

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 12

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

Forschungsprogramm

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

Messperiode

März 2012 bis Februar 2014

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-11.5

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 179/2015

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

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

Hans Erhorn
Antje Bergmann
Michael Beckert
Johann Reiß

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

IBP-Bericht WB 179/2015

Effizienzhaus Plus der Firma Bien-Zenker - wissen- schaftliche Begleitung bei der Konzeption sowie messtechnische und energetische Validierung des Musterhauses in Köln-Frechen

Durchgeführt im Auftrag von Bien-Zenker im Rah-
men des BMUB-Förderprogramms „Effizienzhaus
Plus“

Der Bericht umfasst

50 Seiten Text

25 Tabellen

54 Abbildungen

Hans Erhorn

Antje Bergmann

Michael Beckert

Johann Reiß

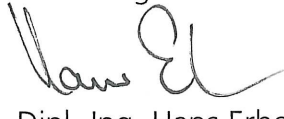
Stuttgart, 18. Juni 2015

Institutsleiter



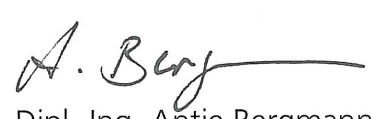
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Klaus Peter Sedlbauer

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	9
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	11
3.6	Bewertung der Effizienz	12
4	Messkonzept	13
5	Meteorologische Randbedingungen	15
5.1	Solarstrahlung	15
5.2	Außenlufttemperaturen	17
5.3	Klimabereinigung	18
6	Messergebnisse	19
6.1	Stromertrag	19
6.2	Stromverbrauch	23
6.2.1	Heizung und Trinkwarmwasser	25
6.2.2	Hilfsenergie (hier Hausautomation)	26
6.2.3	Beleuchtung	27
6.2.4	Haushaltsgeräte und -prozesse und Sonstiges	28
6.2.5	Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil	29
6.2.6	Stromverbrauch für Elektromobilität	29
6.2.7	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung	29
6.3	Eigenstromnutzung und Autarkiegrad	32
6.4	Anlagenperformance	35
6.5	Innenraumtemperaturen Sommer	36
6.6	Innenraumtemperaturen Winter	41
6.7	Behaglichkeit	42
7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	47

8	Bewertung	47
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	47
8.2	Verbesserungspotentiale	48
9	Literatur	49

1 Kurzfassung

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

Die Messungen zeigen, dass die Erträge aus den dach- und fassadenintegrierten Photovoltaikanlagen höher ausfielen als die Gebäudetechnik und die Nutzer im Laufe der Messperiode für den Gebäudebetrieb benötigten. Die überschüssige Energie wurde in eine Batterie oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Die Solarstromerträge fielen im 1. Messjahr von März 2012 bis Februar 2013 um 6 % und im 2. Messjahr um 9 % höher aus als auf der Grundlage der DIN V 18599 durch das Normklima vorherberechnet. Geringe PV-Erträge im Juni 2012 und Mai 2013, die meteorologisch bedingt aus der geringen mittleren horizontalen Solarstrahlung resultierten, wurden im Laufe des Jahres mehr als ausgeglichen.

Die Energieverbräuche im Gebäude lagen im 1. Messzeitraum etwa 56 % höher als vorherberechnet und konnten im 2. Messjahr optimiert werden. Sie lagen dennoch 34 % über dem prognostizierten Verbrauch. Im Wesentlichen ist ein erhöhter Stromverbrauch für die Wärmepumpe und die Hausautomation sowie für die Beleuchtung und den Haushaltsbereich zu verzeichnen.

Die Ergebnisse des ersten Betriebsjahres zeigen, dass bei hocheffizienten Häusern eine Monitoring- und Einregulierungsphase zwingend eingeplant werden muss, um die planerisch ermittelten Kennwerte auch im praktischen Betrieb realisieren zu können.

2 Kontext und Zielsetzung

Bien-Zenker 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.

Bien-Zenker hat in der FertighausWelt in Köln-Frechen ein Gebäude erstellt, das mehr Energie produzieren soll, als es selbst für seinen Betrieb benötigt. Die verschiedenen hauseigenen Anlagen zur Gewinnung erneuerbaren Stroms sollen nicht nur den Stromverbrauch im häuslichen Bereich decken, sondern auch zur Speisung eines Elektromobils herangezogen werden. 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 geometrischen Kenndaten des Gebäudes sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1:
allgemeine Daten.

Baujahr	2011
Bruttogrundfläche	258,9 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	194,2 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	776 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,72 m ⁻¹
Gebäudenutzfläche A _N (nach EnEV)	248,0 m ²

3.2 Architektur

Das elegante Architektenhaus verbindet, wie Bild 1 verdeutlicht, Attribute wie Design, Komfort, Innovation und Nachhaltigkeit auf eine neue Weise miteinander und kreiert so ein vollkommen neues Wohnerlebnis. Die moderne und klare Architektur repräsentiert mit dem hohen Drempe, dem flach geneigten Dach und dem konsequenten Verzicht auf Dachüberstände eine zeitgemäße und zukunftsweisende Interpretation des Satteldachhauses. Der markante Baukörper wirkt durch die verdeckte Dachrinne, die schlanken zurückgesetzten Fensterbänder und die stilsicher angeordneten Architektur-Accessoires wie aus einem Guss.



Bild 1:
Ansicht von Süd-West.

Neben den vielen architektonischen Highlights zählen die hocheffiziente Photovoltaikanlage auf dem Satteldach und auf der Terrassen-Pergola sowie auf dem angrenzenden Pavillon, eine Ladestation für Elektrofahrzeuge und ein intelligentes Gebäudemanagementsystem zu den vielen weiteren Besonderheiten dieses Effizienzhauses Plus.

Im Erdgeschoss erschließt sich, wie Bild 2 zeigt, über die große Diele der offen gestaltete Wohnbereich, an den getrennt durch eine Wandscheibe mit Bio-Ethanol-Kamin der Essbereich anschließt. Hier genießt man dank an den Glasstößen verklebter Eckfenster einen fantastischen Ausblick nach draußen oder gelangt in die Küche mit zentralem Küchenblock und Design-Eckfenster.

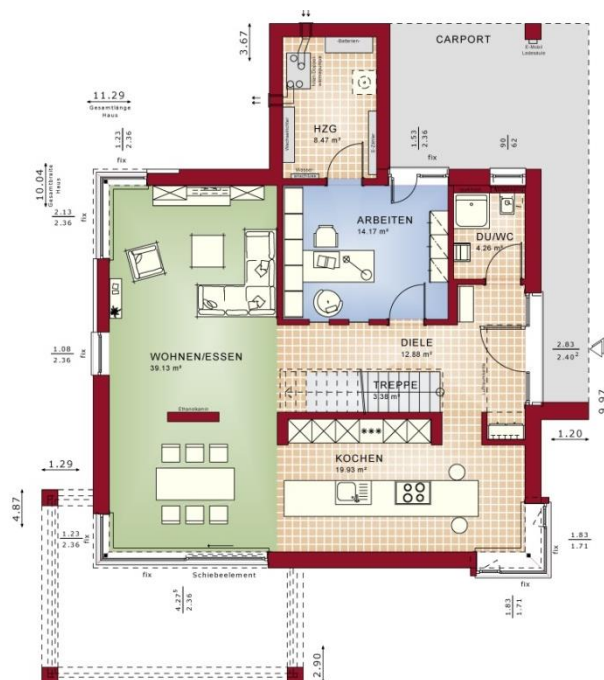


Bild 2:
Erdgeschossgrundriss.

Die Galerie im Obergeschoss wird über eine Holz-Faltwerktreppe mit Glasharfen geländer erreicht. An die Galerie schließt das großzügige Elternschlafzimmer mit Ankleide und Wellness-Bad an. Abgerundet wird das Obergeschoss gemäß Bild 3 durch die beiden Kinderzimmer, die mit einem gemeinsamen Bad über einen eigenen Nass-Bereich verfügen.

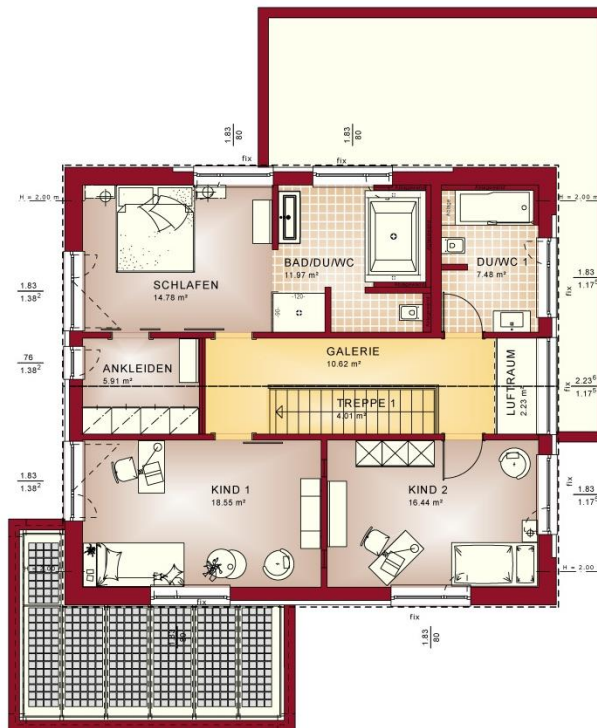


Bild 3:
Obergeschossgrundriss.

3.3 Wärmeschutz

Das Haus verfügt über eine hochwertig gedämmte Gebäudehülle, die dem Dämmstandard eines KfW-Effizienzhauses 40 entspricht. Durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind, werden die Transmissionswärmeverluste deutlich reduziert. Eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion ist obligatorisch und unterstreicht die hohen energetischen Eigenschaften des Hauses. Die Außenwand ist aus einer 20 cm starken Holzrahmenfachwerkkonstruktion mit einer innen vorgesetzten Installationsebene erstellt und auf der Außenseite mit einem 10 cm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen. Die verbauten Holz-Alu-Fenster sind mit einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U_w -Wert von $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgestattet. Das um 25° geneigte Satteldach verfügt in Summe über eine 36 cm dicke Mineralwollgedämmschicht. Die U-Werte der einzelnen Bauteilkonstruktionen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Die Photovoltaikmodule sind in das Dach als Ersatz für eine herkömmliche Dachhaut integriert. Die ebenfalls sehr gut gedämmte Stahlbetondecke

verhindert Wärmeverluste nach unten ins Erdreich. Zur Realisierung eines guten sommerlichen Wärmeschutzes sind über die Gebäudeautomation steuerbare Außenjalousien in die Wandkonstruktion eingebaut, welche somit intelligent in die Energieperformance eingebunden werden können und Ihren Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz leisten. Als zusätzlicher Energie- wie auch Schattenspendler ist die Pergola auf der Südseite mit semitransparenten Photovoltaikmodulen architektonisch anspruchsvoll in das Konzept integriert.

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)	Gipskartonfeuerschutzplatte	18	0,12
	Mineralwolle in Installationsebene	50	
	Gipskartonfeuerschutzplatte	18	
	Dampfbremse	-	
	Dämmung WLG 040 zwischen Fachwerk	200	
	Gipswerkstoffplatte	12,5	
	Dämmung WLG 040	100	
	Putz	5	
Fenster	Holz-Alu-Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 53 %)	-	0,69
Dach (von oben nach unten)	Dachdeckung	-	0,13
	Lattung	30	
	Konterlattung	40	
	Diffusionsoffene Unterspannbahn	-	
	Zwischensparrendämmung WLG 035	200	
	Dämmung zwischen Sparrenaufdopplung	160	
	Dampfbremse	-	
	Lattung	50	
	Gipskarton-Beplankung	12,5	
Bodenplatte (von oben nach unten)	Zementestrich	45	0,18
	Dämmung EPS WLG 040	85	
	Abdichtung DIN 18159	2	
	Beton	200	
	Perimeterdämmung	120	

3.4 Anlagentechnik

Der Haushaltsstrom und die Heizenergie werden durch die eingebauten Anlagenkomponenten mit hocheffizienten Photovoltaikanlagen und angeschlossenen Wärmepumpen selbst erzeugt und ermöglichen eine Maximierung des Eigenstromverbrauchs und eine zusätzliche Bereitstellung der Energieüberschüsse für z. B. Elektromobilitätsanwendungen. Damit macht sich der Endverbraucher unabhängiger von zukünftig weiter steigenden Strom- und Heizkosten. All das wird durch die Kombination einer energiesparenden Effizienzhaus-Bauweise in Verbindung mit dem Einsatz hocheffizienter und optisch ansprechender Photovoltaikanlagen (architektonisch attraktiv in Dach und Fassade integriert) sowie dem Einsatz neuester Wärmepumpentechnologie erreicht. Ausgestattet mit einer Speicher-Batterie zur Speicherung des selbst produzierten Stromes für die spätere Eigennutzung und einem innovativen Energiemanagementsystem ist das Haus zu großen Teilen unabhängig vom öffentlichen Stromnetz.

Beheizt wird das Haus über eine Kombination aus einer Fußboden- und einer Lüftungsheizung. Die sogenannte Doppelwärmepumpe (Luft/Luft und Sole/Wasser) sorgt in einem Kompaktgerät, inkl. Wärmerückgewinnung über einen Kreuzstromwärmetauscher, für die Versorgung des Hauses mit Wärme und Frischluft. Ein energetisch und hygienisch optimaler Luftwechsel wird durch das Kompaktgerät gewährleistet. Zusätzlich bleibt der Außenlärm draußen. Die kontrollierte Wohnungslüftung spart Energie und garantiert saubere Raumluft. Die Wärmerückgewinnung erfolgt mittels einer Luft/Luft-Wärmepumpe über einen hocheffizienten Kreuzstromwärmetauscher. Ein Teil der zurückgewonnenen Wärme wird für die Zulufterwärmung verwendet. Ein weiterer Teil der zurückgewonnenen Wärme wird zur Warmwasserbereitung in einem im Kompaktgerät integrierten Warmwasserspeicher genutzt. In das Gehäuse des Kompaktgerätes ist ebenfalls bereits eine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 3,5 kW Heizleistung integriert. Mit ihr wird eine komfortable Fußbodenheizung mit Wärme versorgt. Neben dem Erdkollektor für die Sole/Wasser-Wärmepumpe sind im wesentlichen Photovoltaikmodule als energieerzeugende Komponenten im Haus und auf dem Grundstück verbaut. Im Haus sind über die dachintegrierten Hochleistungs-PV-Module sowie über semitransparente Module auf dem Pergolen-Vordach insgesamt 10,6 kW_p Leistung installiert. Eine weitere elektrische Leistung von 5,65 kW_p liefert die PV-Anlage des auf dem Grundstück befindlichen Pavillons. Durch die in das Haus integrierte Lithium-Ionen-Speicherbatterie kann ein hoher Eigenanteil an Solarstrom im Haus selbst verbraucht werden. Die Batterie hat eine Speicherleistung von 8,4 kWh. Das Anlagenschema zeigt Bild 4.

