieanteil an der Hilfsenergie für die Hausautomation 20 %. Die Steuerung der Wärmepumpe hat über das Jahr einen relativ konstanten Verbrauch mit einem Anstieg desselben in den Sommermonaten (Juni bis August), wenn die Wärmepumpe den Lastfall Kühlen bedient. In diesem Zeitraum steigt auch der Energiebedarf für den Heizkreisverteiler an.

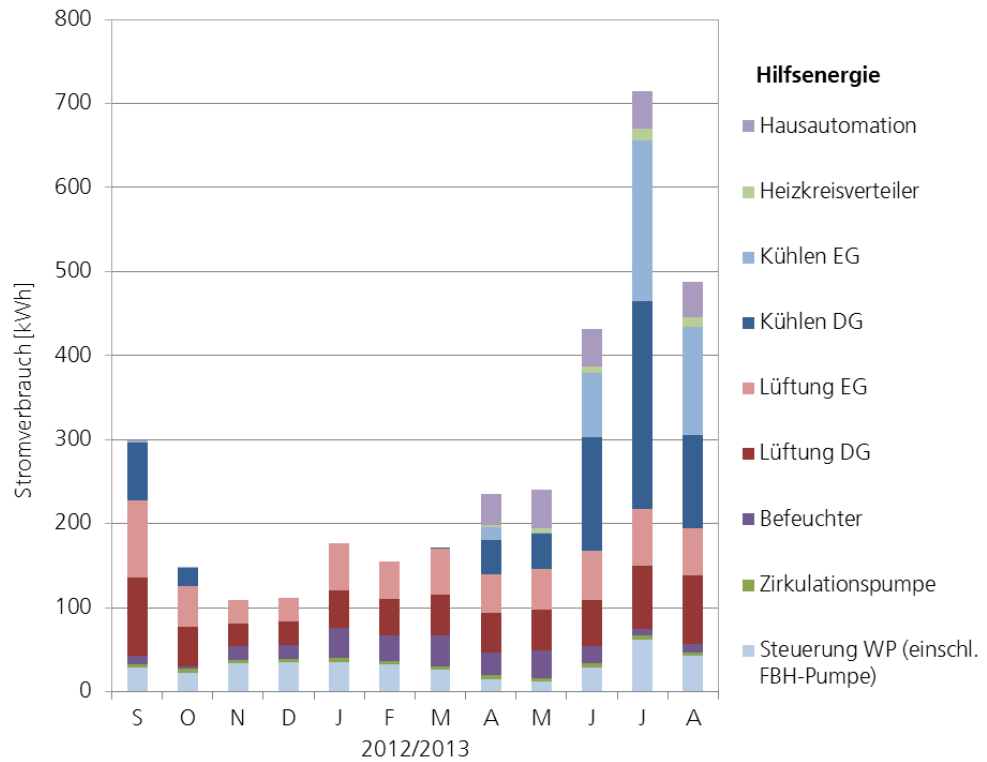


Bild 23: Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

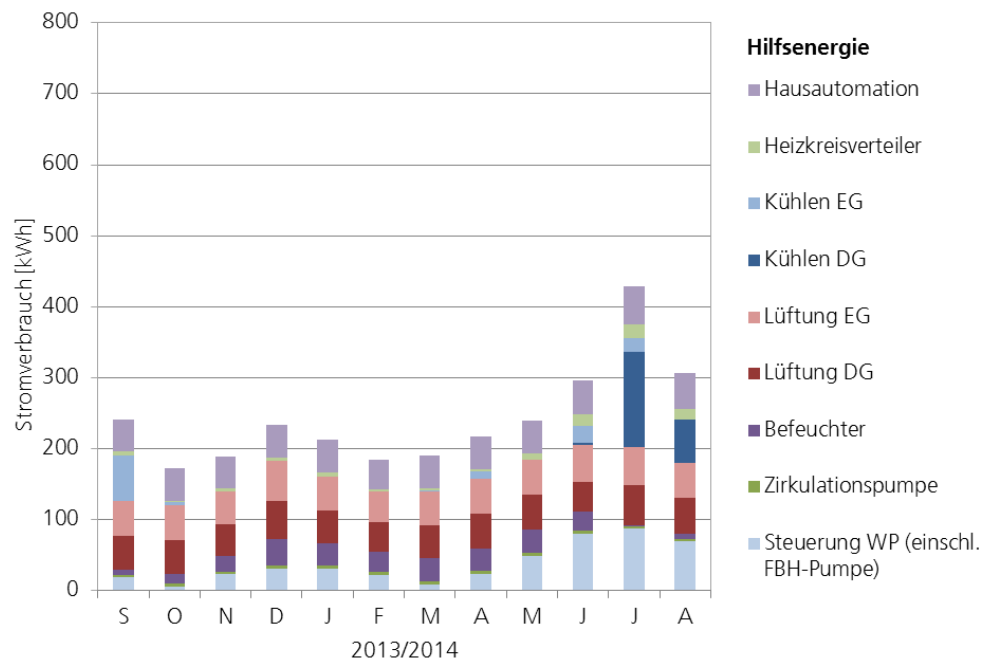


Bild 24: Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Hilfsenergie 2012/2013

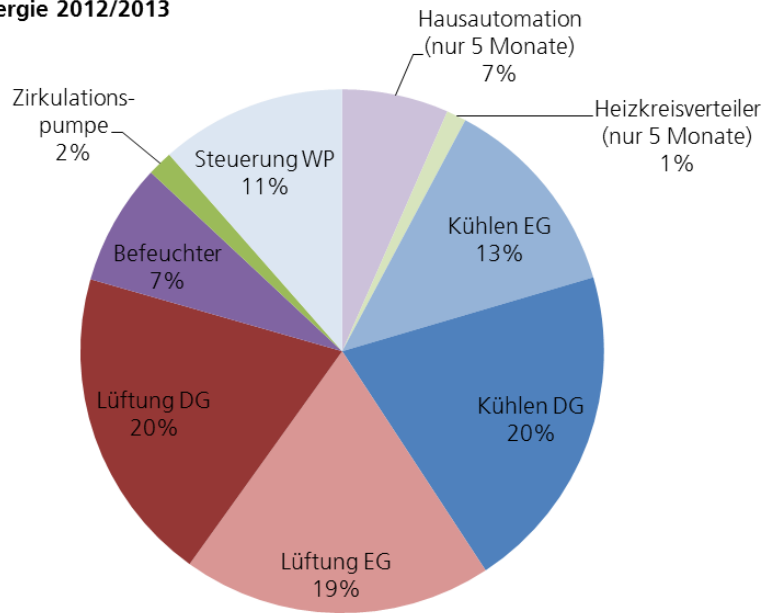


Bild 25: prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs der Anteile der Hilfsenergie im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

Hilfsenergie 2013/2014

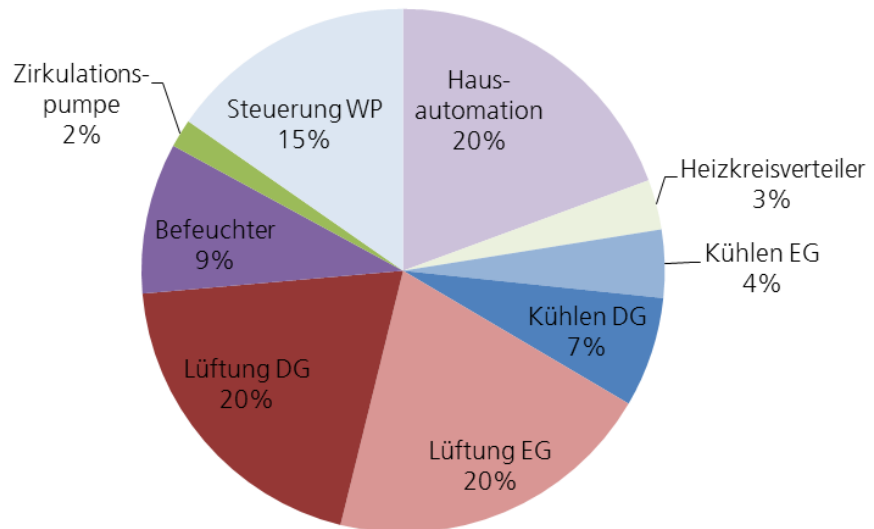


Bild 26: prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs der Anteile der Hilfsenergie im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

6.3.4 Stromverbrauch Haushaltsgeräte

Die monatliche Verteilung des Energieverbrauchs für die Haushaltsgeräte sowie die Vorgabe gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus Standard sind für das 1. Messjahr in Bild 27 und das 2. Messjahr in Bild 28 gezeigt. Der monatliche Stromverbrauch für die Haushaltsgeräte und Steckdosen ohne den Anteil „Sonstiges“ lag im 1. Messjahr im Mittel bei 165 kWh/mth und damit geringfügig unter dem erwarteten Verbrauch von im Mittel 177 kWh/mth nach der Vorgabe Effizienzhaus Plus. Mit dem Anteil „Sonstiges“, der bisher keinem Verbraucher zugeordnet werden kann, beträgt der Energieverbrauch für die Haushaltsgeräte im Monat 233 kWh/mth, das sind monatlich 68 kWh mehr als für den Effizienzhaus Plus Standard vorgegeben. Im 2. Messjahr beträgt der monatliche Stromverbrauch für die Haushaltsgeräte und Steckdosen ohne den Anteil „Sonstiges“ im Mittel 172 kWh/mth und liegt mit dem Anteil „Sonstiges“ bei 219 kWh/mth.

Aufgrund der Tatsache, dass bis auf Küche und Büro an den Steckdosen in den einzelnen Räumen Steh- und Tischlampen angeschlossen sind, fällt der Stromverbrauch für die Haushaltsgeräte zu hoch und der für die Beleuchtung zu gering aus, da der Stromverbrauch dieser Steckdosen zu dem der Haushaltsgeräte statt der Beleuchtung gezählt wird.