Die gesamte Photovoltaikfläche setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

- Dach Haupthaus: dachintegrierte Hochleistungs-PV-Module 52,50 m², installierte Leistung 9,45 kW_p

- Pergola: semitransparente PV-Module 12,30 m², installierte Leistung 1,15 kW_p
- Dach Pavillon: Hochleistungs-PV-Module flach aufgeständert 22,83 m², installierte Leistung 4,45 kW_p
- Fassade Pavillon: Dünnschicht-Fassadenmodule 10,08 m², installierte Leistung 1,10 kW_p

Das Gebäudeautomationssystem „Haus-Manager by ViciOne“ steuert alle Informationen aus den Räumen (Temperatur, Luftqualität, Luftfeuchte und Helligkeit), der Gebäudehülle (geöffnete Fenster, Außentemperaturen, Wind, Sonneneinstrahlung, etc.) und der Anlagentechnik (Temperaturen, Luftwechsel, etc.). Somit ist das System in der Lage, die verschiedensten Abläufe im Haus zentral zu steuern und untereinander zu koordinieren. Die Bedienung für den Nutzer erfolgt über eine intuitiv bedienbare Oberfläche, steuerbar über Touchscreens, Smartphone oder Tablet-PC.

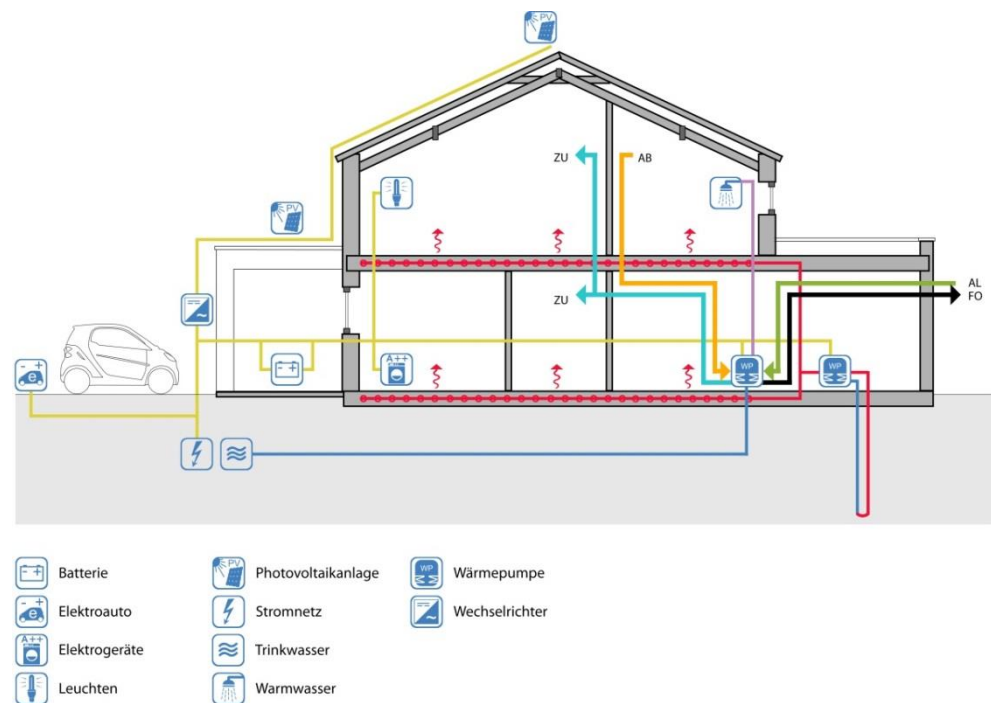


Bild 4:
Haustechnikkonzept.

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 8.363 kWh/a auf. Davon entfallen auf den Betrieb der Wärmepumpe einschließlich Lüftungsanlage zur Beheizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Lüftung 5.863 kWh/a. Neben dem Endenergiebedarf für die haustechnischen Anlagen besteht ein Endenergiebedarf für die Haushaltsgeräte und -prozesse sowie für Beleuchtung von 2.500 kWh/a, mit den Anteilen

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

Tabelle 3:
Vorherberechnung des Energiebedarfs des Effizienzhauses Plus Concept-M Bien-Zenker.

Bien-Zenker Concept-M	Heizung einschl. Lüftung	Warm- wasser	Küh- lung	Licht	Haushalt und Ko- chen	Sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	4.925	2.385	5.785	-	-	-
Wärme- / Kälteabgabe der Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	15.552			-	-	-
Strombedarf [kWh/a]	5.863			375	1.625	500
	Gesamt 8.363 kWh/a					

Die Photovoltaikanlagen sollen gemäß Vorherberechnung, wie in Tabelle 4 dargestellt, jährlich 13.040 kWh Strom erzeugen. Die Überschüsse zwischen Energiebedarf und erzeugtem Strom in Höhe von 4.677 kWh/a stehen für den Betrieb eines Elektromobils zur Verfügung und werden darüber hinaus in das öffentliche Netz eingespeist.

Tabelle 4:
Vorherberechnung der Energieerzeugung des Effizienzhauses Plus Concept-M Bien-Zenker.

Deckung (geplant)	
Komponente	[kWh/a]
PV-Dach	8.200
PV-Pergola	700
PV-Pavillon	4.140
Gesamt	13.040

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 5 zusammengestellt, dabei ist die spezifische Energie auf die Gebäudenutzfläche A_N von 248 m² bezogen.

In den Räumen tritt ein Nutzwärmebedarf von 13.095 kWh/a für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung auf. Die Verteilung verursacht Verluste in Höhe von 2.457 kWh/a. Um diese Wärme bereitzustellen, benötigen die Erzeuger (Wärmepumpen) 5.863 kWh/a Strom. Die Hilfsenergie für den Betrieb der Anlagentechnik beträgt ergänzend 3.016 kWh/a. Der Primärenergieaufwand für die gesamte Haustechnik beträgt somit 15.244 kWh/a. Daraus lassen sich die in Tabelle 6 aufgeführten Aufwands- / Arbeitszahlen ableiten.

Tabelle 5:
Vorherberechnung der Energie des Effizienzhauses Plus Concept-M Bien-Zenker.

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m ² a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	13.095	52,8
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	15.552	62,7
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	2.845	11,5
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	5.863	23,6
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	15.244	61,5

Tabelle 6:
Aufwands- / Arbeitszahlen der Vorherberechnung des Effizienzhauses Plus Concept-M Bien-Zenker.

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

4 Messkonzept

Das Messkonzept zur messtechnischen Validierung des Gebäudes wurde in Zusammenarbeit mit Bien-Zenker vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Anlehnung an die Vorgaben, die im BMUB-Förderprogramm festgelegt sind, entwi-

ckelt 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, 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 in einer hohen Detaillierung durch die Messkonfiguration Elektroversorgung erfasst. Hier werden auch die Wetterdaten Temperatur, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung horizontal und vertikal aufgenommen.

Während der ersten Monitoringphase wurde die Messkonfiguration um einen weiteren Zähler (3Q1/1) ergänzt, der den in das öffentliche Stromnetz eingespeisten Strom ab November 2012 separat erfasst.

ELEKTROVERSORGUNG

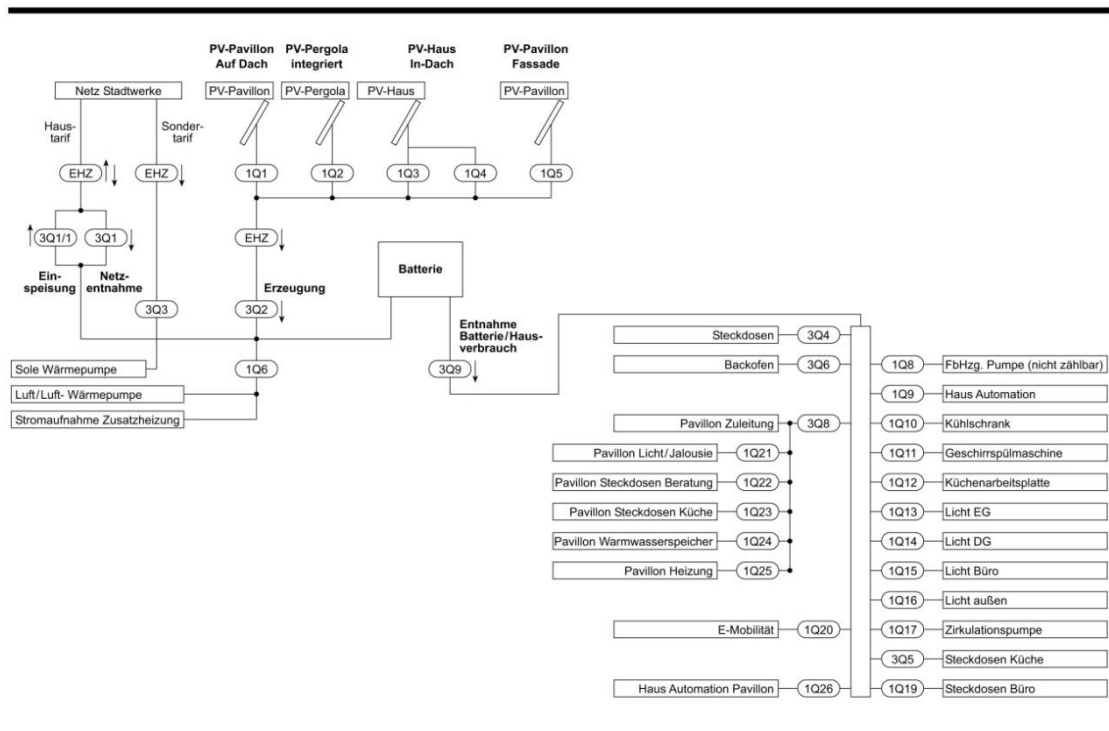


Bild 5:
Messkonfiguration Elektroversorgung.

Die Messkonfiguration der Wärmeversorgung erfasst gemäß Bild 6 die Wärmemengen, die die Wärmepumpe für den Betrieb der Heizung und des Trinkwarmwassers bereitstellt. Ferner werden die Volumenströme und Temperaturen der Zu-, Ab-, Fort- und Außenluft der Luft/Luft-Wärmepumpe gemessen. Mit der installierten Messtechnik lassen sich die Effizienzen der eingesetzten Anla-

gensysteme im praktischen Betrieb ermitteln. In allen Räumen des Gebäudes werden die Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte der Luft gemessen.

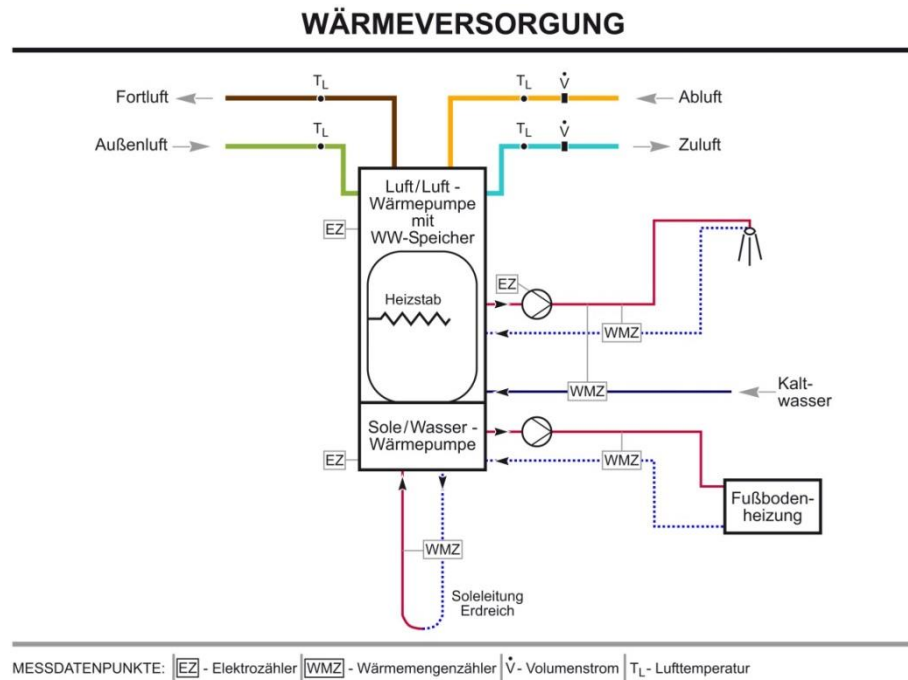


Bild 6:
Messkonfiguration Wärmeversorgung.

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 März 2012 bis Februar 2014 wurden auch meteorologische Daten am Gebäude selbst 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-Frechen und des DWD in Euskirchen sowie die Werte des Referenzklimas nach EnEV 2009 sind für die beiden Messjahre in Bild 7 und Bild 8 dargestellt. In ihrem Verlauf folgen die Messwerte des Musterhauses den Werten der Wetter-

station des DWD in Euskirchen. Sie sind jedoch im April 2012 geringer und von Mai bis August 2012 höher als die Strahlungsintensitäten der an der Wetterstation des DWD aufgezeichneten Größen. Auch von April 2013 bis August 2013 sind die gemessenen Werte der Strahlungsintensität der Wetterstation des Musterhauses höher als der Wetterstation des DWD in Euskirchen. Gegenüber dem Referenzklima zeigen sich Abweichungen der Messwerte der Strahlungsintensität der Wetterstation des Musterhauses im April 2012 und von Juni 2012 bis Juli 2012, hier sind die gemessenen Strahlungsdaten geringer als die des Referenzklimas. Im Frühjahr 2013 tritt nur eine geringe Abweichung der Messung gegenüber dem Referenzklima auf. In der weiteren Betrachtung werden für die mittlere Strahlungsintensität die Daten der Wetterstation des Musterhauses herangezogen.