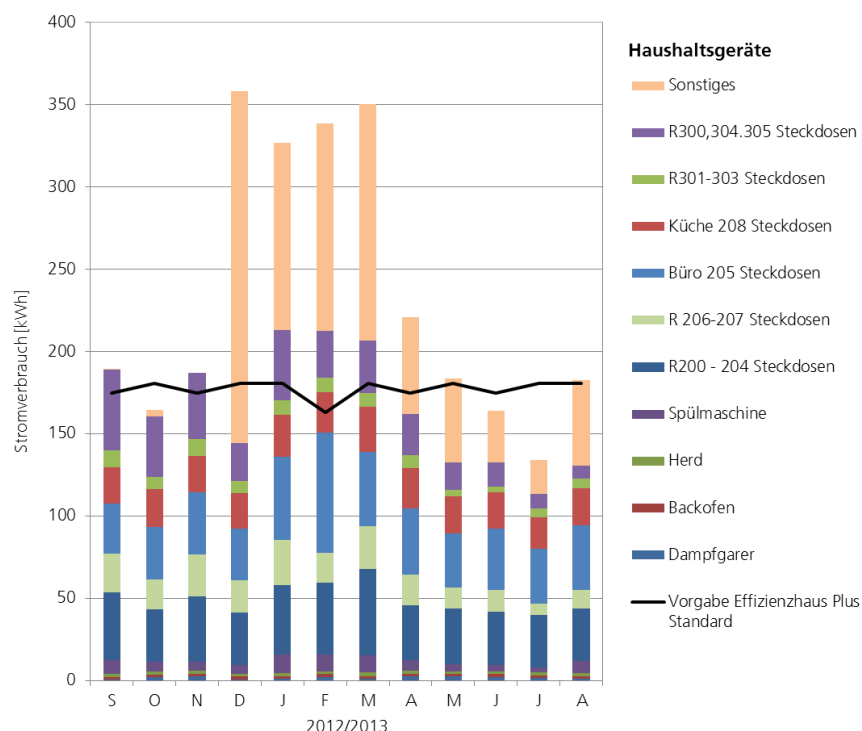


Bild 27: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

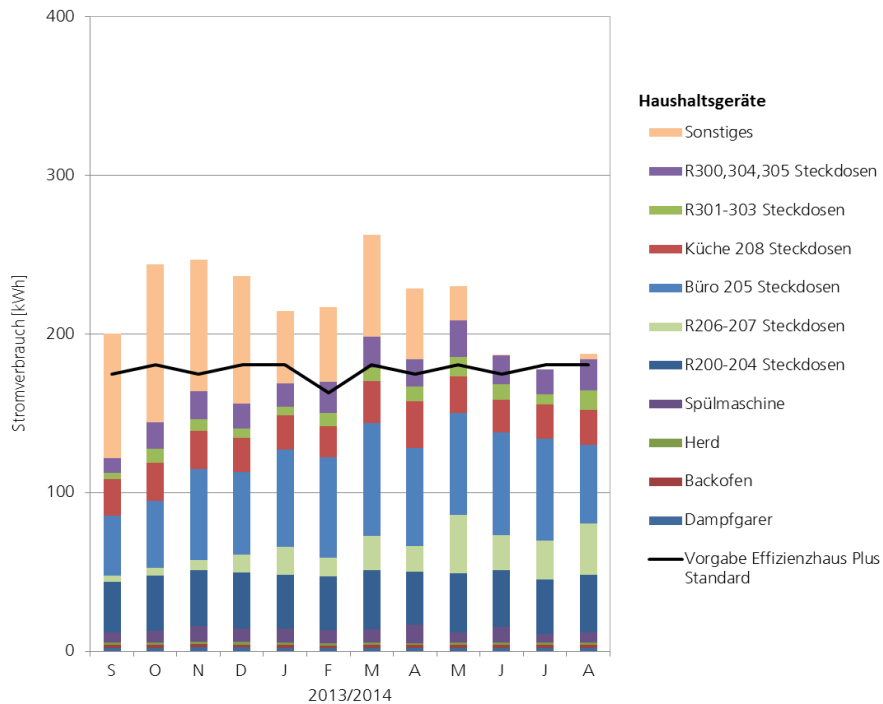
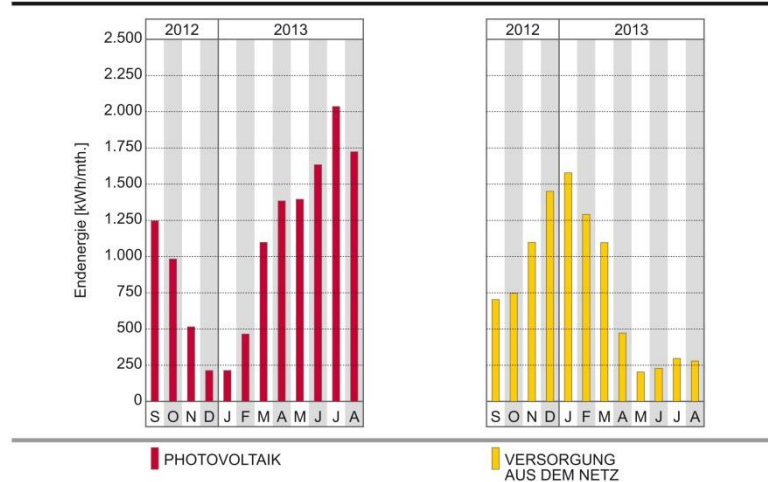


Bild 28:
Stromverbrauch Haushaltsgeräte und sonstiges im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

6.3.5 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag

Von der Photovoltaikanlage wurden, wie in Bild 29 gezeigt, im 1. Messjahr 12.905 kWh/a generiert, davon wurden 6.315 kWh/a im Haus selbst genutzt und 6.591 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im Messzeitraum 9.442 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch (ohne projektspezifischen Anteil (608 kWh/a)) von 15.148 kWh/a.

ENERGIEQUELLE



ENERGIENUTZUNG

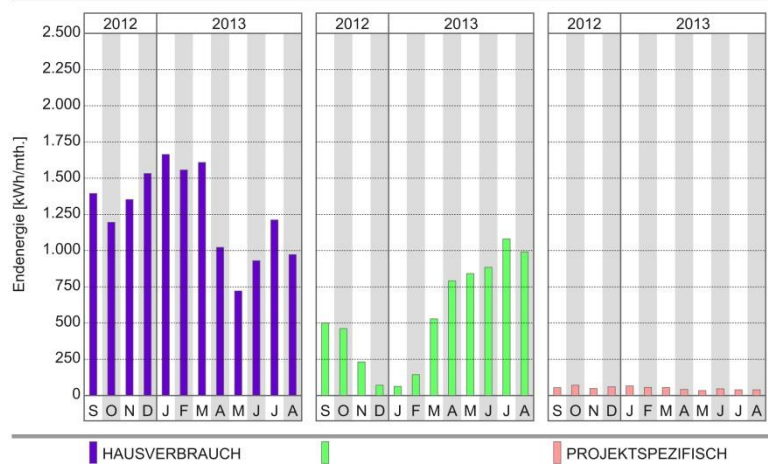


Bild 29:

Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

Im 2. Messjahr wurden von der Photovoltaikanlage 14.765 kWh/a generiert, davon wurden 7.151 kWh/a im Haus selbst genutzt und 7.615 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im Messzeitraum 6.560 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch (ohne projektspezifischen Anteil (708 kWh/a)) von 13.002 kWh/a.

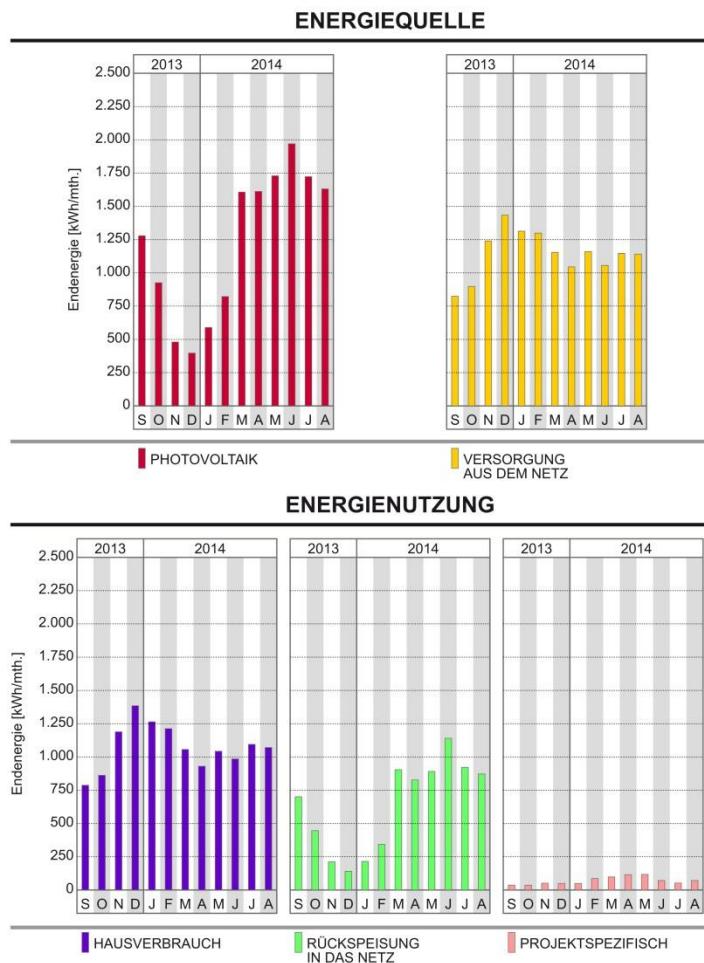


Bild 30: Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Das Photovoltaiksystem konnte somit, wie Bild 31 zeigt, den Hausverbrauch nicht decken. Die Differenz zwischen Verbrauch und Ertrag beträgt 2.243 kWh. Der vorherberechnete Endenergieüberschuss von 2.980 kWh wird nicht erreicht. Die größte Abweichung zwischen der Vorherberechnung und der Messung resultiert aus dem erhöhten Stromverbrauch für die Beleuchtung. Es waren 375 kWh angesetzt und es wurden im Laufe des 1. Messjahres 4.922 kWh, ca. das 13-fache mehr, verbraucht. Der projektspezifische Verbrauch von 608 kWh/a, der den Energieverbrauch für die Außenbeleuchtung und Visualisierung der Hausautomation beinhaltet, wird bei der kumulierten Endenergie nicht berücksichtigt.

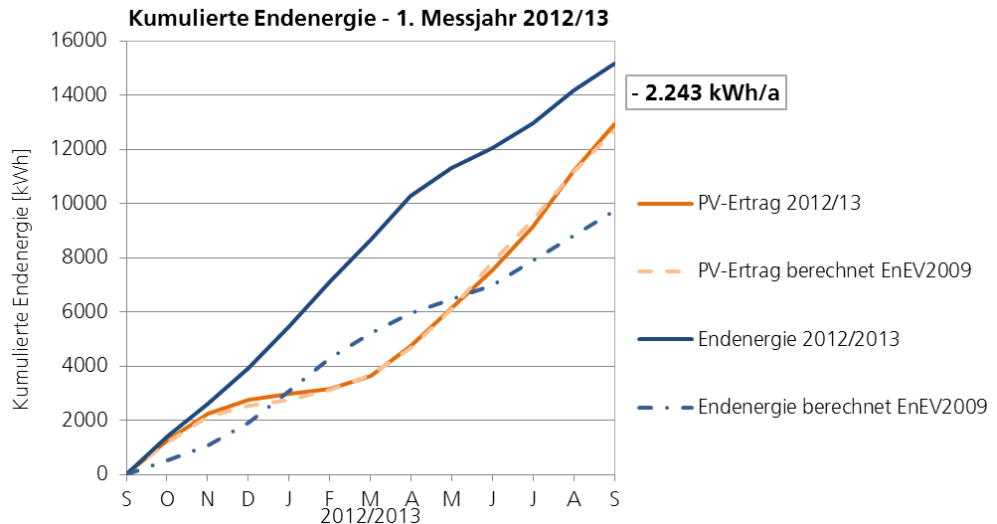


Bild 31: kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus den Photovoltaikanlagen des Effizienzhauses Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2012 bis August 2014.