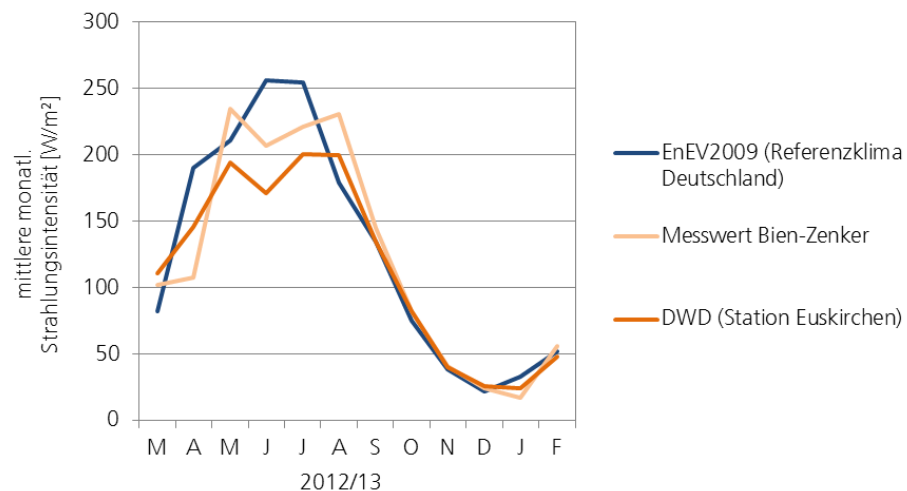


Bild 7: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

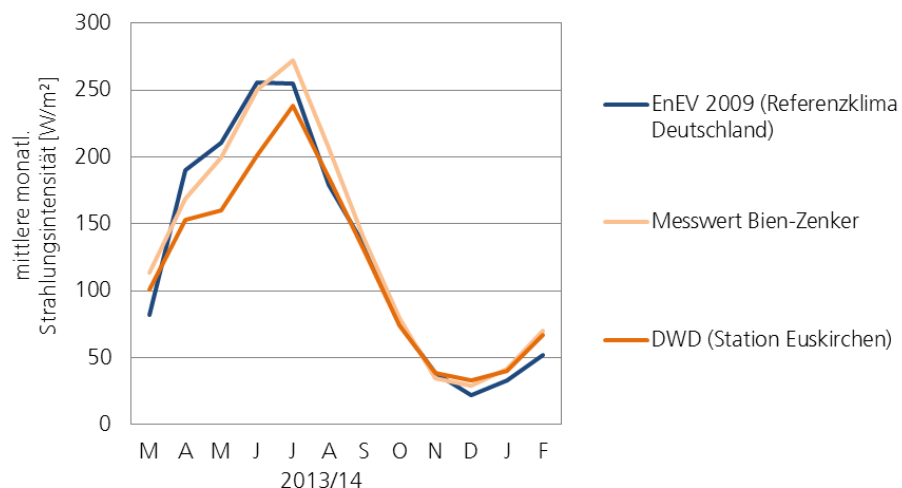


Bild 8: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

5.2 Außenlufttemperaturen

Die am Gebäude gemessenen Außenlufttemperaturen wurden, wie Bild 9 zeigt, an der Wetterstation erfasst, die auf dem Dach des Pavillons angeordnet ist.



Bild 9:
Anordnung der Wetterstation.

Die daraus ermittelten mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen sowie die der Wetterstation Euskirchen und die Werte des Referenzklimas sind für die 2 Messjahre in Bild 10 und Bild 11 gezeigt. Sie weichen teilweise signifikant (ca. 3 bis 9 K) gegenüber dem Referenzklima nach oben ab, es ist zu diesem Zeitpunkt an der Wetterstation des Musterhauses wärmer als das Referenzklima der EnEV. Aufgrund der Lage des Messfühlers, in unmittelbarer Nähe eines PV-Elements, kann der Messwert unter Umständen beeinflusst sein. Es wird daher im Folgenden bei der Betrachtung der Außenlufttemperatur auf die Daten des Deutschen Wetterdienstes für die Station Euskirchen zurückgegriffen, die geringe Abweichungen zum mittleren Klima in Deutschland liefern.

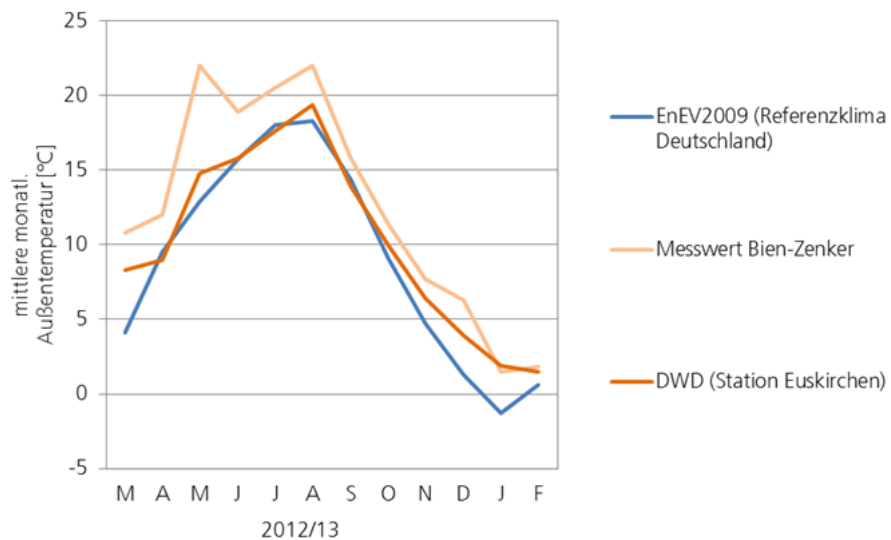


Bild 10:
gemessene und vorherberechnete mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

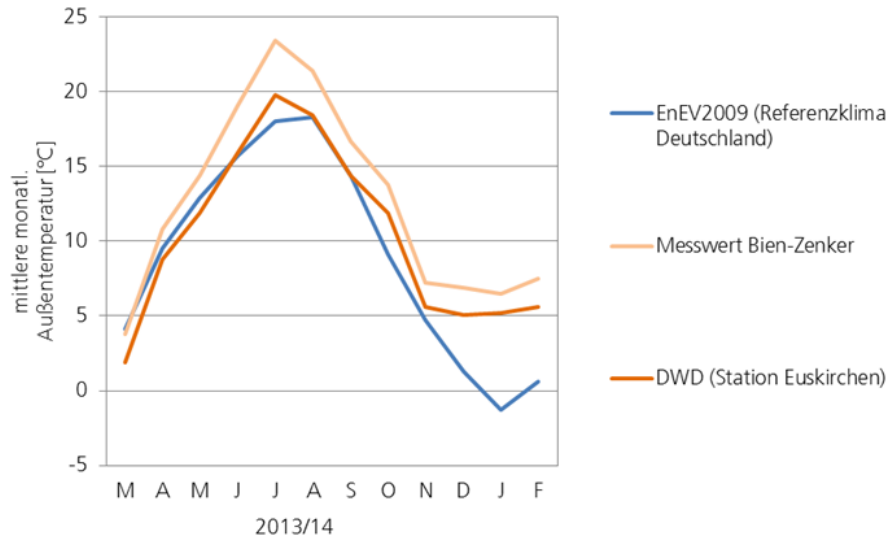


Bild 11: gemessene und vorherberechnete mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

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 7 dargestellt.

Tabelle 7: Gradtagzahlen für den Standort Köln-Frechen und Referenzklima Deutschland.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G 20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen in der Messperiode von März 2012 bis Februar 2013	2.955
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen in der Messperiode von März 2013 bis Februar 2014	2.780
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	2.901
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

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

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

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

6 Messergebnisse

6.1 Stromertrag

Den Gesamtertrag der Photovoltaikanlagen sowie die mittlere Strahlungsintensität für die vor Ort gemessenen Werte und die Vorgaben nach EnEV 2009 für das 1. Messjahr zeigt Bild 12. Gemäß den Berechnungen nach EnEV 2009 liefert die Photovoltaikanlage einen Ertrag von 13.040 kWh pro Jahr. Die mittlere gemessene Strahlungsintensität ist in den Monaten April, Juni und Juli geringer als die des vorgegebenen Referenzklimas nach EnEV 2009 (Referenzklima Deutschland). Für die Monate Mai (235 W/m²) und August (231 W/m²) wurde eine höhere mittlere Strahlungsintensität aufgezeichnet als die EnEV (Mai 211 W/m², August 179 W/m²) vorgibt. Aus den Tendenzen der Strahlungsintensitäten zeigen sich unterschiedliche PV-Erträge. Obwohl im April und Juli die gemessene Strahlungsintensität geringer ausfällt als in der EnEV 2009 vorgegeben, ist der tatsächliche Ertrag der PV-Anlagen höher als vorherberechnet. In den übrigen Monaten stimmen die Tendenzen der Strahlungsintensität mit denen des PV-Ertrages überein.

Insgesamt lieferte die PV-Anlage im 1. Messzeitraum von März 2012 bis Februar 2013 einen um ca. 828 kWh höheren Ertrag als vorherberechnet. Der PV-Ertrag betrug 13.868 kWh, das sind 6 % mehr als prognostiziert. Ein Minderertrag im Juni gegenüber der Berechnung nach EnEV 2009 konnte durch zusätzliche Erträge in den übrigen Monaten mehr als ausgeglichen werden.

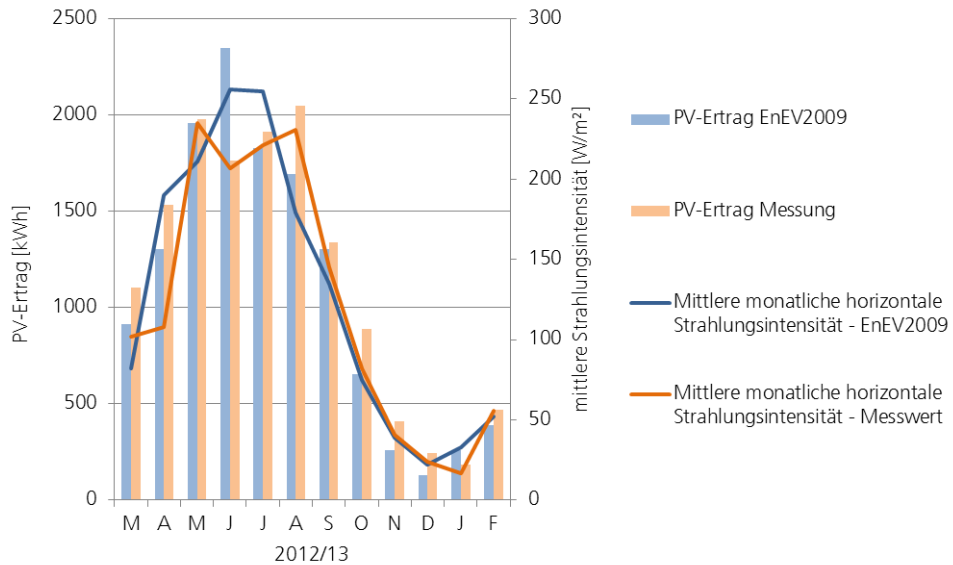


Bild 12: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Eine Verteilung des produzierten PV-Stroms auf die verschiedenen Systemkomponenten auf den Dächern und der Fassade zeigt Bild 13. Der PV-Ertrag betrug auf dem Dach des Haupthauses 9.206 kWh, auf der Pergola 952 kWh, an der Pavillonfassade 127 kWh und auf dem Pavillondach 3.755 kWh. Das ergibt in der Gesamtsumme einen Ertrag von 14.040 kWh, der sich um 170 kWh vom Gesamtzähler, der 13.868 kWh registrierte, unterscheidet. Diese Differenz ist auf Verluste und Messtoleranzen zurückzuführen.

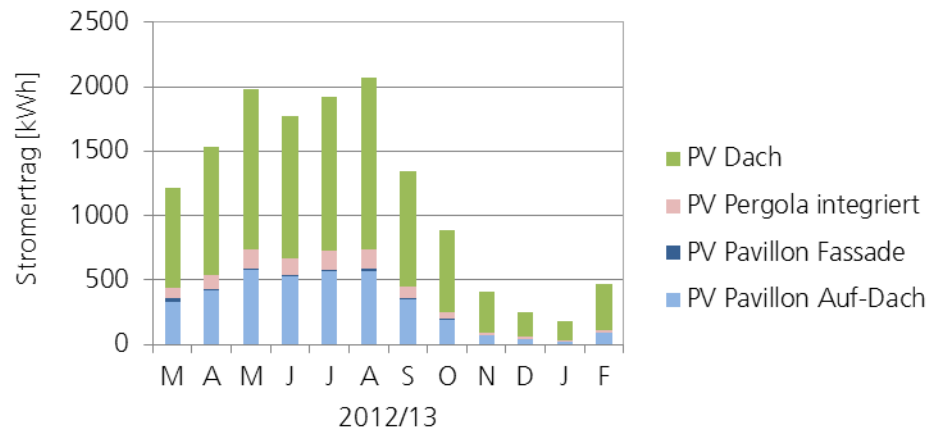


Bild 13: PV-Ertrag der PV-Module auf dem Hauptdach, der Pergola und dem Pavillon im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Den spezifischen, auf die jeweilige Photovoltaikfläche bezogenen Stromertrag der einzelnen Elemente zeigt Bild 14. Es zeigt sich, dass die Hochleistungs-PV-Module auf dem Dach des Haupthauses und des Pavillons am effektivsten wa-

ren. Werden diese beiden Module untereinander verglichen, so sind die Module auf dem Dach des Pavillons in den Monaten Mai bis Juli im Mittel um ca. 8 % effektiver als die auf dem Haupthaus. Während der Monate November bis Februar liefern sie infolge der flachen Lage um im Mittel 48 % geringere Erträge als die Module auf dem Haupthaus.

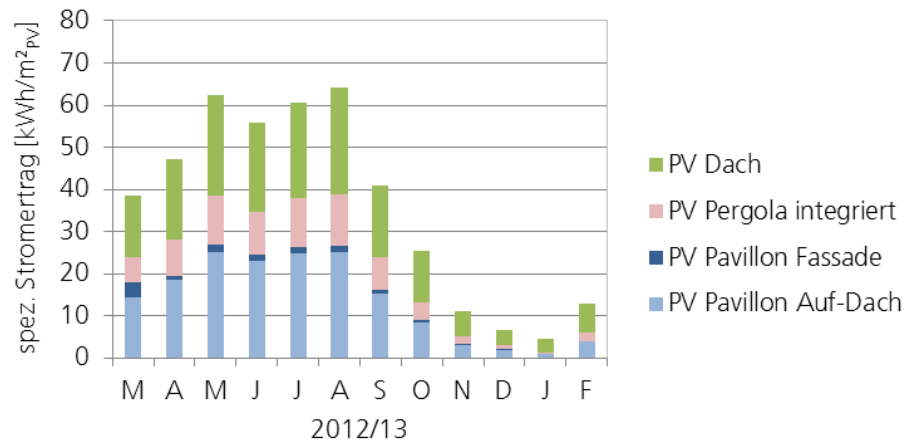


Bild 14: spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag der PV-Module auf dem Hauptdach, der Pergola und dem Pavillon im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Für das 2. Messjahr sind die vor Ort gemessenen Werte und die Vorgaben nach EnEV 2009 in Bild 15 gezeigt. Gemäß den Berechnungen nach EnEV 2009 liefert die Photovoltaikanlage einen Ertrag von 13.040 kWh pro Jahr. Die mittlere gemessene Strahlungsintensität ist in den Monaten April bis Juni geringer als die des vorgegebenen Referenzklimas nach EnEV 2009 (Referenzklima Deutschland). Für die Monate März (114 W/m²), Juli (272 W/m²) und August (207 W/m²) wurde eine höhere mittlere Strahlungsintensität aufgezeichnet als die EnEV (März 82 W/m², Juli 255 W/m², August 179 W/m²) vorgibt. Aus den Tendenzen der Strahlungsintensitäten zeigen sich unterschiedliche PV-Erträge. Obwohl im April die gemessene Strahlungsintensität geringer ausfällt als in der EnEV 2009 vorgegeben, ist der tatsächliche Ertrag der PV-Anlagen höher als vorherberechnet. In den übrigen Monaten stimmen die Tendenzen der Strahlungsintensität mit denen des PV-Ertrages überein.