Unter der Annahme eines konstanten monatlichen Energieverbrauchs für die Beleuchtung von ca. 180 kWh/mth hätte das Haus insgesamt 12.387 kWh/a in der Messperiode von September 2012 bis August 2013 verbraucht und durch den Ertrag der Photovoltaikanlage von 12.905 kWh/a ein Plus von 518 kWh/a erwirtschaftet. Der Verlauf des Verbrauchs und der Produktion ist für diese Randbedingung in Bild 32 gezeigt.

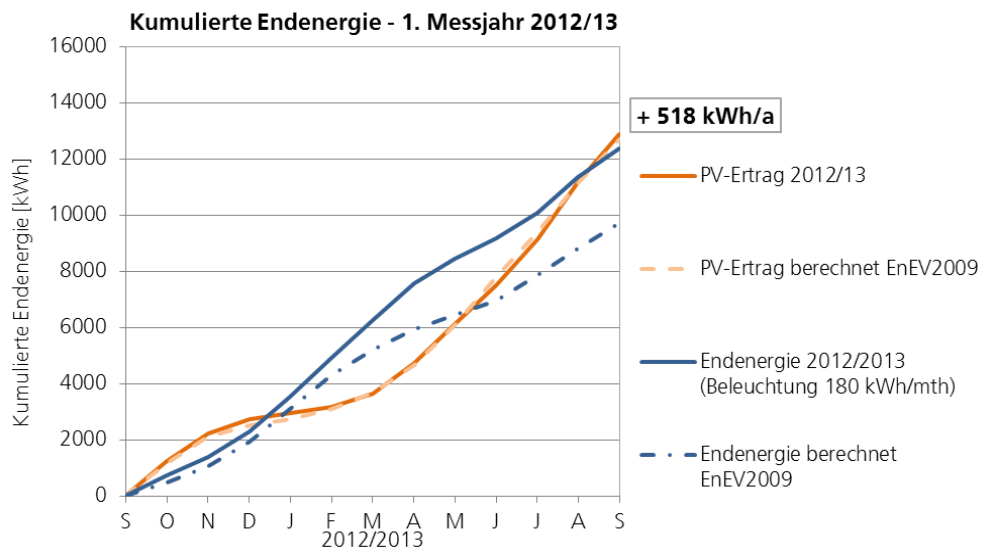


Bild 32: kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch unter Annahme eines monatlich konstanten Energieverbrauchs für Beleuchtung von 180 kWh/mth und Energieertrag aus den Photovoltaikanlagen des Effizienzhauses Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

Im 2. Messjahr wurde, wie Bild 33 zeigt, ein Energieüberschuss von 1.763 kWh erzeugt. Dieser resultiert sowohl aus der Mehrproduktion der PV-Anlage als

auch aus einem geringeren Hausverbrauch. Auffällig während der 2-jährigen Messphase bleibt bei der Darstellung der kumulierten Endenergie der nahezu konstante Anstieg des Hausverbrauchs über das Jahr, der keinen saisonalen Einflüssen, wie in der Vorherberechnung zu sehen ist, unterliegt.

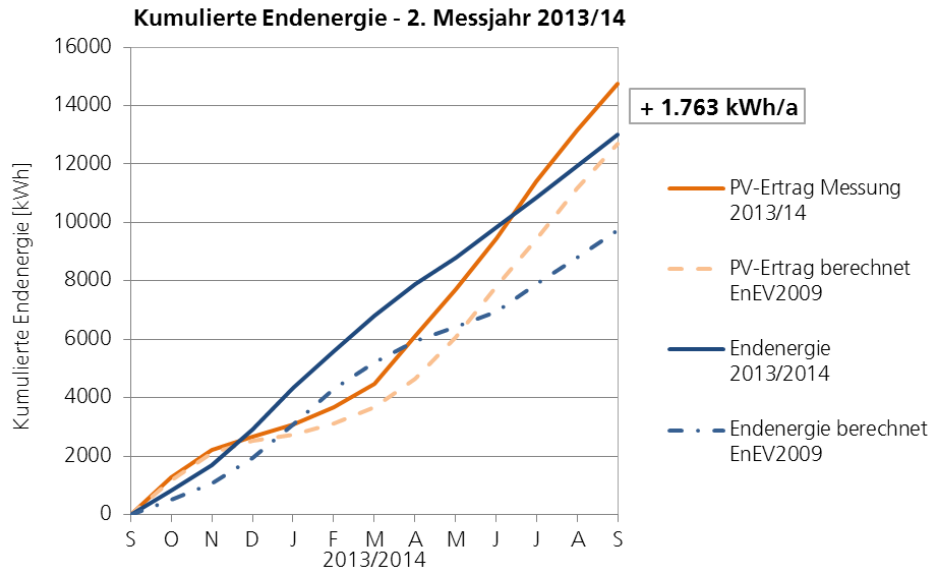


Bild 33: kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus den Photovoltaikanlagen des Effizienzhauses Plus green[r]evolution HUF HAUS im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

6.4 Eigenstromnutzung und Autarkiegrad

Bild 34 zeigt für das 1. 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 August 2013 im Mittel 44 %. In den Wintermonaten steigt der selbstgenutzte Anteil des PV-Stroms aufgrund des geringen Angebots auf 70 % an.

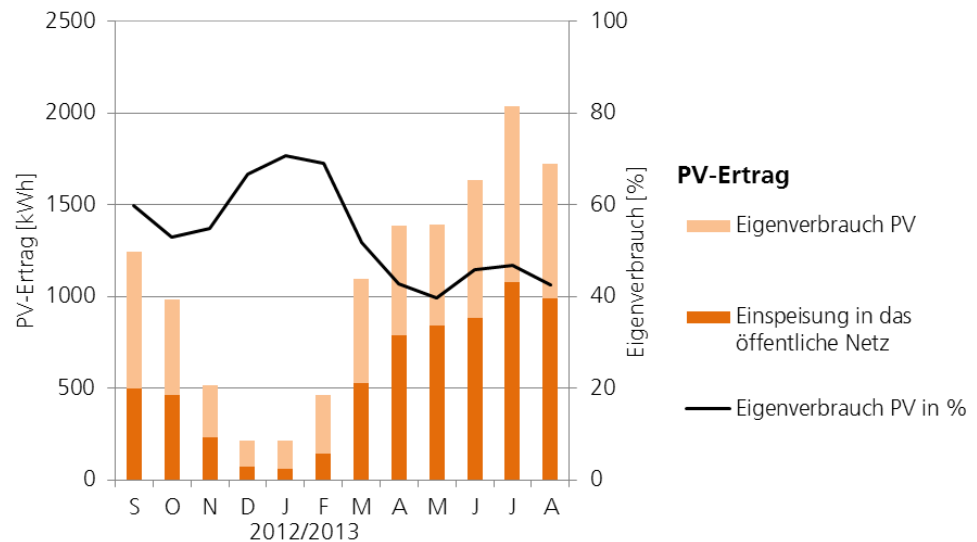


Bild 34: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch und Netzeinspeisung sowie prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum September 2012 bis August 2014.

Für das 2. Messjahr sind die monatlichen Photovoltaikerträge, aufgeteilt in Eigenverbrauch und Einspeisung, in Bild 35 gezeigt. Der im Gebäude selbst genutzte Strom betrug in den Monaten April bis August 2014 im Mittel 46 %. Dieser relativ hohe Anteil ist auf die Nutzung der Batterie zurückzuführen. Weitergehende Aussagen können dazu nicht gemacht werden, da dem IBP die Messwerte der Batterie nicht vorliegen.

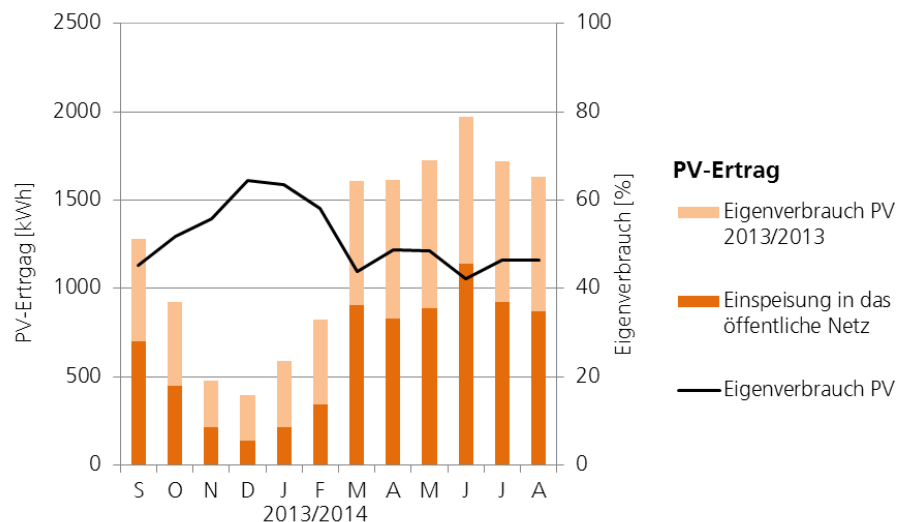


Bild 35: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch und Netzeinspeisung sowie prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

Die Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und der monatliche Autarkiegrad in Bezug auf den PV-Strom sind für das 1. Messjahr in Bild 36 und das 2. Messjahr in Bild 37 gezeigt. Der Autarkiegrad beträgt im Sommer ca 75 % und im Winter 30 %.