Insgesamt liefert die PV-Anlage im 2. Messzeitraum von März 2013 bis Februar 2014 einen um ca. 1.160 kWh höheren Ertrag als vorherberechnet. Der Gesamtertrag beträgt 14.200 kWh. Dies sind 9 % mehr als prognostiziert. Ein Minderertrag im Mai und Juni gegenüber der Berechnung nach EnEV 2009 konnte durch zusätzliche Erträge in den übrigen Monaten mehr als ausgeglichen werden.

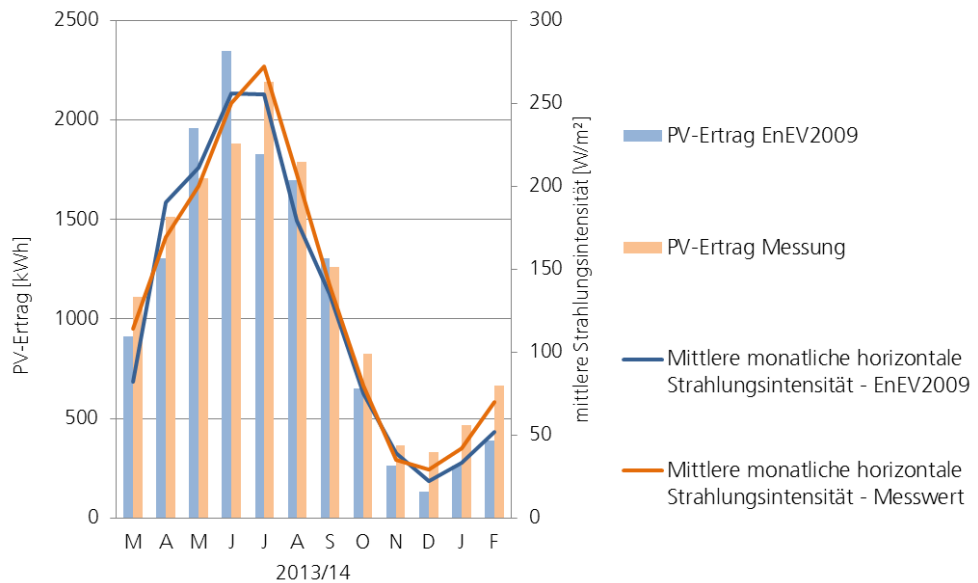


Bild 15: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Eine Verteilung des produzierten PV-Stroms auf die verschiedenen Systemkomponenten zeigt Bild 16. Der PV-Ertrag auf dem Dach des Haupthauses betrug 9.360 kWh, auf der Pergola 970 kWh, an der Pavillonfassade 92 kWh und auf dem Pavillondach 3.671 kWh. Das ergibt in der Gesamtsumme einen Ertrag von 14.093 kWh, der sich um 108 kWh vom Gesamtzähler, der 14.201 kWh registrierte, unterscheidet.

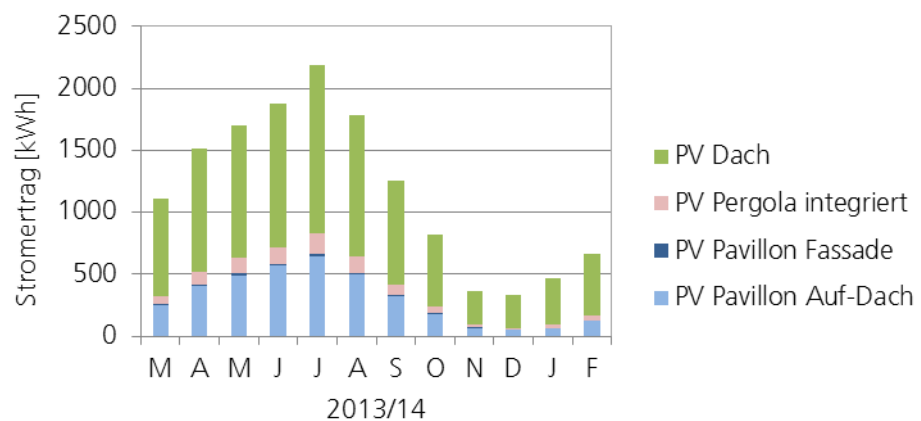


Bild 16: PV-Ertrag der PV-Module auf dem Hauptdach, der Pergola und dem Pavillon im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Den spezifischen, auf die jeweilige Photovoltaikfläche bezogenen Stromertrag der einzelnen Elemente zeigt Bild 17. Es zeigt sich, dass die Hochleistungs-PV-Module auf dem Dach des Haupthauses und des Pavillons am effektivsten waren. Werden diese beiden Module untereinander verglichen, so erzeugen die

Module auf dem Dach des Pavillons in den Monaten Mai bis Juli im Mittel ca. 9 % mehr Strom als die auf dem Haupthaus. Während der Monate November bis Februar liefern sie infolge der flachen Lage um im Mittel 50 % geringere Erträge als die Module auf dem Haupthaus.

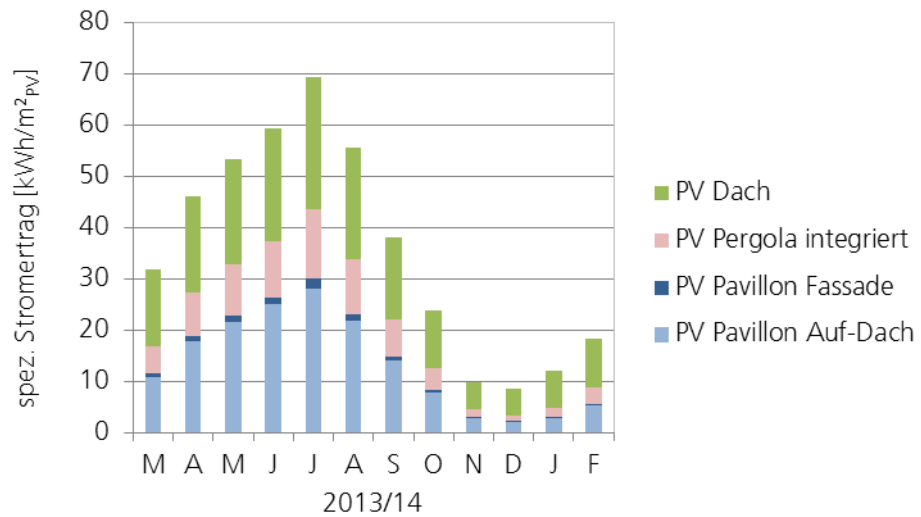


Bild 17: spezifischer, flächenbezogener PV-Ertrag der PV-Module auf dem Hauptdach, der Pergola und dem Pavillon im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch im Effizienzhaus Plus Concept-M von Bien-Zenker setzt sich aus 3 Anteilen zusammen, die bei der Bilanzierung zu beachten sind:

- Hausverbrauch (Heizung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung, Hilfsenergie, Elektrogeräte)
- Projektspezifischer Anteil (Verkaufsbüro Pavillon, Außenbeleuchtung)
- Elektromobilität

Die monatlichen Summen sind für das 1. und 2. Messjahr in Bild 18 dargestellt. Die numerischen Werte der monatlichen Endenergieverbräuche sind im Anhang A in den Tabellen 12 bis 17 zusammengefasst.

MONATLICHER ENDENERGIEVERBRAUCH

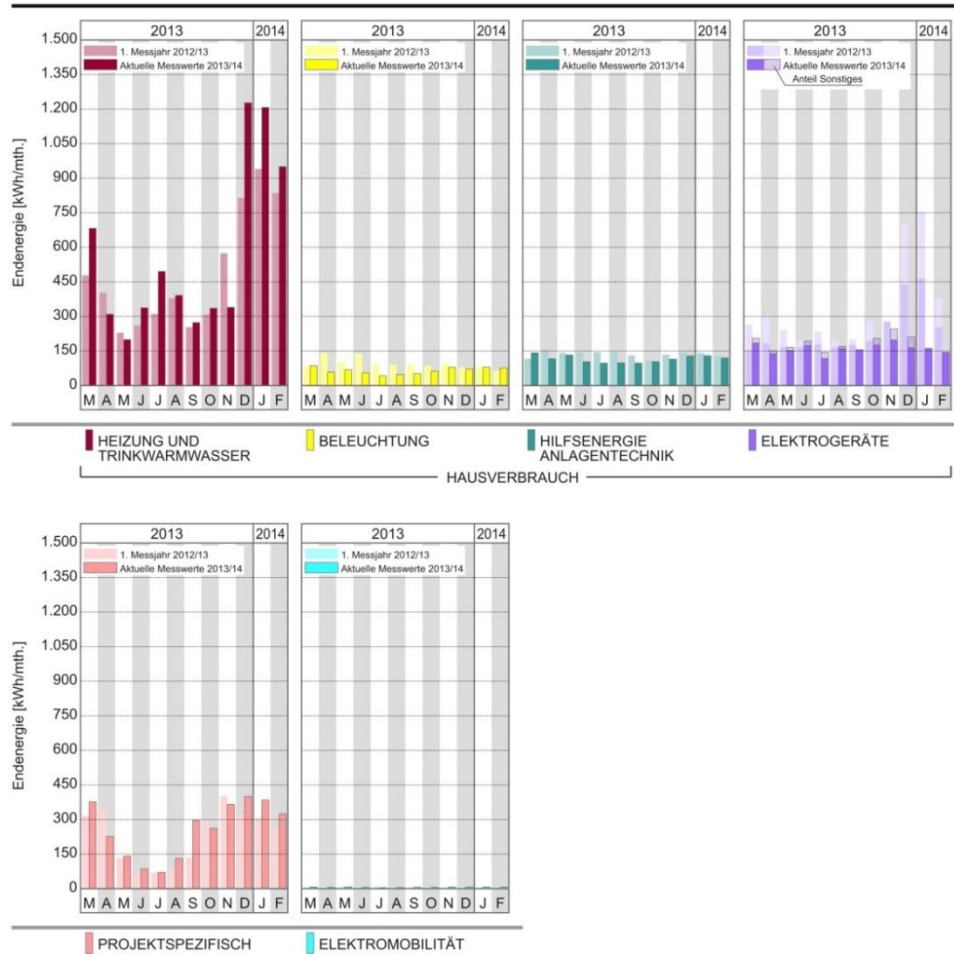


Bild 18:
gemessene monatliche Stromverbräuche im Effizienzhaus Plus Concept-M im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013 und März 2013 bis Februar 2014.

Für den Betrieb des Hauses wurden in den beiden Messperioden die Energieverbräuche gemäß Tabelle 8 registriert:

Tabelle 8:
Endenergieverbrauch des Effizienzhauses Plus Concept-M Bien-Zenker im Messzeitraum September 2012 bis August 2014.

Endenergieverbrauch					
Messjahr	Heizen, Kühlen + Lüftung über WP, TWW	Beleuchtung	Hilfsenergie	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges	Summe
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
2012/13	5.794	1.148	1.653	4.038	12.633
2013/14	6.858	787	1.403	2.156	11.204

6.2.1 Heizung und Trinkwarmwasser

Im 1. Messjahr wurden für die Heizwärmebereitstellung über die Fußbodenheizung (Sole/Wasser-WP) 2.134 kWh/a und über die Luft/Luft-Wärmepumpe 3.660 kWh/a benötigt. Die monatlichen Verläufe sind in Bild 19 dargestellt.

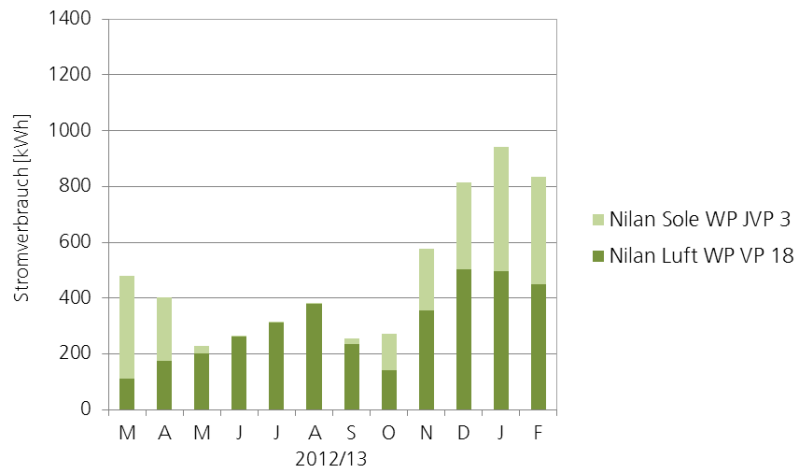


Bild 19: Stromverbrauch Sole/Wasser-Wärmepumpe, Luft/Luft-Wärmepumpe und Zirkulationspumpe im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im 2. Messjahr wurde die Heizwärmebereitstellung vorrangig über die Fußbodenheizung (Sole/Wasser-WP) sichergestellt, daher ergibt sich in den Monaten Dezember 2013 und Januar 2014 ein hoher Energieverbrauch für die Sole/Wasser-Wärmepumpe. Insgesamt hat sie im 2. Messjahr 4.086 kWh/a Strom benötigt. Das ist ein Mehrverbrauch gegenüber dem Vorjahr von 90 %. Die Luft/Luft-Wärmepumpe hat einen gegenüber dem Vorjahr um 25 % reduzierten Stromverbrauch, nämlich 2.772 kWh/a genutzt. Insgesamt war der Endenergieverbrauch für die Wärme- und Kältebereitstellung einschließlich Lüftung trotz des milderen Klimas im 2. Messjahr um ca. 18 % höher als im 1. Messjahr.