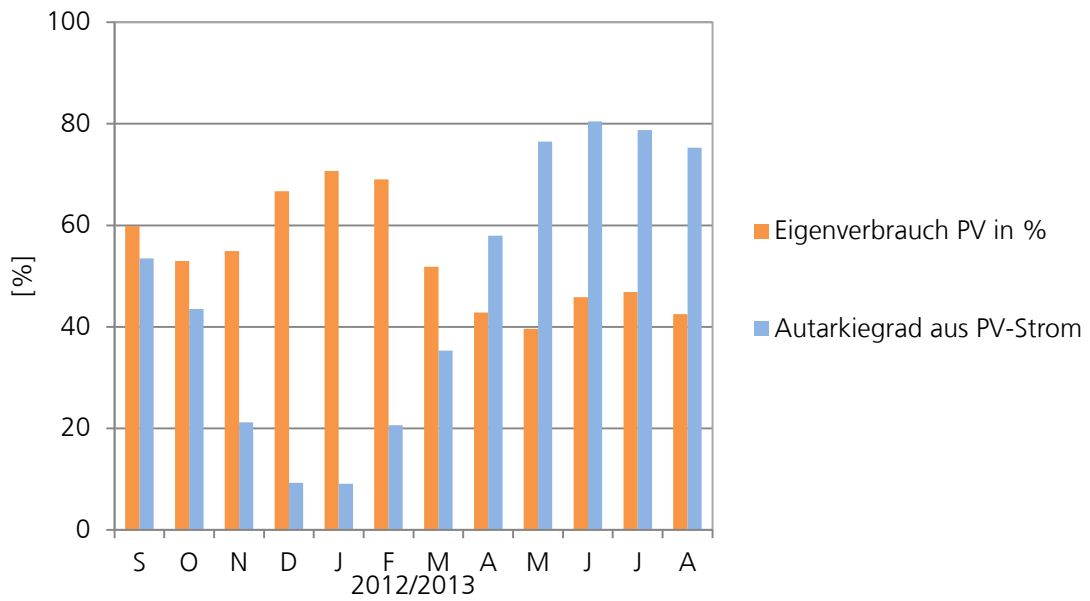


Bild 36:
monatliche Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad des PV-Stroms im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

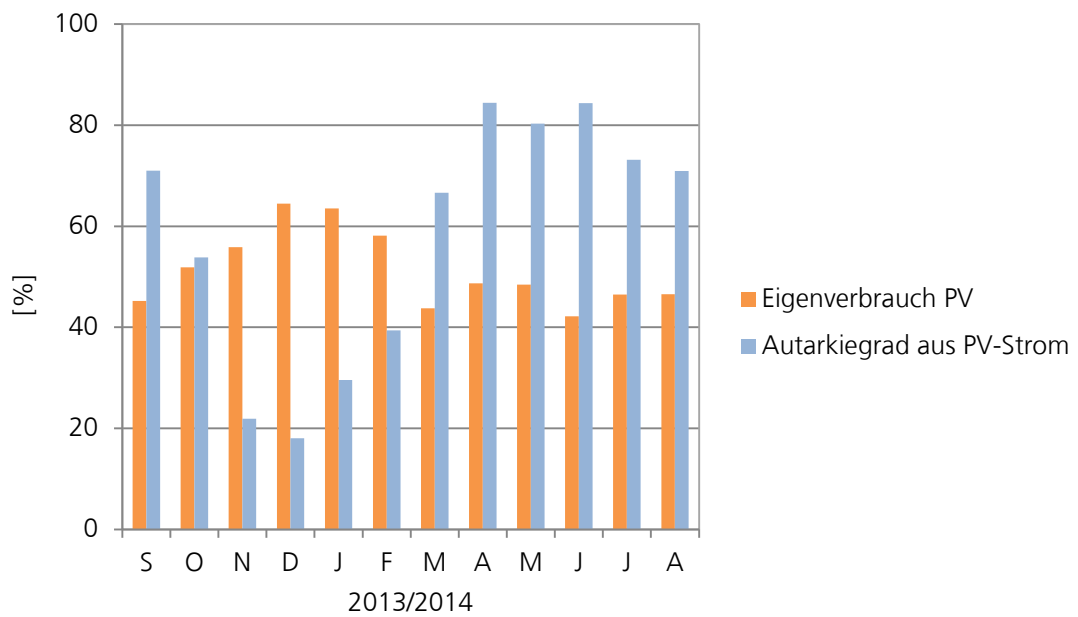


Bild 37:
monatliche Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad des PV-Stroms im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

6.5 Anlagenperformance

Die Anlagenperformance der Sole/Wasser-Wärmepumpe lässt sich durch die monatliche Arbeitszahl beschreiben. Diese wird im Folgenden nur für die Bilanz der Wärmepumpe im Heizfall aus dem Energieanteil für den Heizbetrieb und der dabei abgegebenen Wärmemenge bestimmt. Die monatlichen Arbeitszahlen für das 1. Messjahr sind in Bild 38 und für das 2. Messjahr in Bild 39 gezeigt.

Im 1. Messjahr schwankt die monatliche Arbeitszahl im Jahresverlauf. Außerhalb der Heizperiode, nur während des Warmwasserbetriebs, hat sie eine minimale Größe von 0,9. Während des Heizbetriebs steigt sie auf maximal 4,9. Über das Jahr beträgt die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe auf Basis der Messwerte 2,4. Im 2. Messjahr steigt die monatliche Arbeitszahl während der Heizperiode auf 6,7 an und fällt bei reinem Warmwasserbetrieb der Wärmepumpe auf 1,4. Die Jahresarbeitszahl hat eine Größe von 4,0.

Durch die Nutzung des Gebäudes als Musterhaus mit einem nur geringen Warmwasserbedarf ist die Effizienz der Wärmepumpe in den Sommermonaten durch ihren „Standby-Verbrauch“ mit geringer Betriebszeit eingeschränkt.

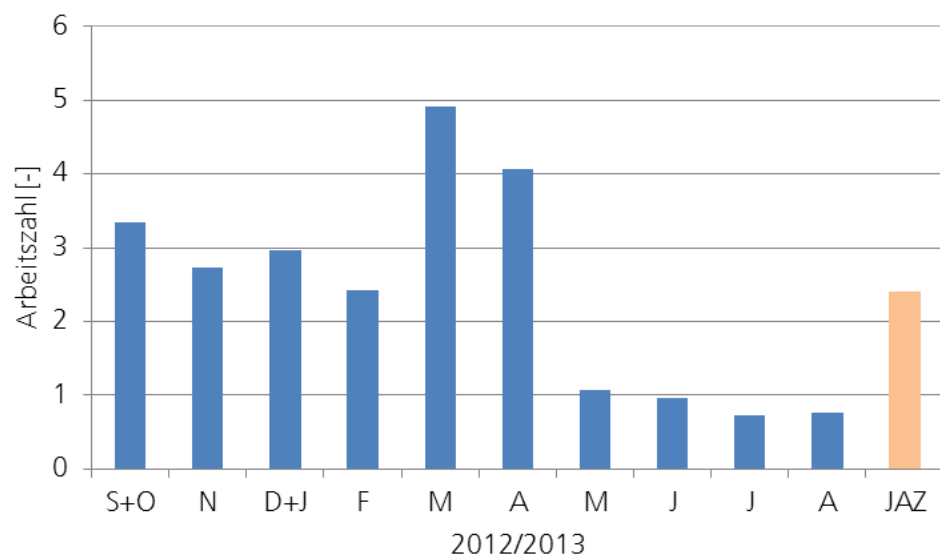


Bild 38:
monatliche Arbeitszahl und Jahresarbeitszahl der Sole/Wasser-Wärmepumpe im Messzeitraum September 2012 bis August 2013.

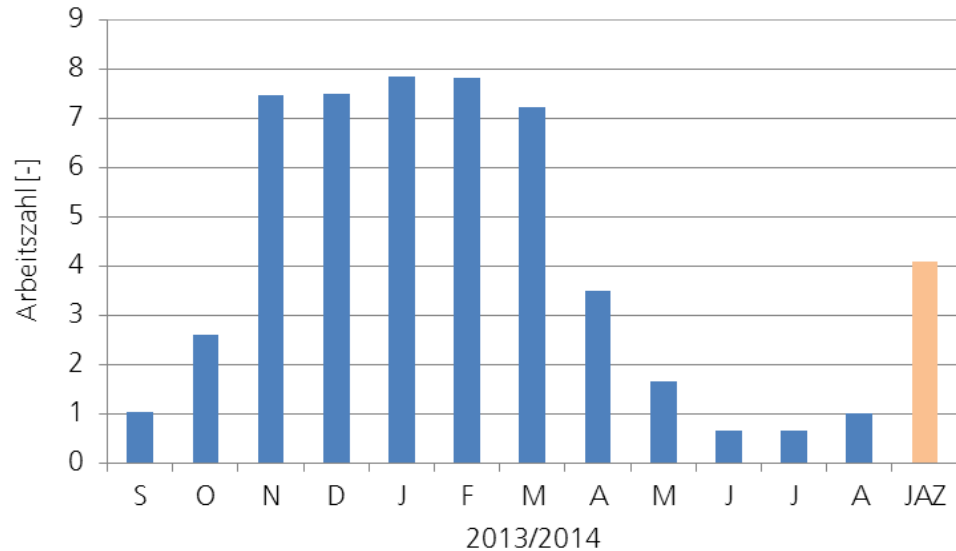


Bild 39:
monatliche Arbeitszahl und Jahresarbeitszahl der Sole/Wasser-Wärmepumpe im Messzeitraum September 2013 bis August 2014.

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 Wohnen (EG), Büro (EG) und Ankleide (OG) für die Monate Juni, Juli 2013 und Juni, Juli 2014 zeigen die Bilder 40 bis 43. Zum Vergleich ist jeweils der Temperaturverlauf der Außenlufttemperatur der Wetterstation des Gebäudes eingezeichnet. Die Außenlufttemperaturen sind als Stundenmittelwerte und die Innenraumlufttemperaturen als 15-minütige Messwerte dargestellt.

Die Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen aller Räume im EG über das Jahr in der 1. und 2. Messperiode sind der Tabelle 10 bzw. Tabelle 11 und der Räume im OG der Tabelle 12 bzw. Tabelle 13 im Anhang B zu entnehmen.

Die Raumlufttemperaturen in den drei ausgewählten Räumen schwanken im Juni 2013 zwischen 22 °C und 26,9 °C und im Juni 2014 zwischen 20,5 °C und 27 °C. Im Juni 2014 liegen sie zwischen 22,6 °C und 26,6 °C und im Juli 2014 zwischen 19,9 °C und 27,9 °C. Innerhalb eines Raumes ist die Temperaturspreizung zwischen der Tag- und Nachtspitze nicht größer als 1,5 K. Eine natürliche Temperaturschichtung zwischen dem Erdgeschoss (kühler) und dem Obergeschoss (wärmer) ist kaum erkennbar. Aufgrund des Betriebs einer Kühlung, indirekt über die Fußbodenheizung und direkt über die Lüftungsanlage, übersteigt die Raumlufttemperatur nur in Ausnahmefällen die Grenztemperatur von 26 °C. Das Gebäude heizt sich an warmen, strahlungsreichen Sommertagen nicht weiter auf.

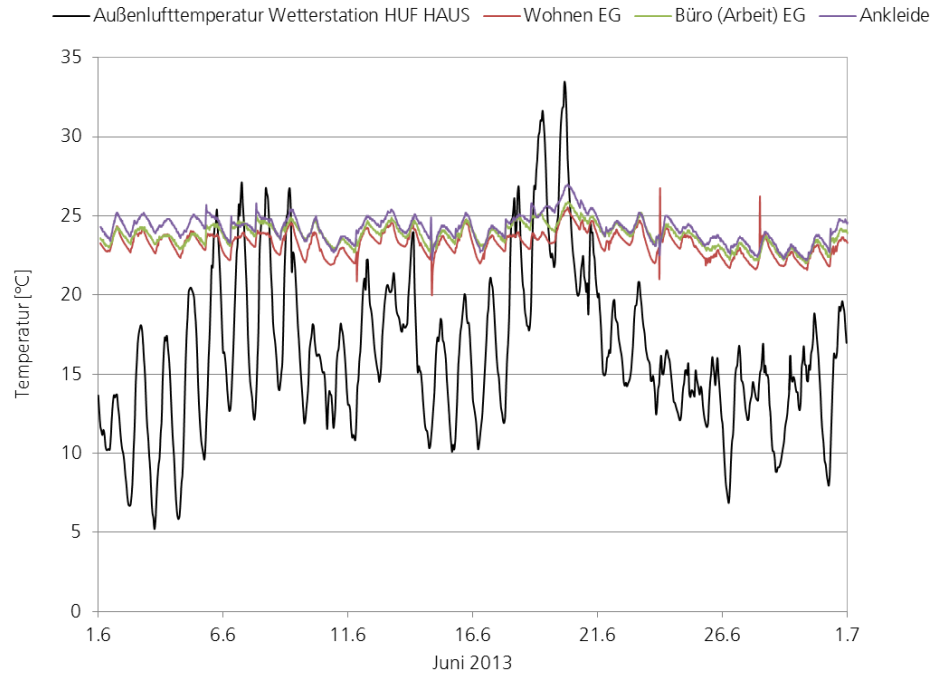


Bild 40:
Verlauf der der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2013.

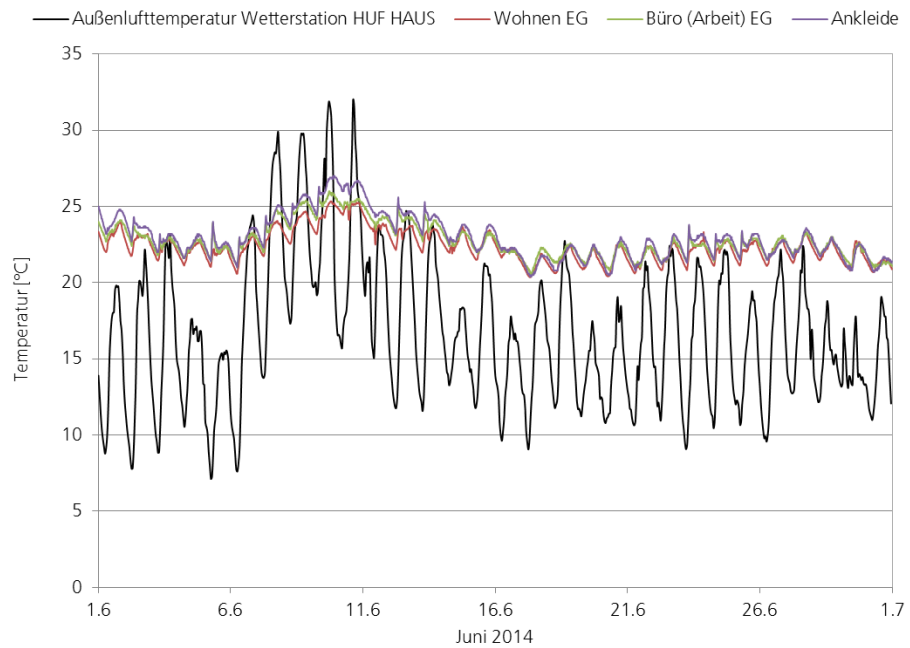


Bild 41:
Verlauf der der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2014.

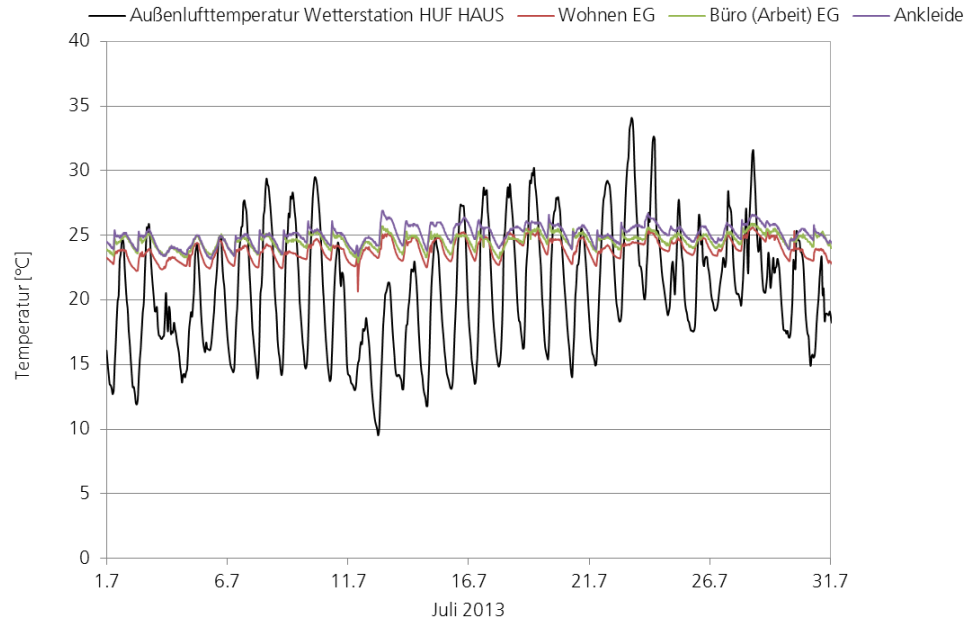


Bild 42:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juli 2013.

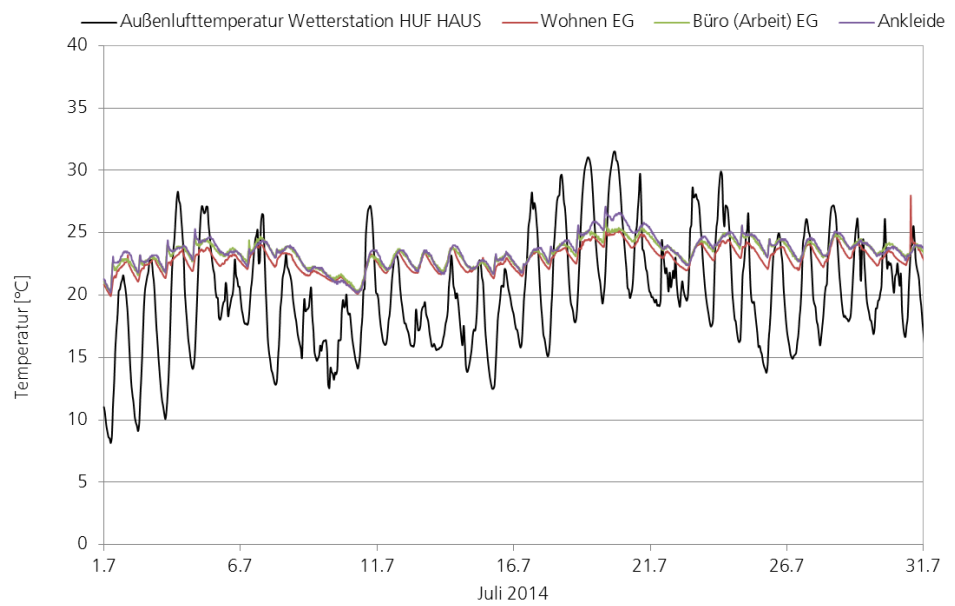


Bild 43:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juli 2014.

6.7 Innenraumlufttemperaturen Winter

Einen Überblick über die Raumlufttemperaturen gegen Ende der Heizperiode des 1. Messjahres in ausgewählten Räumen im Erdgeschoss (Wohnen, Büro, Küche) und Obergeschoss (Ankleide) für den Monat März 2013 zeigt Bild 44.

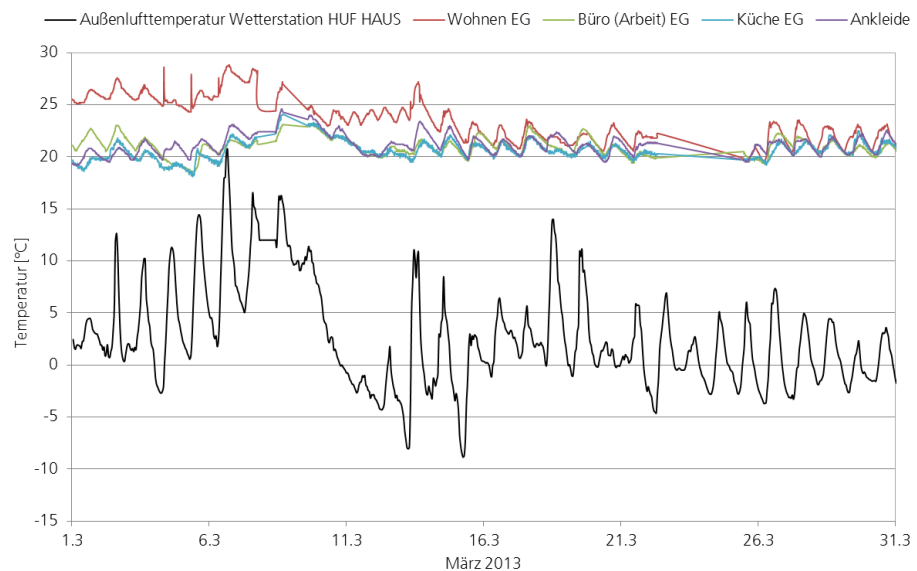


Bild 44:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat März 2013.

Das Temperaturniveau liegt zwischen 20 °C und 23 °C. Am Anfang des Monats wurden, vor allem im Wohnraum, höhere Temperaturen (bis zu 28 °C) aufgezeichnet.

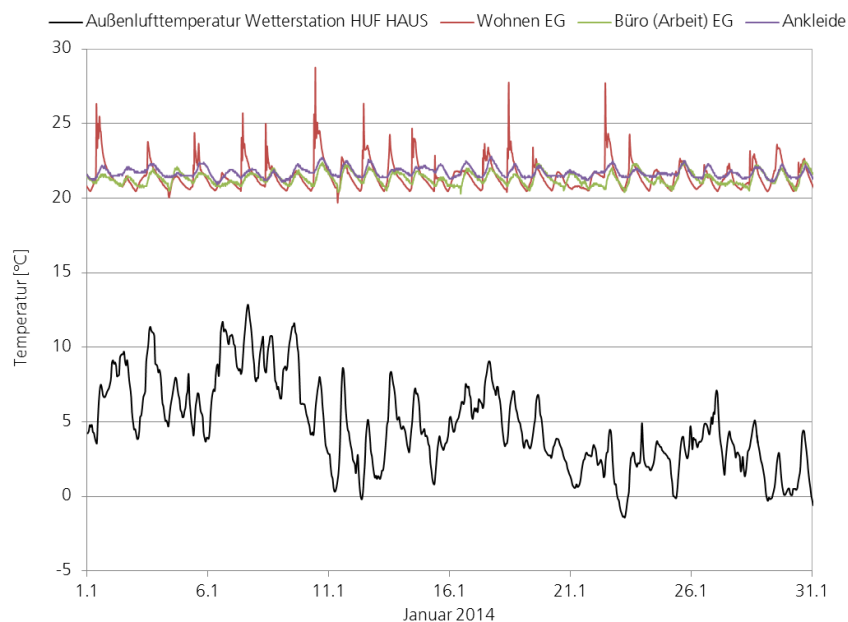


Bild 45:
Verlauf der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Januar 2014.