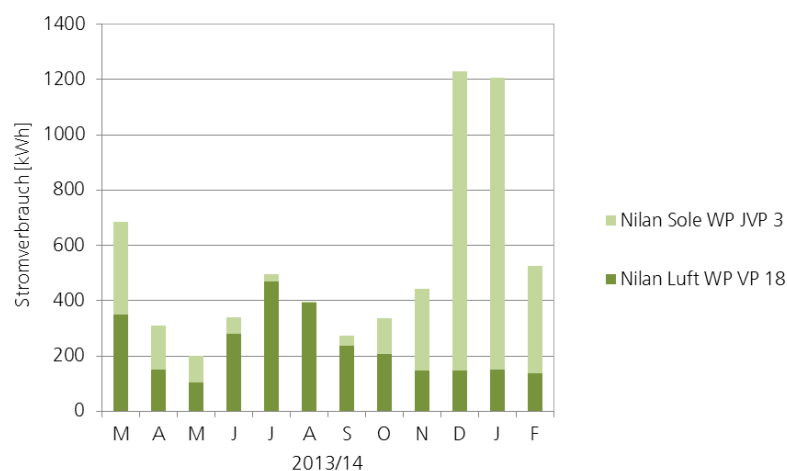


Bild 20: Stromverbrauch Sole/Wasser-Wärmepumpe, Luft/Luft-Wärmepumpe und Zirkulationspumpe im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2.2 Hilfsenergie

Die Hilfsenergie setzt sich aus den Anteilen Zirkulationspumpe (ca. 0,5 %) und Hausautomation (99,5 %) zusammen. Für den Betrieb der Hausautomation wurde im ersten Messjahr ein Stromverbrauch von 1.646 kWh/a registriert und für die Zirkulationspumpe 7,7 kWh/a. Der monatliche Verlauf ist in Bild 21 dargestellt.

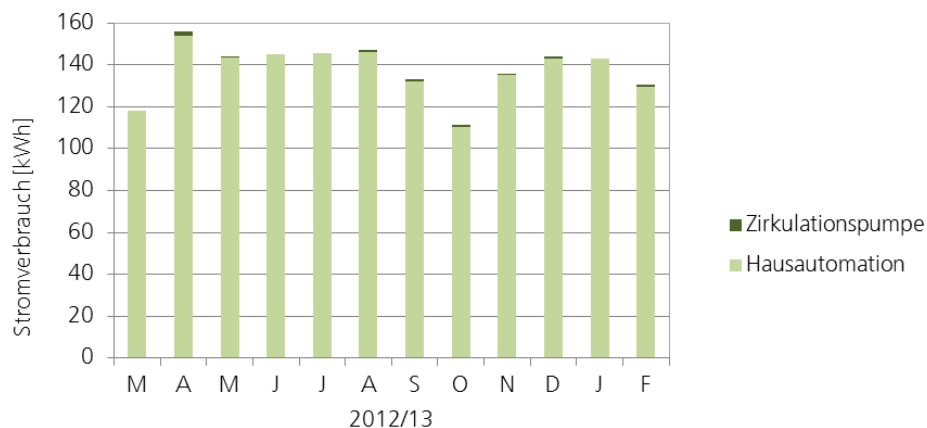


Bild 21:
Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im 2. Messjahr betrug der Endenergieverbrauch für die Hausautomation, wie in Bild 22 gezeigt, 1.403 kWh/a. Das entspricht 12,5 % des Hausverbrauchs. Die Zirkulationspumpe benötigte 9,2 kWh/a.

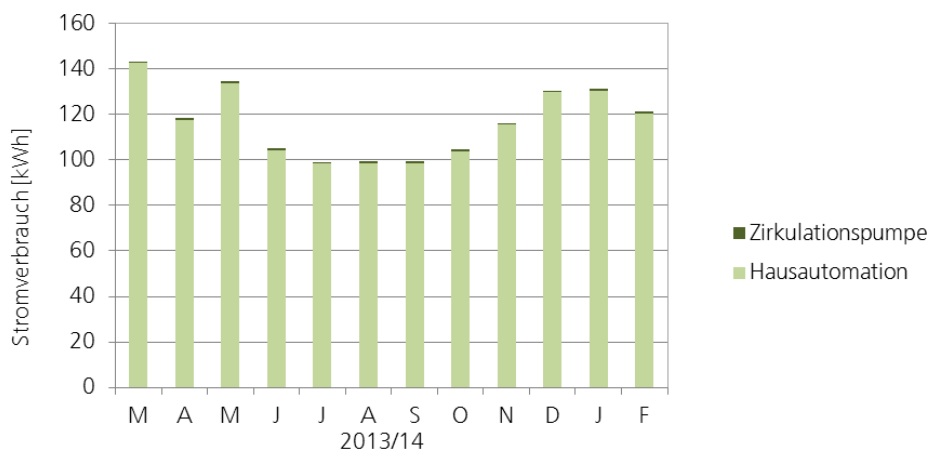


Bild 22:
Stromverbrauch Hilfsenergie im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2.3 Beleuchtung

Bild 23 zeigt die monatlichen Endenergieverbräuche für die Beleuchtung im 1. Messjahr, aufgeteilt in die Bereiche Büro EG (165 kWh/a), übriges EG (508 kWh/a) und OG (475 kWh/a). Damit wird der Jahreswert der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus Standard von 375 kWh/a etwa um das Dreifache überschritten. Dies ist auf die Nutzung des Gebäudes als Musterhaus zurückzuführen, dass aus Werbezwecken und Sicherheitsaspekten auch in der Nacht mit einer Effektbeleuchtung versehen ist. Gemäß Bild 24 wird der Endenergieverbrauch für die Beleuchtung im 2. Messjahr zwar um 30 % auf 787 kWh/a reduziert, jedoch kann die Vorgabe nach Effizienzhaus Plus-Standard bei der Musterhausnutzung nicht eingehalten werden.

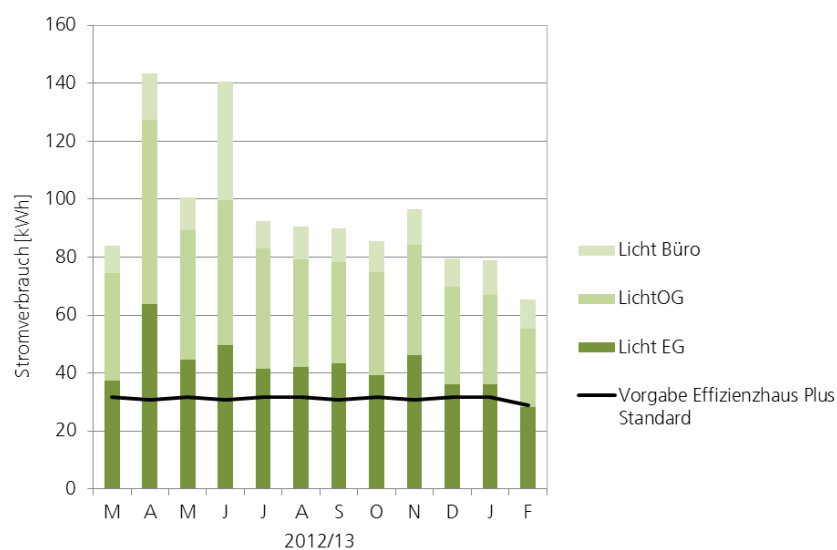


Bild 23: Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

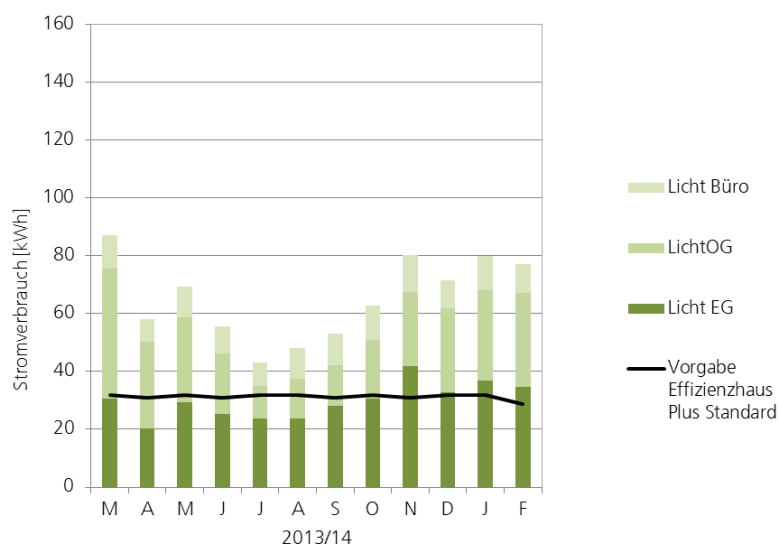


Bild 24: Stromverbrauch Beleuchtung im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2.4 Haushaltsgeräte und -prozesse und Sonstiges

Die Verteilung der einzelnen Energieverbräuche der Haushaltsgeräte sowie die vorherberechneten Werte gemäß der Berechnungsvorschrift nach Effizienzhaus Plus-Standard sind für das 1. Messjahr in Bild 25 gezeigt. Im Messzeitraum wurden 4.038 kWh Strom verbraucht. In der Gruppe Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse beträgt der Anteil Sonstiges, der als Reststrom aus der Bilanz der Einzelzähler vorhanden bleibt, ca. 30 %. Unter Backofen wird eine Gastrokaffemaschine sowie eine Rinnenbegleitheizung registriert. Der Einsatz der Rinnenbegleitheizung ist für die Monate November bis Februar erkennbar. Ihr Stromverbrauch wird nicht gesondert erfasst und sollte eigentlich der Gruppe Hilfsenergie zugeordnet werden. Nichtsdestotrotz ist für die übrige Messperiode, in der die Begleitheizung nicht aktiv war, der Stromverbrauch für den Backofen erhöht und beträgt fast 40 % der Vorgabe des Effizienzhaus Plus-Standards. Der Verbrauch für Sonstiges ist stark schwankend.

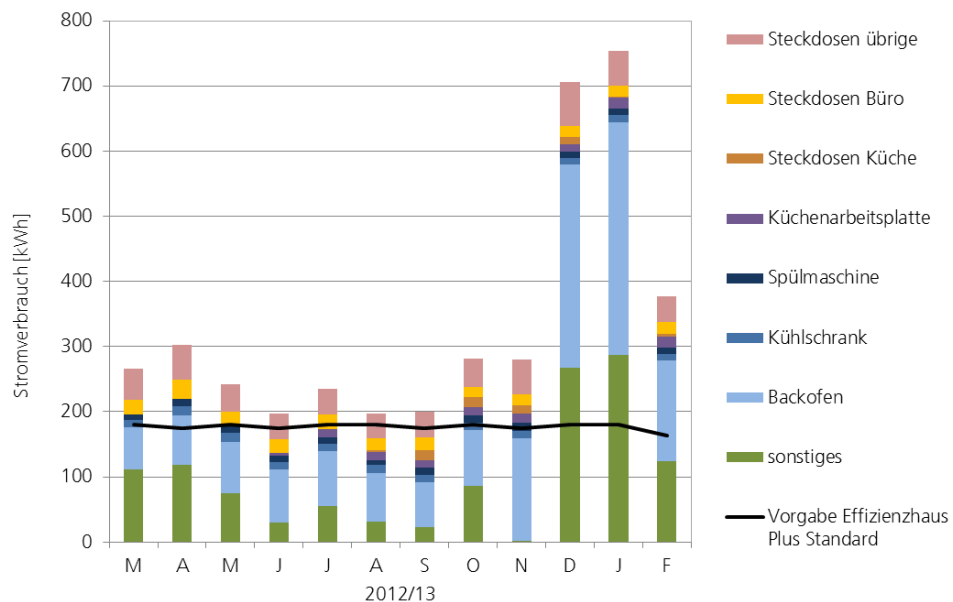


Bild 25: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im 2. Messjahr konnte der Anteil Sonstiges reduziert werden und die Nutzung der Rinnenbegleitheizung wurde eingestellt. Wie Bild 26 zeigt, wird die Vorgabe des Effizienzhaus Plus-Standards im monatlichen Verlauf über das Jahr überwiegend eingehalten. Im Messzeitraum wurden 2.156 kWh Strom verbraucht.

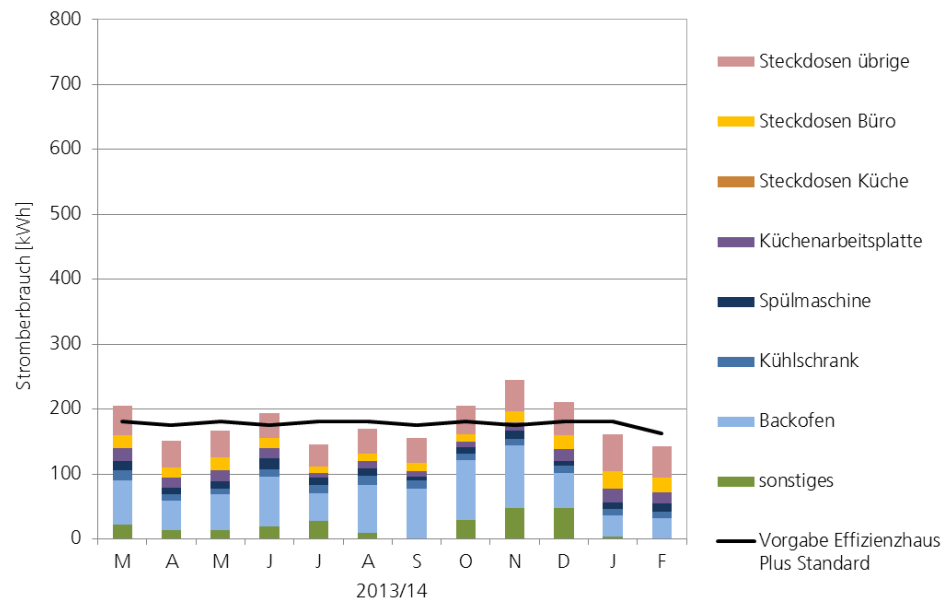


Bild 26:
Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Sonstiges im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.2.5 Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil

Gemäß Bild 18 (unten) wurden im Messzeitraum Elektroverbräuche für

- Verkaufsbüro Pavillon
- Außenbeleuchtung

registriert. Da der Pavillon rein als Verkaufsbüro dient und die Außenbeleuchtung zu Werbe- und Sicherheitszwecken auch in der Nacht dauerhaft in Betrieb ist, werden beide Verbräuche der Informationsaufgabe des Vorhabens zugeschrieben und als projektspezifischer Anteil geführt. Der in dem Monitoringzeitraum benötigte projektspezifische Energieverbrauch beträgt im 1. Messjahr 2.606 kWh/a für den Pavillon und 125 kWh/a für die Außenbeleuchtung und im 2. Messjahr 2.794 kWh/a für den Pavillon und 108 kWh/a für die Außenbeleuchtung.

6.2.6 Stromverbrauch für Elektromobilität

Gemäß Bild 18 (unten) wurden im 1. Messzeitraum Elektroverbräuche für die Elektromobilität in Höhe von 87 kWh/a und im 2. Messjahr von 75 kWh/a verzeichnet. Da keine Elektrofahrzeuge im Monitoringzeitraum aufgeladen wurden, stellt dieser Wert den Standby-Betrieb der Zapfsäule dar.