Für das 2. Messjahr ist die winterliche Temperaturentwicklung in ausgewählten Räumen für den Januar 2014 in Bild 45 dargestellt. Die Raumlufttemperaturen schwanken zwischen 20 °C und 23 °C mit Spitzen im Erdgeschoss von 25 °C bis 29 °C. Damit liegen die Raumlufttemperaturen gemäß des Wunschs der Nutzer ca. 3 K über der angesetzten Innenraumlufttemperatur von 20 °C nach DIN V 18599. Dadurch erhöht sich der Heizenergieverbrauch gegenüber dem vorherberechneten Verbrauch.

6.8 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. Die Anlage ist jedoch so eingestellt, dass 1.000 ppm (Grenzwert nach Pettenkofer) nicht überschritten werden. Der Verlauf der CO₂-Konzentration in der Raumluft wurde im Erdgeschoss und im Dachgeschoss gemessen und ist für Januar 2014 in Bild 46 und für März 2014 in Bild 47 gezeigt.

Der CO₂-Gehalt der Raumluft beträgt im Mittel 600 ppm mit zwei Spitzen im Januar 2014 im Dachgeschoss, die knapp über 1.000 ppm. Die Ergebnisse zeigen, dass eine gute Raumluftqualität vorliegt.

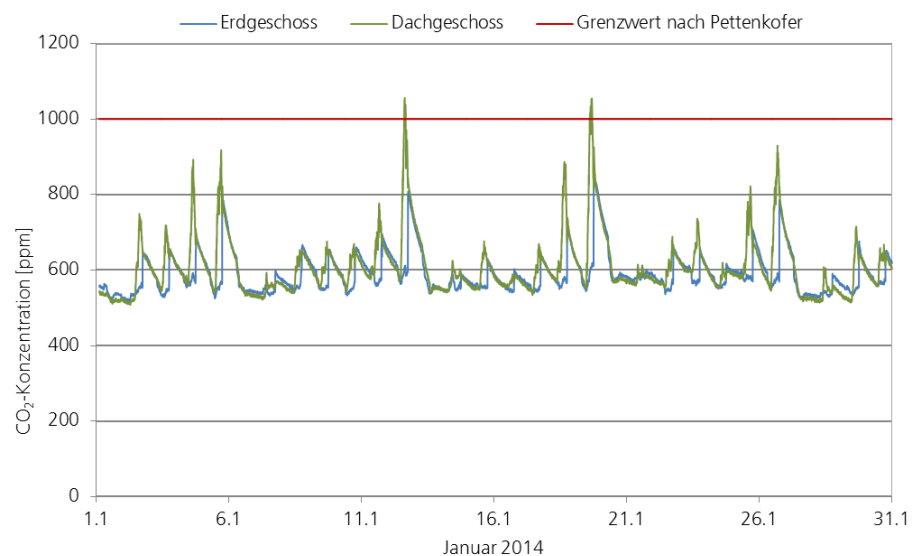


Bild 46:
CO₂-Gehalt der Raumluft im Erdgeschoss und Dachgeschoss im Monat Januar 2014.

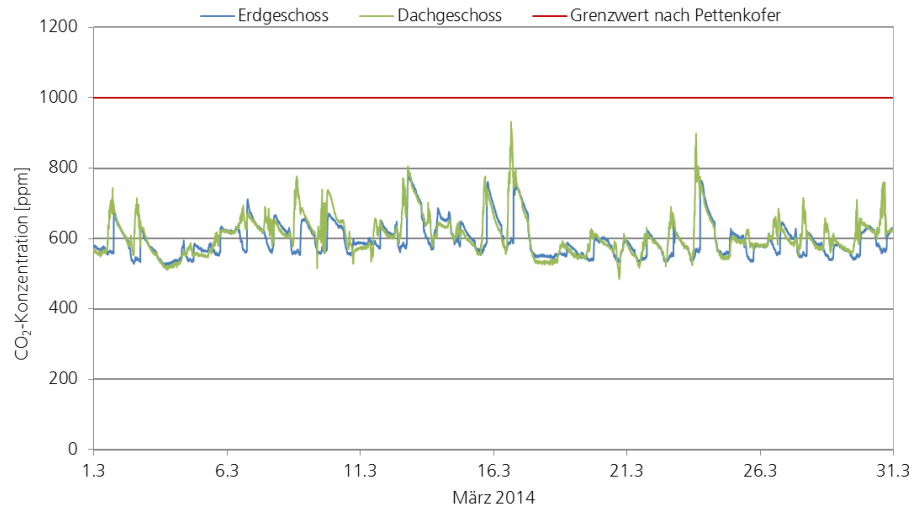


Bild 47:
CO₂-Gehalt der Raumluft im Erdgeschoss und Dachgeschoss im Monat März 2014.

6.9 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 48 bis 55 sind die Behaglichkeitsdiagramme für zwei Räume im Gebäude, das Büro im EG und die Ankleide im OG, für einen Wintermonat innerhalb der Heizperiode im März und für einen Sommermonat, den August, im Jahr 2013 und 2014 dargestellt.

Die Messwerte liegen im März im Büro und der Ankleide zum überwiegenden Teil für beide Messjahre im „noch behaglichen“ Bereich. Im August 2012 liegen die Messwerte teilweise im behaglichen und zum überwiegenden Teil im „noch behaglichen“ Feld. Für den August 2014 verschiebt sich die Punktwolke vermehrt in den behaglichen Bereich. Es kann von einem angenehmen Raumklima ausgegangen werden.

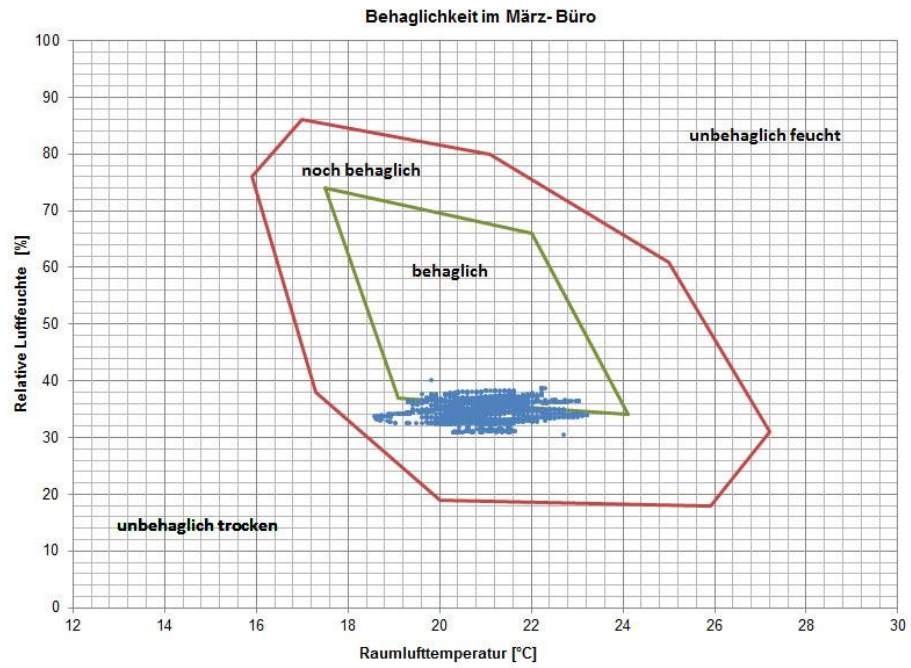


Bild 48: Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG-Büro im März 2013.

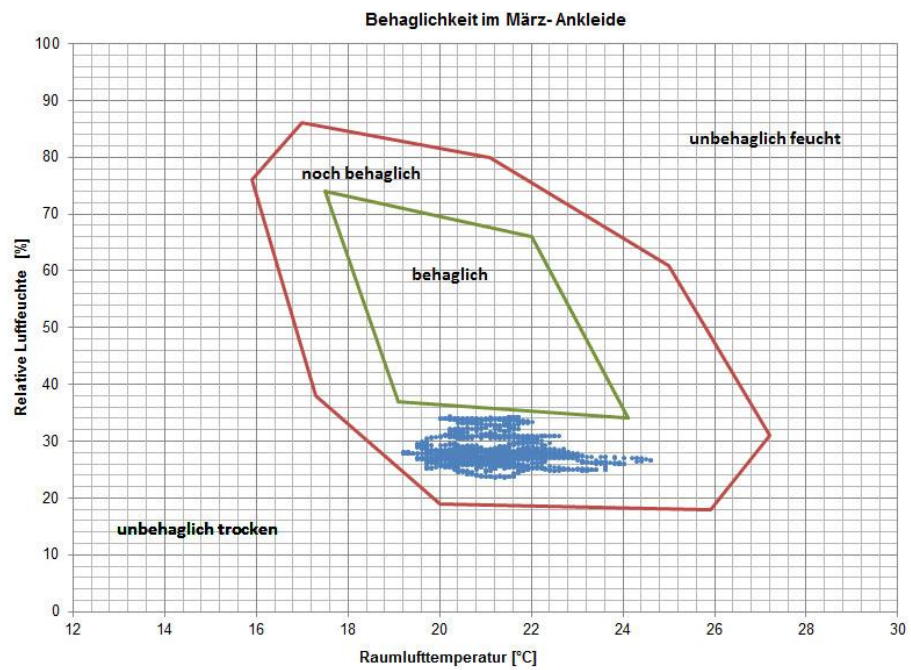


Bild 49: Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG-Ankleide im März 2013.

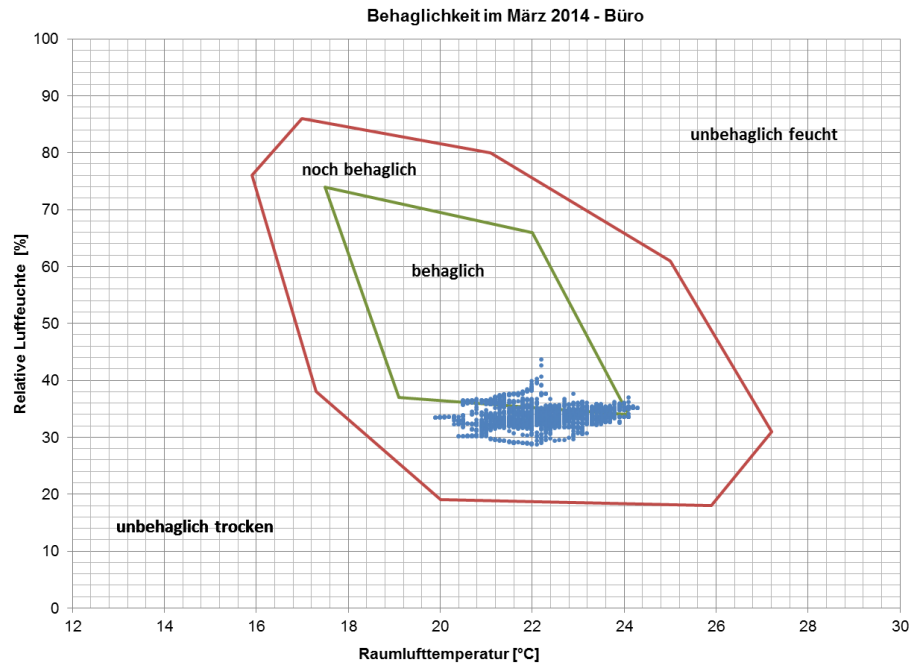


Bild 50:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG-Büro im März 2014.