6.2.7 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromertrag

Von der Photovoltaikanlage wurden im 1. Messzeitraum, wie Bild 27 zeigt, 13.868 kWh/a generiert, davon wurden 4.048 kWh/a im Haus selbst genutzt und 9.820 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen

Netz wurden im Messzeitraum 11.403 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch von 12.633 kWh/a. Dieser berücksichtigt den reinen Endenergieverbrauch des Hauses ohne Elektromobilität und ohne projektspezifischen Endenergieverbrauch. Der Endenergieverbrauch für die Elektromobilität beträgt 87 kWh/a und der projektspezifische Endenergieverbrauch 2.731 kWh/a.

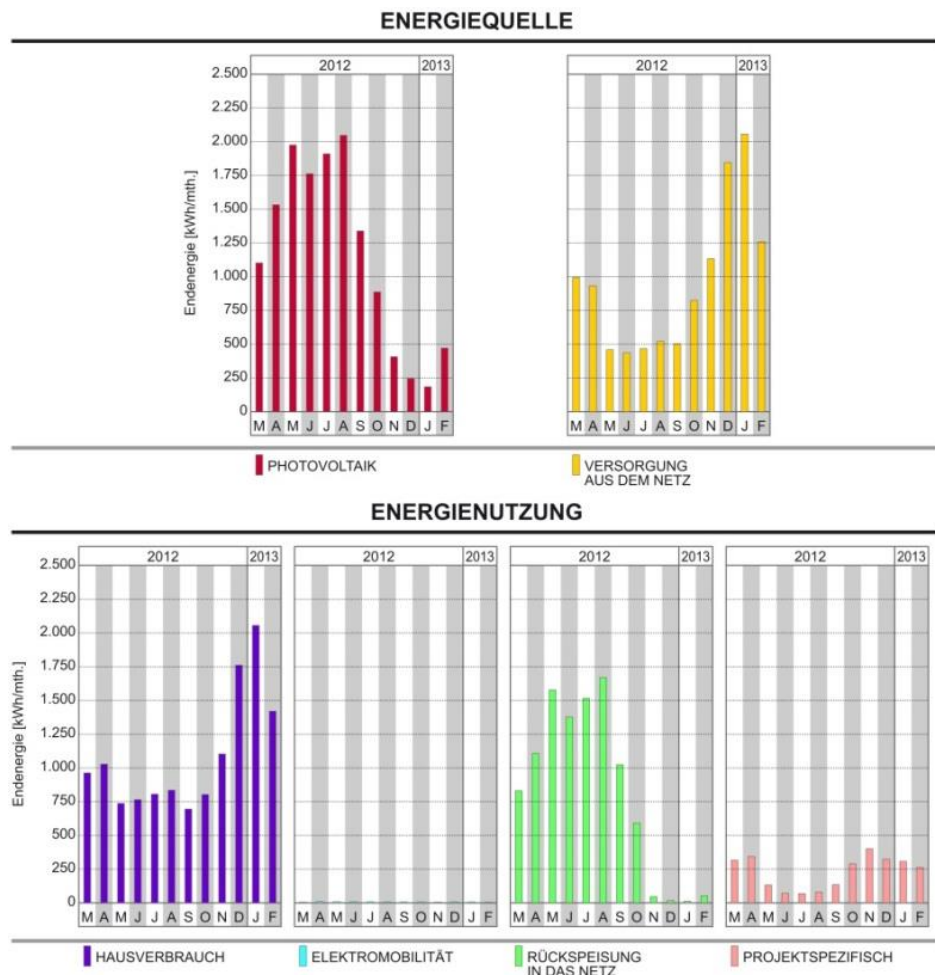


Bild 27:
Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus Concept-M im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Das Photovoltaiksystem hat, wie Bild 28 zeigt, somit einen Überschuss von 1.235 kWh erzielt. Dieser wird aus der Differenz von Photovoltaikertrag und Hausverbrauch ermittelt. Der Überschuss reicht aus, um den Endenergieverbrauch für die Elektromobilität zu decken, aber nicht den projektspezifischen Endenergieverbrauch. Der vorherberechnete Energieüberschuss von 4.677 kWh wird nicht erreicht.

KUMULIERTE ENDEENERGIE

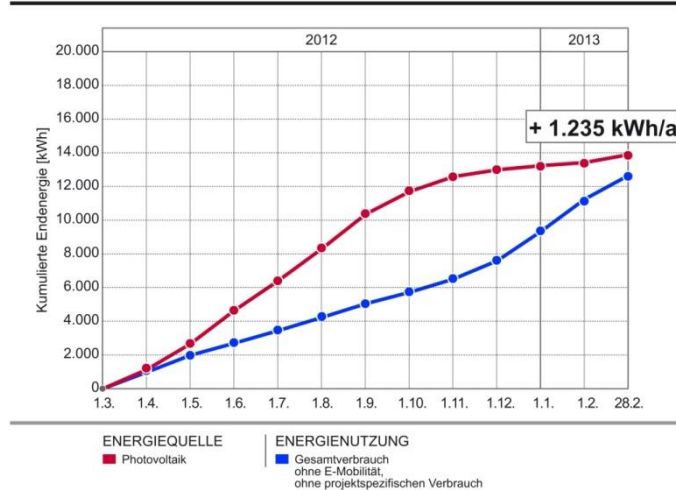


Bild 28:

kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus den Photovoltaikanlagen des Effizienzhauses Plus Concept-M im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im 2. Messjahr wurden von den Photovoltaikanlagen, wie Bild 29 zeigt, 14.201 kWh/a generiert, davon wurden 5.965 kWh/a im Haus selbst genutzt und 8.236 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist. Aus dem öffentlichen Netz wurden im Messzeitraum 8.379 kWh/a Strom entnommen. Dem gegenüber steht ein gebäudebezogener Endenergieverbrauch von 11.204 kWh/a. Dieser berücksichtigt den reinen Endenergieverbrauch des Hauses ohne Elektromobilität und ohne projektspezifischen Endenergieverbrauch. Der Endenergieverbrauch für die Elektromobilität beträgt 75 kWh/a und der projektspezifische Endenergieverbrauch 3.065 kWh/a.

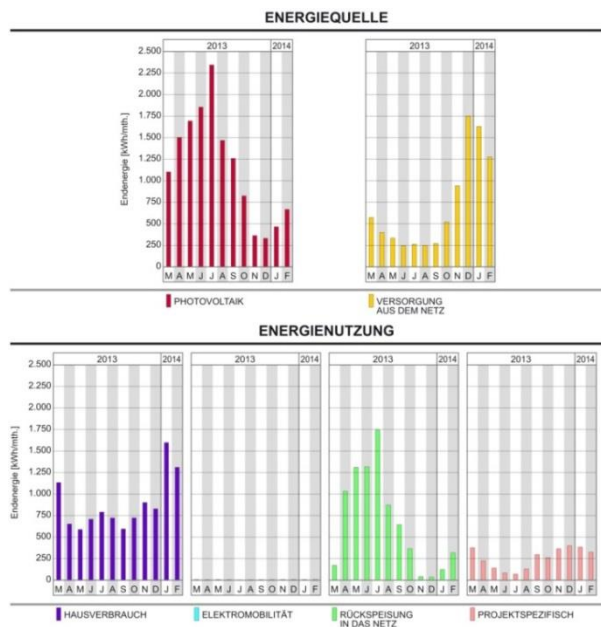


Bild 29:

Endenergiebilanz im Effizienzhaus Plus Concept-M im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Das Photovoltaiksystem hat, wie Bild 30 zeigt, einen Überschuss von 2.997 kWh/a erzielt. Der Überschuss reicht aus, um den Endenergieverbrauch für die Elektromobilität zu decken, der projektspezifische Endenergieverbrauch kann nicht vollständig substituiert werden. Der vorherberechnete Energieüberschuss von 4.957 kWh wird nicht erreicht.

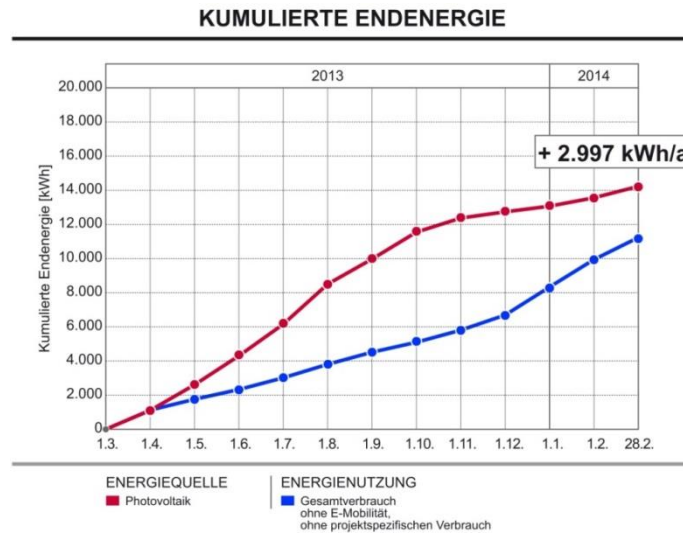


Bild 30: kumulierter gebäudebezogener Energieverbrauch und Energieertrag aus den Photovoltaikanlagen des Effizienzhauses Plus Concept-M im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

6.3 Eigenstromnutzung und Autarkiegrad

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

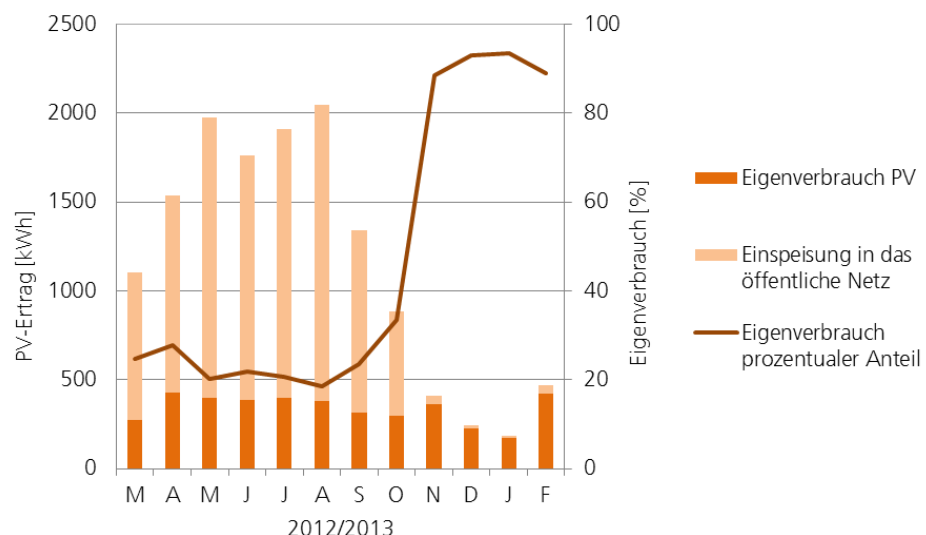


Bild 31: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch und Netzeinspeisung sowie prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Der von der Photovoltaikanlage produzierte und im Gebäude selbst genutzte Strom betrug in den Monaten April bis September 2012 im Mittel 22 % und fällt damit gering aus. In den Wintermonaten steigt der selbstgenutzte Anteil aufgrund des geringen Angebots auf über 90 % an. Im Jahresmittel beträgt er 29 %. Eine Aussage über den Einfluss der Batterienutzung auf die Eigenstromnutzung ist aufgrund der gewählten Messkonfiguration und unvollständiger Messwerte während des Messzeitraums nicht möglich. Nach Angabe des Auftraggebers wurde die Batterie zeitweise nachts zu 100 % durch den Strom des öffentlichen Netzes geladen. Dies kann anhand der vorliegenden Messwerte, die für die Batterie ausgeprägte Messausfallzeiten beinhalten, nicht verifiziert werden. Ergänzend ist zur Bestimmung der Batterieverluste ein weiterer Stromzähler vor der Batterie erforderlich.

Für das 2. Messjahr sind die monatlichen Photovoltaikerträge aufgeteilt in die Anteile Eigenverbrauch und Einspeisung in das öffentliche Netz sowie die Eigenverbrauchsquote in Bild 32 gezeigt.

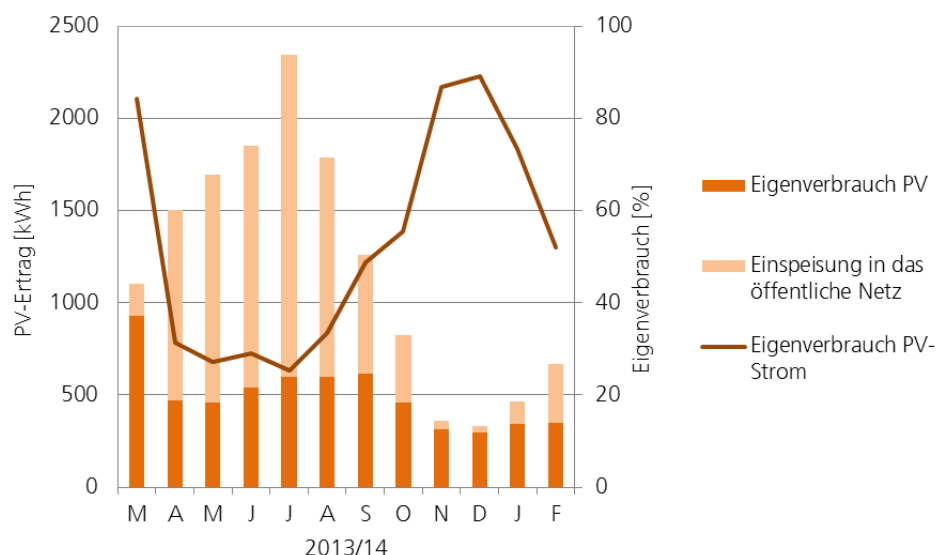


Bild 32: PV-Ertrag aufgeteilt in Eigenverbrauch und Netzeinspeisung sowie prozentualer Anteil Eigenverbrauch im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Der von der Photovoltaikanlage produzierte und im Gebäude selbst genutzte Strom betrug in den Monaten April bis September 2013 im Mittel 33 %. In den Wintermonaten steigt der selbstgenutzte Anteil auf fast 90 % an. Im Jahresmittel beträgt er 42 %.

Die monatliche Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und der monatliche Autarkiegrad, der den Deckungsanteil des selbst generierten Photovoltaikstroms am Endenergieverbrauch des Gebäudes darstellt, sind für das 1. Messjahr in Bild 33 und das 2. Messjahr in Bild 34 dargestellt.