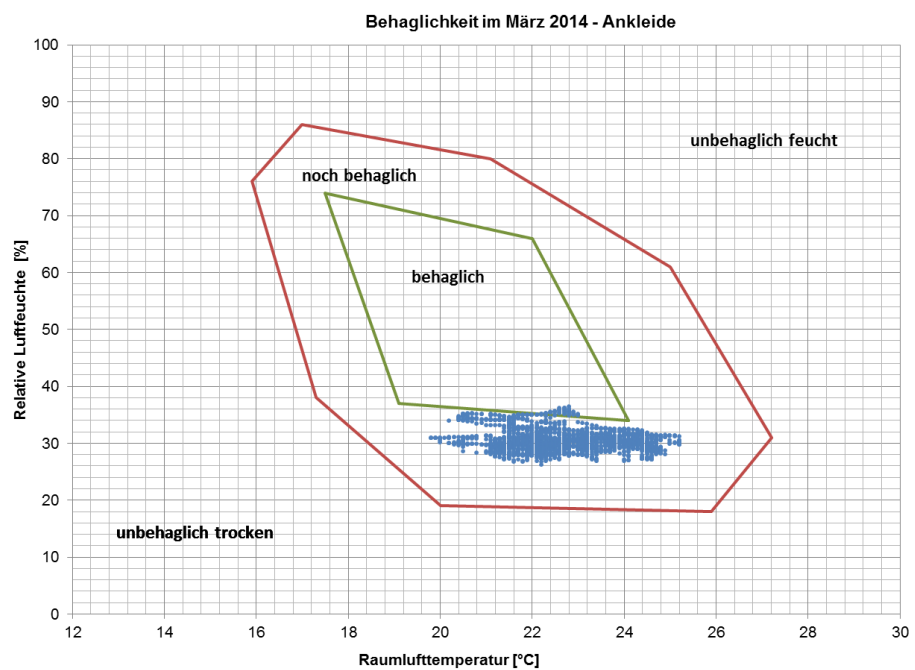


Bild 51:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG-Ankleide im März 2014.

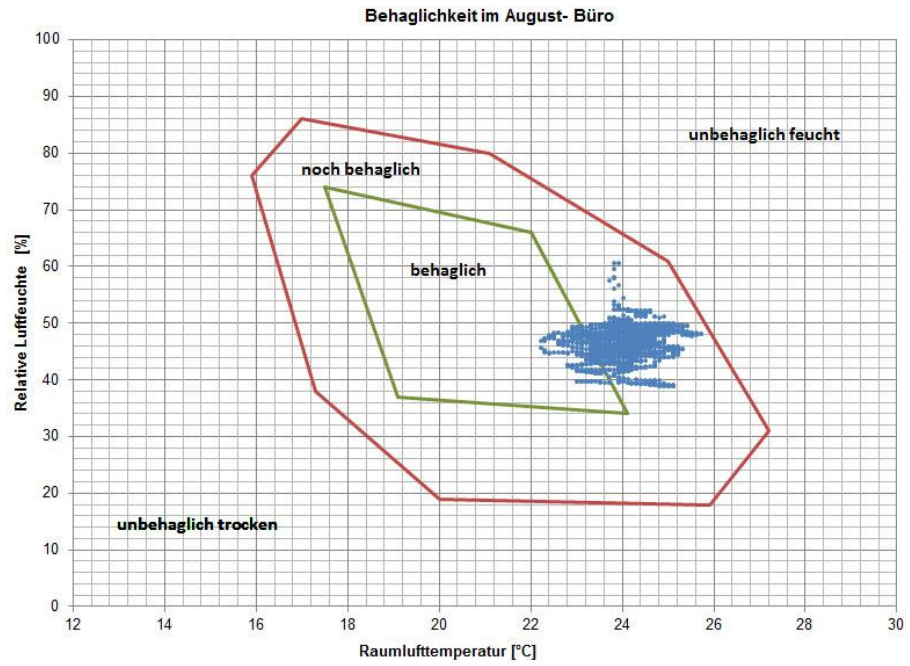


Bild 52: Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG-Büro im August 2013.

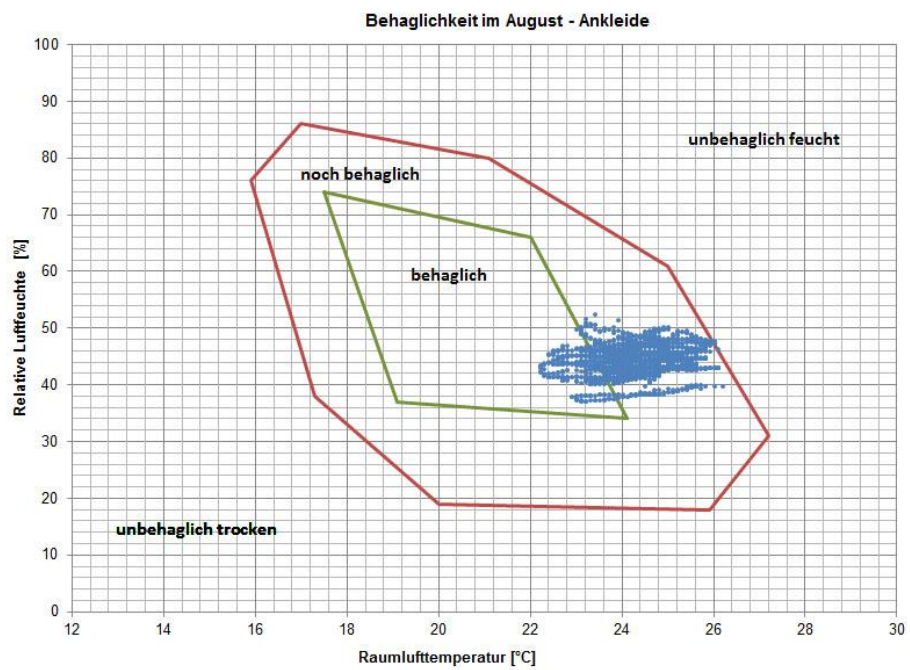


Bild 53: Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG-Ankleide im August 2013.

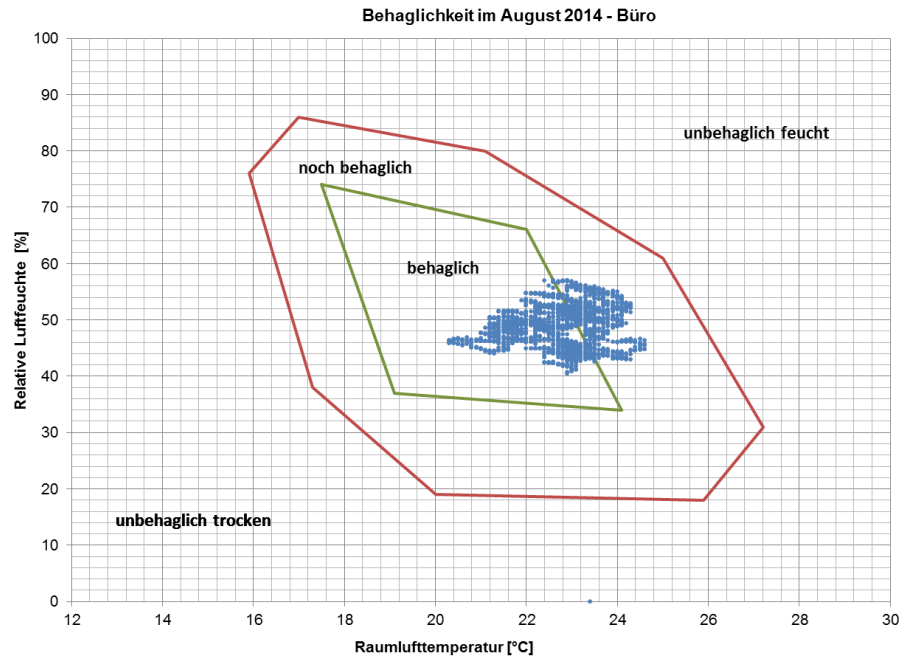


Bild 54:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG-Büro im August 2014.

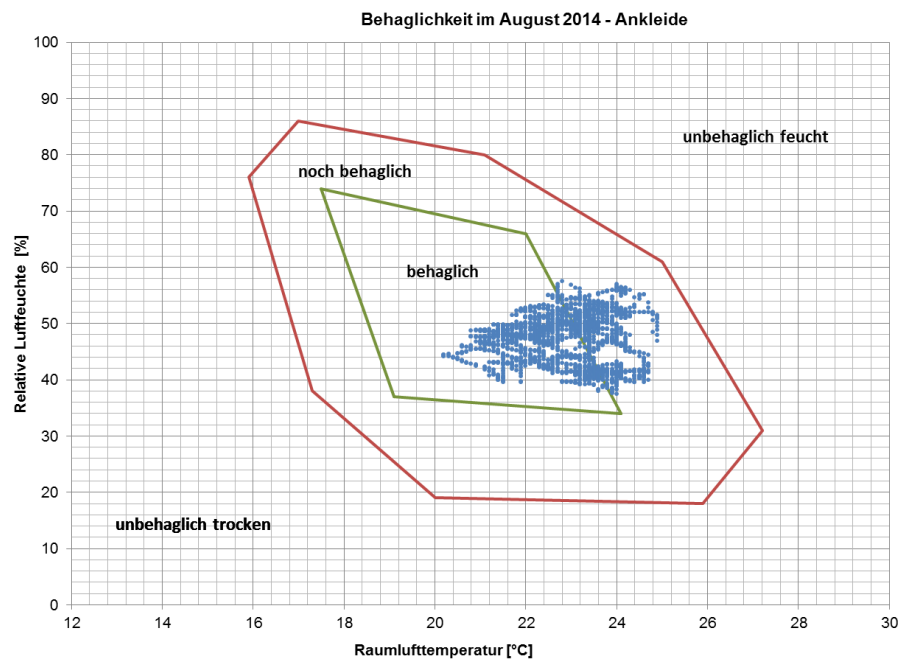


Bild 55:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG-Ankleide im August 2014.

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Nach Angabe der Firma HUF HAUS betragen die Kosten des Gebäudes ab Oberkante Bodenplatte 659.882 € incl. Mehrwertsteuer.

Die Mehrkosten für den Effizienzhaus Plus Standard haben eine Höhe von 96.899 € incl. Mehrwertsteuer und beinhalten die folgenden Leistungen: Erhöhung des Fußbodenaufbaus im Erdgeschoss inklusiver zusätzlicher Wärmedämmung, die Photovoltaikanlage einschließlich der Vorbereitungsleistungen zur Indachmontage sowie den Solarwechselrichter mit integrierter Batterie. Eine Auskunft über die während der Messperiode aufgetretenen Energie- und Betriebskosten bzw. Einspeisevergütungen liegen nicht vor.