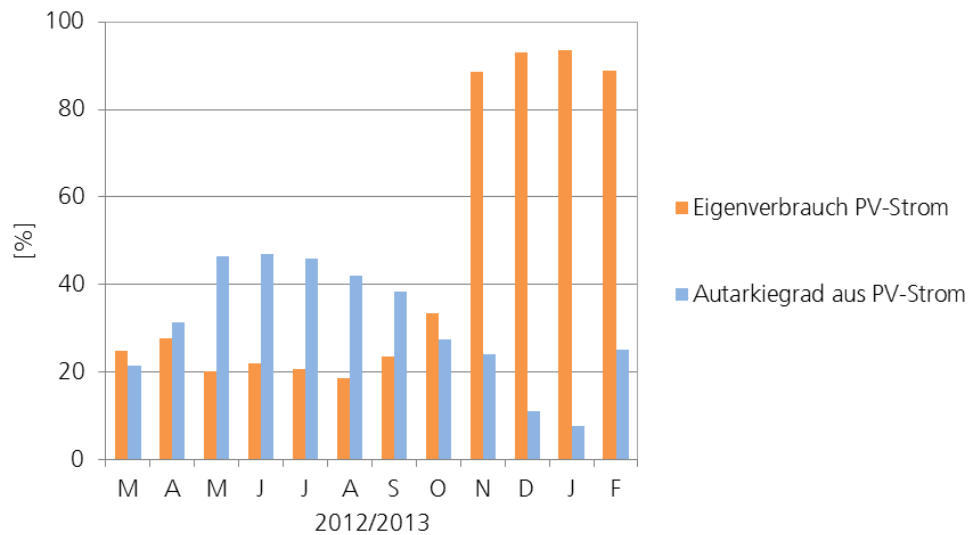


Bild 33: monatliche Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad des PV-Stroms im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

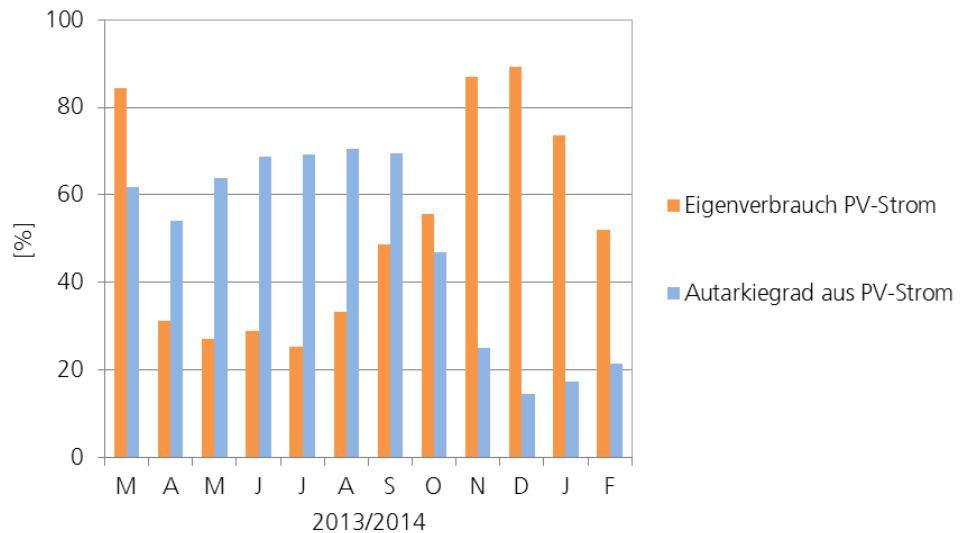


Bild 34: monatliche Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad des PV-Stroms im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Während der Autarkiegrad im 1. Messjahr im Mittel bei 26 % liegt, steigt er im 2. Messjahr im Mittel auf 42 % an.

Trotz Batteriebetrieb im Gebäude sollte die Eigenstromnutzung des PV-Stroms weiter optimiert werden. Hier sollte zum einen das Batteriemangement geprüft werden. Ferner liefert die gewählte Batteriespeicherkapazität mit 8,4 kWh bei einer Peak Leistung der PV-Module von 16,15 kW_p nur eine kurze Speichermöglichkeit.

6.4 Anlagenperformance

Das Gebäude verfügt über eine Doppelwärmepumpe, die in einem Kompaktgerät angeordnet ist. Dabei steht eine Sole/Wasser-Wärmepumpe für die Raumheizung über eine Fußbodenheizung zur Verfügung. Eine Luft-/Luft-Wärmepumpe, die vorrangig zur Brauchwassererwärmung, als Lüftungsanlage und zur Heizungsunterstützung dient, nutzt die Wärme der Abluft und stellt diese dem Zuluftstrom bzw. einem in der Wärmepumpe integrierten Warmwasserspeicher zur Verfügung. Im Sommer wird die Lüftungsanlage unter Hinzuschaltung der im Erdreich verlegten Soleleitung zu Kühlzwecken genutzt.

Die Anlagenperformance des Geräteteils für die Sole/Wasser-Wärmepumpe lässt sich durch die monatliche Arbeitszahl beschreiben. Im Folgenden wird die Bilanz der Wärmepumpe im Heizfall aus dem Energieanteil für den Heizbetrieb und der dabei abgegebenen Wärmemenge bestimmt. Die monatlichen Arbeitszahlen sind für das 1. Messjahr in Bild 35 und für das 2. Messjahr in Bild 36 gezeigt.

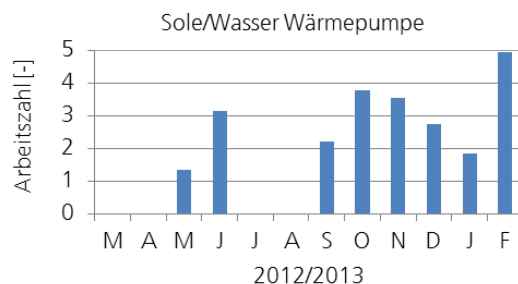


Bild 35: monatliche Arbeitszahl der Sole/Wasser-Wärmepumpe im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Im März und April 2012 waren noch keine Wärmemengenzähler zur Übermittlung der Wärmemengen installiert. In den Monaten Juli und August war die Fußbodenheizung nicht in Betrieb. In den übrigen Monaten des Jahres liegt die Arbeitszahl zwischen 1,34 und 4,95.

Im 2. Messjahr ist die Wärmepumpe nur im August nicht in Betrieb. In der übrigen Zeit schwankt die Arbeitszahl zwischen 1,0 und 3,5. Die Jahresarbeitszahl ergibt sich aus den Monaten im Betrieb zu 2,47. Auffällig ist die geringe Performance der Wärmepumpe während der Wintermonate von Dezember 2013 bis Februar 2014. Zur energetischen Optimierung des Gebäudes sollte die Sole/Wasser-Wärmepumpe außerhalb der Heizperiode komplett ausgeschaltet werden.

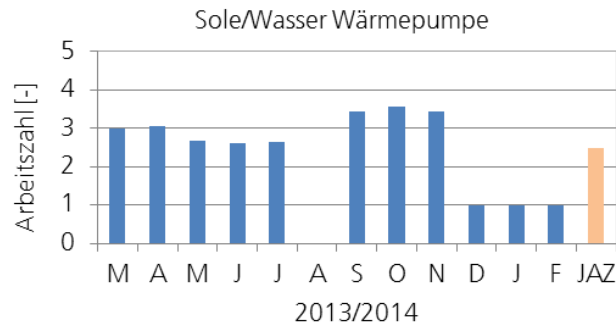


Bild 36: monatliche Arbeitszahl und Jahresarbeitszahl der Sole/Wasser Wärmepumpe im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

Die Performance des Geräteteils der Luft/Luft-Wärmepumpe lässt sich aus den aufgezeichneten Messwerten nicht eindeutig bestimmen, da die erzeugten Energieanteile und benötigten Strommengen der einzelnen Prozesse Heizen, Kühlen, Brauchwassererwärmung und Lüftung nicht voneinander getrennt werden können. Durch die eingebaute Messsensorik lassen sich die einzelnen, sich teilweise überlagernden Prozesse nicht eindeutig ablesen. Durch Messausfälle liegen für den Abluftvolumenstrom, der zur Bestimmung des Energieanteils aus der Abluft herangezogen wird, nur unzureichende Werte vor.

6.5 Innenraumtemperaturen Sommer

In den Räumen im Erd- und Obergeschoss wurden die Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten gemessen. Einen Überblick über die sommerliche Temperaturentwicklung in den Räumen Esszimmer (EG) und Kind 2 (OG) für die Monate Juni, Juli, August 2012 und Juni, Juli, August 2013 zeigen die Bilder 37 bis 42. Zum Vergleich ist jeweils der Temperaturverlauf der Außenlufttemperatur des DWD der Station Euskirchen eingezeichnet. Die Außen- und Innenraumlufttemperaturen sind als Stundenmittelwerte dargestellt.

Wie die Bilder 37 und 41 zeigen, liegen aufgrund von Messausfällen für kurze Zeiträume im Juni und August 2012 keine Messwerte vor. Alle zugehörigen numerischen Daten der Grafiken sowie aller Räume im EG und OG sind den Tabellen 18 und 21 im Anhang B zu entnehmen.

Die stündliche Raumluftmitteltemperatur im Esszimmer und im Kinderzimmer 2 beträgt in den Monaten Juni bis August minimal 17 °C und maximal fast 35 °C. Auffallend ist der Verlauf der Raumlufttemperaturen entlang der Maxima der Außentemperatur oder darüber. Eine nächtliche Abkühlung wird in den Räumen nicht erreicht. Die Tagesspreizung der Minimal- und Maximaltemperatur ist im Esszimmer im Erdgeschoss ausgeprägter als im Kinderzimmer 2 im Obergeschoss.

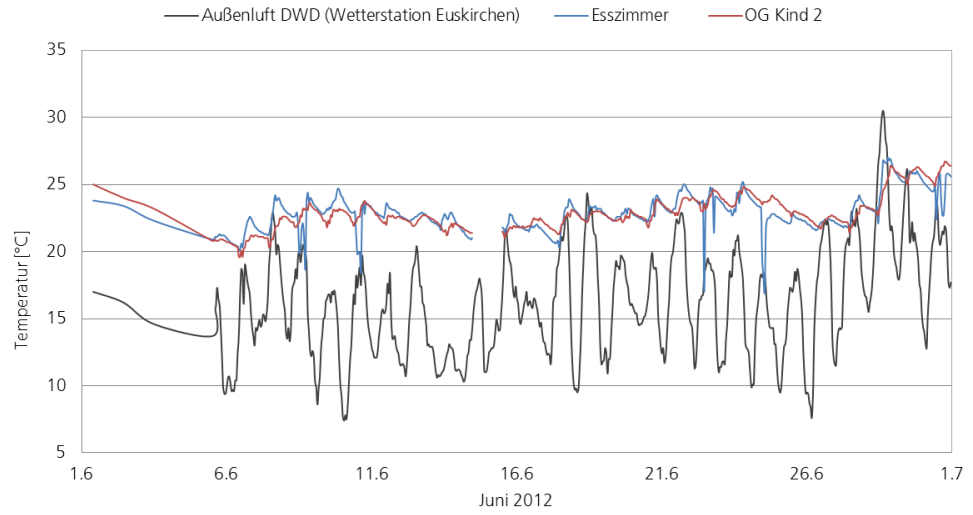


Bild 37:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2012.

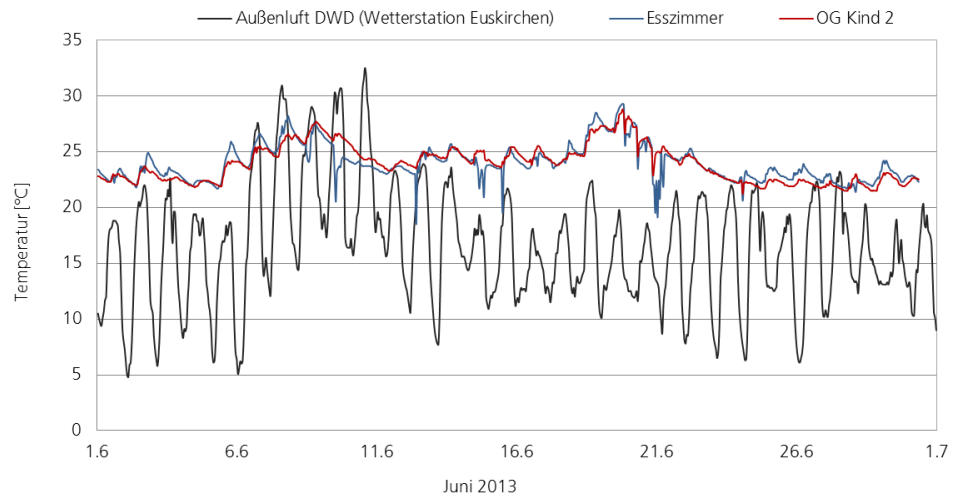


Bild 38:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juni 2013.

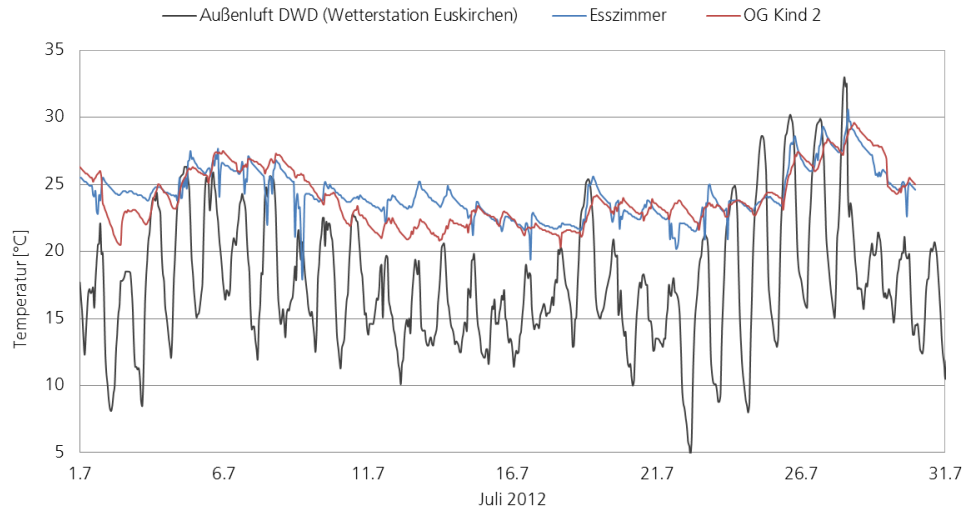


Bild 39:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juli 2012.