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

In der zweijährigen Messperiode von September 2012 bis August 2014 erwirtschaftet das Gebäude aufgrund des hohen Strombedarfs für die Beleuchtung im ersten Messjahr keinen Überschuss. Im zweiten Messjahr konnte aufgrund des milden Winters und der guten Performance der Photovoltaikanlage ein Plus von 1.763 kWh/a erreicht werden, das den Wert der Prognose von 2.980 kWh/a jedoch nicht ganz erreicht.

Der Vergleich der gemessenen hausbezogenen Verbrauchswerte (gemäß Kapitel 6.1) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (gemäß Kapitel 3.4) 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: 7.427 kWh (Messung) anstelle 7.230 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 4.922 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt einschl. Sonstiges: 2.799 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem um etwa 56 % erhöhten Energieverbrauch: 15.148 kWh (Messung) anstelle 9.730 kWh (Planung). Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (12.905 kWh/a gemäß Kapitel 6.2) mit dem vorherberechneten Ertragswert (12.710 kWh/a gemäß Kapitel 3.5) zeigt eine gute Übereinstimmung.

2. Messjahr

- Wärmepumpe einschl. Hilfsenergien: 5.713 kWh (Messung) anstelle 7.230 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 4.693 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt einschl. Sonstiges: 2.597 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem um etwa 41 % erhöhten Energieverbrauch: 13.711 kWh (Messung) anstelle 9.730 kWh (Planung). Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (14.765 kWh/a gemäß Kapitel 6.2) mit dem vorherberechneten Ertragswert (12.710 kWh/a gemäß Kapitel 3.5) anstelle der prognostizierten zeigt einen erhöhten PV-Ertrag für 2014 gegenüber der Vorherberechnung.

Aussagen zur Batterie und damit eventuell auftretende Batterieverluste, die in der Gesamtbilanz des Hauses zu berücksichtigen sind, können nicht gegeben werden, da die Messwerte zur Batterie nicht zur Verfügung gestellt wurden.

Das Hausautomationssystem benötigt 20 % des Stromverbrauchs der Hilfsenergie, das sind 4 % vom Gesamtstromverbrauch des Hauses. Inwiefern Regeleinstellungen zur Energieoptimierung am Energiemanagementsystem durchgeführt wurden, ist nicht bekannt. Eine Beurteilung zur kundenfreundlichen Bedienung sollte durch den Nutzer erfolgen.

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, wurde 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 Anlagenperformance der Wärmepumpe ist starken saisonalen Schwankungen ausgesetzt. Im 2. Messjahr steigt die monatliche Arbeitszahl ab der Heizperiode auf 6,7 an und fällt bei reinem Warmwasserbetrieb auf 1,4. Die Jahresarbeitszahl hat eine Größe von 4,0. Durch die Nutzung des Gebäudes als Musterhaus mit einem nur geringen Warmwasserbedarf weist die Effizienz der Wärmepumpe in den Sommermonaten durch ihre „Standby-Trinkwassererwärmung“ mit geringer Betriebszeit einen sehr schlechten Wert auf. Hier sollte die Trinkwarmwasserwärme durch alternative Systeme bereitgestellt werden.

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

Die Räume des Gebäudes verfügen über eine gute Raumluftqualität, der CO₂-Gehalt liegt mit im Mittel 600 ppm weit unter dem Wert von 1.500 ppm. Zur Reduzierung des Energieverbrauchs der Lüftungsanlage kann diese CO₂-gesteuert werden mit einem Grenzwert von etwa 1.000 ppm. Durch die Verkürzung der Ventilatorlaufzeit könnten sowohl der Stromverbrauch als auch die Lüftungsverluste reduziert werden.

Die Ergebnisse des ersten Betriebsjahres zeigen, dass für ein Effizienzhaus Plus eine Monitoring- und Einregulierungsphase zwingend eingeplant werden muss, um die planerisch ermittelten Kennwerte auch im praktischen Betrieb prüfen und ggfs. anpassen zu können.

9 Literatur

- [1] Fraunhofer IBP: Steckbrief Effizienzhaus Plus green[r]evolution HUF HAUS (Stand Februar 2015). Veröffentlicht auf www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/netzwerk/.
- [2] HUF HAUS: 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 8:
Zusammenstellung der Stromverbräuche für Bezug und Hausverbrauch von September 2012 bis August 2013.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Projekt- spezi- fisch	Hausverbrauch					Summe Hausver- brauch
	Netzbe- zug	PV- Ertrag	PV- Einspei- sung	PV- Eigenver- brauch		Heizung, TWW + Kühlung	Hilfs- ener- gie	Beleuch- tung	Haus- halts- geräte	Sonsti- ges	
	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Sep 12	703	1.246	500	746	54	63	299	844	189	0	1.395
Okt 12	746	983	462	521	71	180	149	703	161	4	1.196
Nov 12	1.098	515	232	283	48	427	109	610	187	0	1.333
Dez 12	1.450	213	71	142	60	566	112	496	145	214	1.533
Jan 13	1.578	214	63	151	66	700	176	460	213	114	1.664
Feb 13	1.291	465	144	321	56	673	155	390	212	126	1.557
Mrz. 13	1.096	1.098	529	569	55	627	171	461	207	144	1.609
Apr 13	472	1.384	791	593	42	227	236	340	162	59	1.023
Mai 13	203	1.395	842	552	34	115	241	183	132	51	722
Jun 13	228	1.634	885	749	46	154	432	181	133	31	931
Jul 13	297	2.036	1.081	955	39	225	715	138	113	21	1.212
Aug 13	279	1.723	991	732	39	186	488	116	130	52	973
Summe	9.442	12.905	6.591	6.315	608	4.145	3.282	4.922	1.983	816	15.148

Tabelle 9:
Zusammenstellung der Stromverbräuche für Bezug und Hausverbrauch von September 2013 bis August 2014.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Projekt- spezi- fisch	Hausverbrauch					Summe Hausver- brauch
	Netzbe- zug	PV- Ertrag	PV- Einspei- sung	PV- Eigenver- brauch		Heizung, TWW + Kühlung	Hilfs- energie	Beleuch- tung	Haus- halts- geräte	Sonsti- ges	
	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Sep 13	246	1.279	701	578	9	135	241	238	122	78	814
Okt 13	418	926	446	480	6	77	172	398	145	99	892
Nov 13	972	480	212	268	19	423	189	363	164	83	1.221
Dez 13	1.178	397	141	256	15	591	233	358	156	80	1.419
Jan 14	939	589	215	374	49	492	213	345	169	46	1.264
Feb 14	822	822	344	478	86	314	184	498	170	47	1.213
Mrz. 14	450	1.607	904	704	98	99	189	506	198	64	1.056
Apr 14	260	1.612	827	785	115	69	216	416	184	45	930
Mai 14	322	1.729	891	837	117	112	240	461	209	21	1.043
Jun 14	225	1.970	1.140	831	71	170	296	349	171	0	985
Jul 14	345	1.723	922	801	52	174	248	333	160	0	1.095
Aug 14	382	1.631	872	759	71	148	307	428	184	3	1.070
Summe	6.560	14.765	7.615	7.151	708	2.804	2.909	4.693	2.030	567	13.003

Anhang B

Tabelle 10:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG sowie Außenlufttemperatur der Wetterstation HUF von März 2013 bis August 2013.

Monat	Diele EG R200	Dusche/WC R202	Diele R204	Büro EG R205	Wohnen EG R206	Küche EG R208	Wetterstation HUF
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mrz. 13	20,9	19,6	23,2	20,9	23,6	20,7	2,4
Apr 13	22,2	20,3	24,2	22,2	22,3	22,6	9,6
Mai 13	22,2	19,6	24,2	22,6	22,2	22,7	12,2
Jun 13	23,3	21,3	25,2	23,8	23,2	24,3	16,4
Jul 13	24,2	22,7	25,8	24,6	23,9	25,4	20,2
Aug 13	23,7	22,1	25,4	24,1	23,6	24,9	18,5

Tabelle 11:

Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG sowie Außenlufttemperatur der Wetterstation HUF von September 2013 bis August 2014.

Monat	Diele EG R200	Dusche/WC R202	Diele R204	Büro EG R205	Wohnen EG R206	Küche EG R208	Wetterstation HUF
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Sep. 13	23,0	20,6	24,9	23,4	23,0	23,8	14,6
Okt. 13	21,8	19,2	23,9	22,3	22,0	22,7	11,9
Nov 13	20,6	19,6	22,5	21,0	20,7	21,0	5,6
Dez 13	21,3	21,0	23,2	21,3	21,5	21,3	4,9
Jan 14	21,3	21,0	23,2	21,3	21,5	21,5	4,7
Feb 14	21,5	18,2	23,5	21,5	21,8	21,7	5,4
Mrz. 14	22,2	18,3	23,9	22,3	22,2	22,4	8,0
Apr 14	22,4	20,2	24,4	22,9	22,6	23,4	12,1
Mai 14	22,0	19,9	23,9	22,7	22,3	23,0	13,2
Jun 14	22,2	20,7	24,0	22,8	22,4	23,7	16,2
Jul 14	22,6	21,1	24,5	23,3	22,9	24,4	20,0
Aug 14	22,1	20,5	24,1	22,8	22,5	23,5	16,3

Tabelle 12:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im OG von März 2013 bis August 2013.

Monat	Empore R300	Kind 1 R301	Bad R302	Kind 2 R303	Bad R304	Ankleide R305
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mrz. 13	21,5	20,8	21,1	20,0	20,3	21,2
Apr 13	22,8	22,2	22,4	20,7	22,4	22,7
Mai 13	22,9	22,4	22,6	20,6	22,7	23,0
Jun 13	24,2	23,7	24,1	22,0	24,2	24,2
Jul 13	25,1	25,0	25,5	23,2	25,3	25,0
Aug 13	24,4	24,1	24,5	22,3	24,3	24,3

Tabelle 13:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im OG von September 2013 bis August 2014.

Monat	Empore R300	Kind 1 R301	Bad R302	Kind 2 R303	Bad R304	Ankleide R305
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Sep. 13	23,6	23,2	23,5	21,4	23,5	23,6
Okt. 13	22,5	22,1	22,3	20,3	22,2	22,4
Nov 13	21,3	20,5	20,8	19,8	20,3	21,0
Dez 13	22,1	21,1	21,5	20,9	21,1	21,7
Jan 14	22,1	21,2	21,5	20,8	20,9	21,7
Feb 14	22,3	21,4	21,8	20,8	21,5	22,0
Mrz. 14	22,9	22,3	22,7	20,9	22,4	22,7
Apr 14	23,3	22,9	23,2	21,2	23,1	23,4
Mai 14	22,9	22,5	22,8	20,7	22,8	22,9
Jun 14	23,1	23,0	23,3	21,1	23,5	23,1
Jul 14	23,5	23,3	23,7	21,3	23,6	23,4
Aug 14	22,9	22,7	23,0	20,8	22,9	22,9