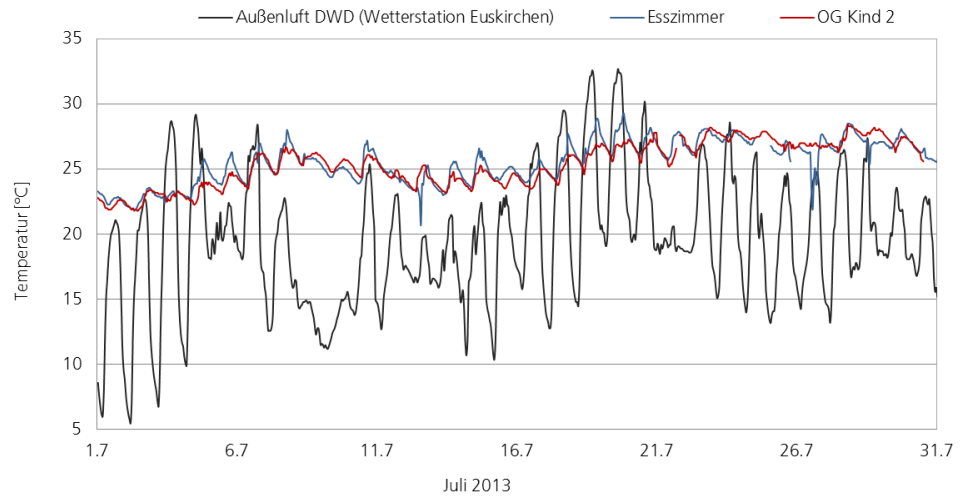


Bild 40:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Juli 2013.

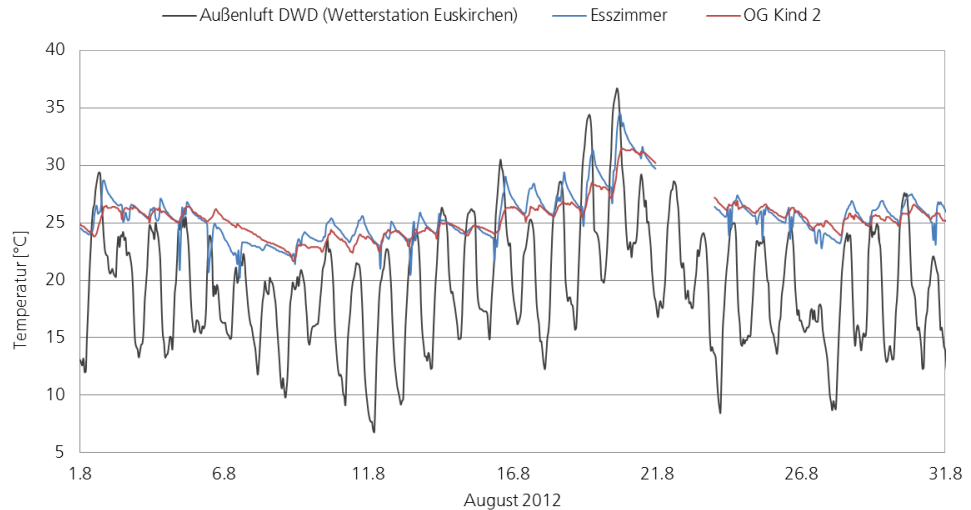


Bild 41:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat August 2012.

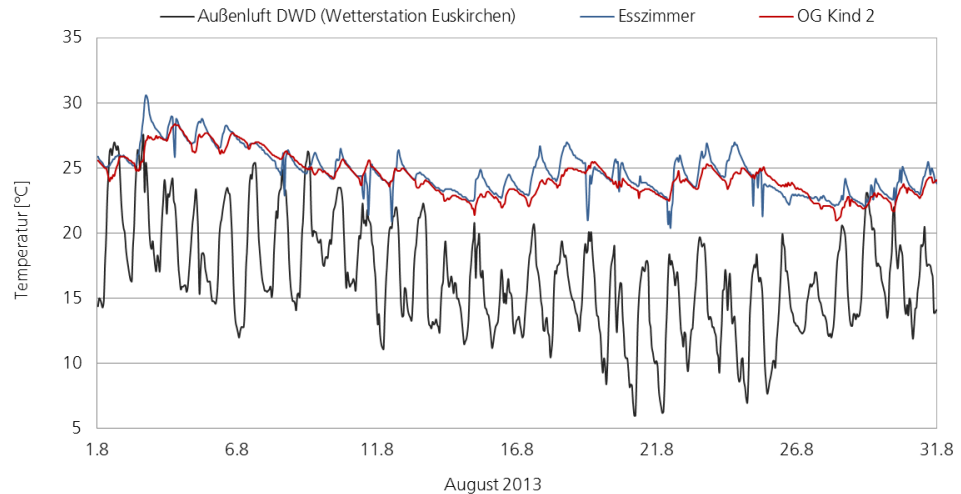


Bild 42:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat August 2013.

Insgesamt heizen sich die Räume während der Sommerperiode vor allem im Juli und August stark auf. Aus den vorliegenden Messwerten wurde, wie in Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellt, die Anzahl der Stunden ermittelt, während der die stündliche Raumlufttemperatur über 26 °C lag. In Anlehnung an die technischen Regeln für Arbeitsstätten [5] sollte die Raumluft 26 °C nicht überschreiten. Die maximale Überschreitungsdauer betrug im August im Esszimmer 232 Stunden, das sind ca. 10 Tage.

Tabelle 9:
Überschreitungsstunden > 26 °C für Juni bis August 2012 in den Aufenthaltsräumen.

Raum	Überschreitungsstunden [-]		
	Juni	Juli	August
Esszimmer	10	120	232
Wohnzimmer	13	123	228
Kind 1	20	162	204
Kind 2	20	152	199
Schlafzimmer	8	140	175

Tabelle 10:
Überschreitungsstunden > 26 °C für Juni bis August 2013 in den Aufenthaltsräumen.

Raum	Überschreitungsstunden [-]		
	Juni	Juli	August
Esszimmer	83	307	145
Wohnzimmer	89	284	145
Kind 1	108	326	133
Kind 2	92	302	115
Schlafzimmer	162	428	170

Ergänzend zu den Überschreitungsstunden ist in Bild 43 der Temperaturverlauf für 4 warme Sommertage im August 2013 gezeigt. Die Raumlufttemperatur liegt über 25 °C. Das Volumen des gekühlten Zuluftstroms reicht für eine Herabsetzung der Temperatur in den Räumen nicht aus.

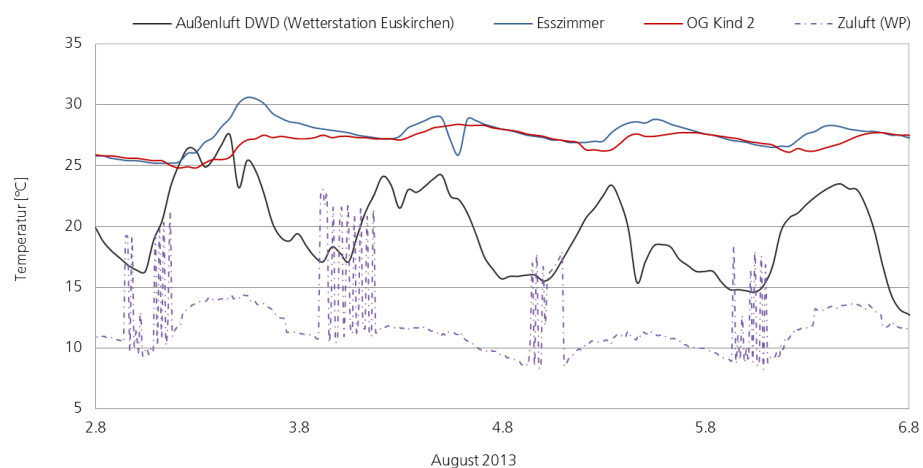


Bild 43:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen-, Innenraumlufttemperatur, Zulufttemperatur sowie Außenlufttemperatur der Lüftungsanlage vom 2. August 2013 bis 6. August 2013.

Wie Bild 44 zeigt, wird ab einer Außentemperatur von ca. 14 °C die Luft vorgewärmt, hier sollte der Sommerbypass eingestellt werden.

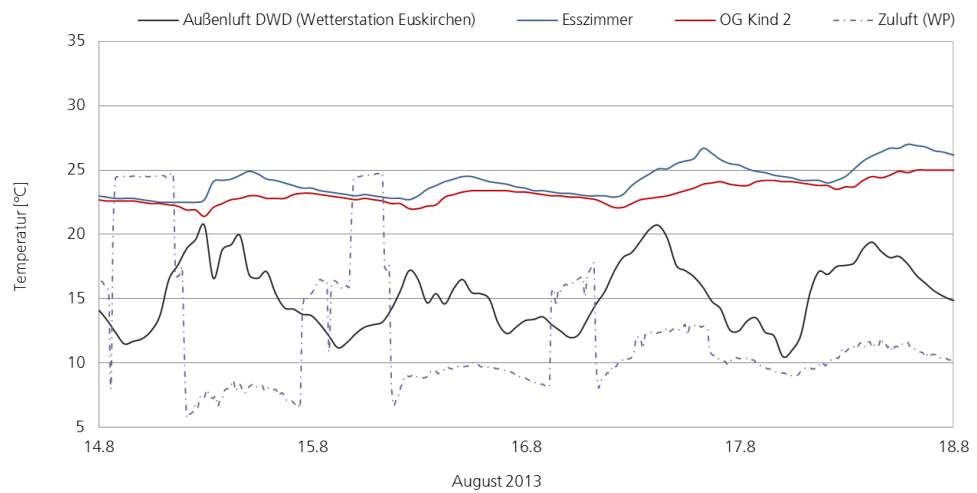


Bild 44:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen-, Innenraumlufttemperatur, Zulufttemperatur sowie Außenlufttemperatur der Lüftungsanlage vom 14. August 2013 bis 18. August 2013.

6.6 Innenraumtemperaturen Winter

Einen Überblick über die Entwicklung der Raumlufttemperatur während der Heizperiode für die Räume Esszimmer im EG und Kind 2 im OG zeigt für den Februar 2013 Bild 45 und für den Februar 2014 Bild 46.

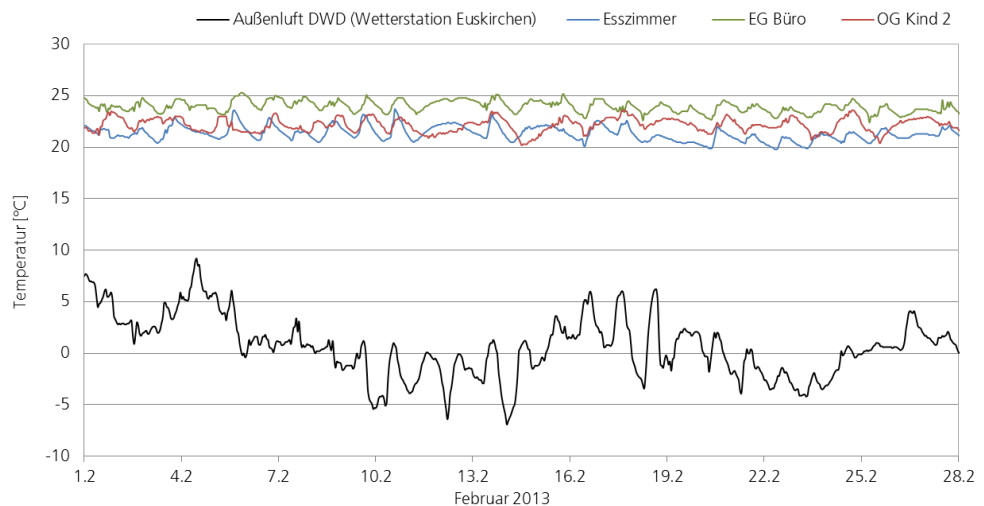


Bild 45:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Februar 2013.

Das Temperaturniveau liegt im 1. Messjahr zwischen 21 °C und 25 °C und damit um 1 K bzw. 5 K über der angesetzten Innenraumlufttemperatur von 20 °C gemäß der DIN V 18599.

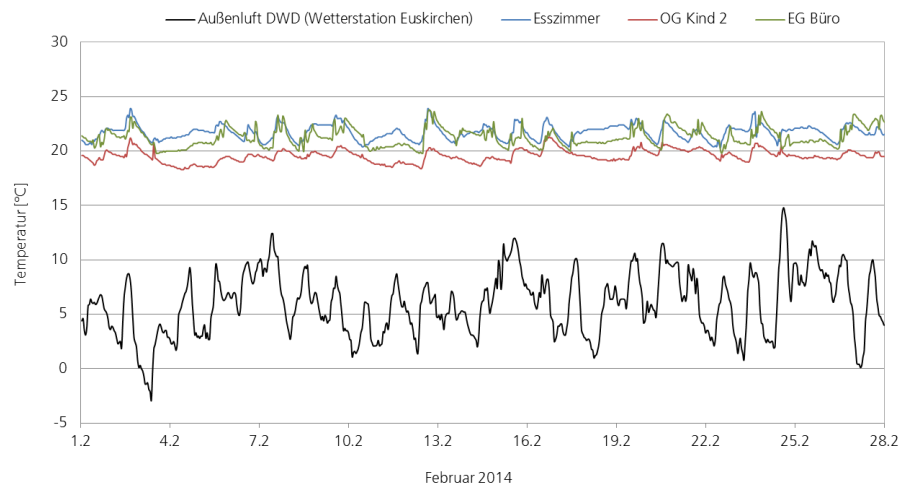


Bild 46:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperatur im Monat Februar 2014.

Das Temperaturniveau liegt im 2. Messjahr zwischen 18 °C und 24 °C und damit um 4 K über der angesetzten Innenraumlufttemperatur von 20 °C gemäß der DIN V 18599.

6.7 Behaglichkeit

Die Behaglichkeit im Gebäude wird in einem sogenannten „Behaglichkeitsdiagramm“ nach Leusden und Freymark [6] graphisch dargestellt. Dabei werden die Stundenmittelwerte der Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte als Punkte dargestellt. Durch die Darstellung der Behaglichkeitsfelder „noch behaglich“ und „behaglich“, lassen sich die Messwerte beurteilen.

In den Bildern 47 bis 50 sind die Behaglichkeitsdiagramme für zwei Räume im Gebäude, das Esszimmer im Erdgeschoss und das Kinderzimmer 2 im Obergeschoss, für einen Wintermonat innerhalb der Heizperiode im März 2012 und 2013 dargestellt.

Die Zahlenwerte der relativen Luftfeuchte der gezeigten Grafiken sowie aller Räume im EG und OG sind als Stundenmittelwerte in den Tabellen 22 bis 25 im Anhang B dargestellt.

Die Messwerte liegen im März zum überwiegenden Teil im „behaglichen“ und „noch behaglichen“ Bereich mit einer Tendenz zum unbehaglich trockenen Bereich im 2. Messjahr.

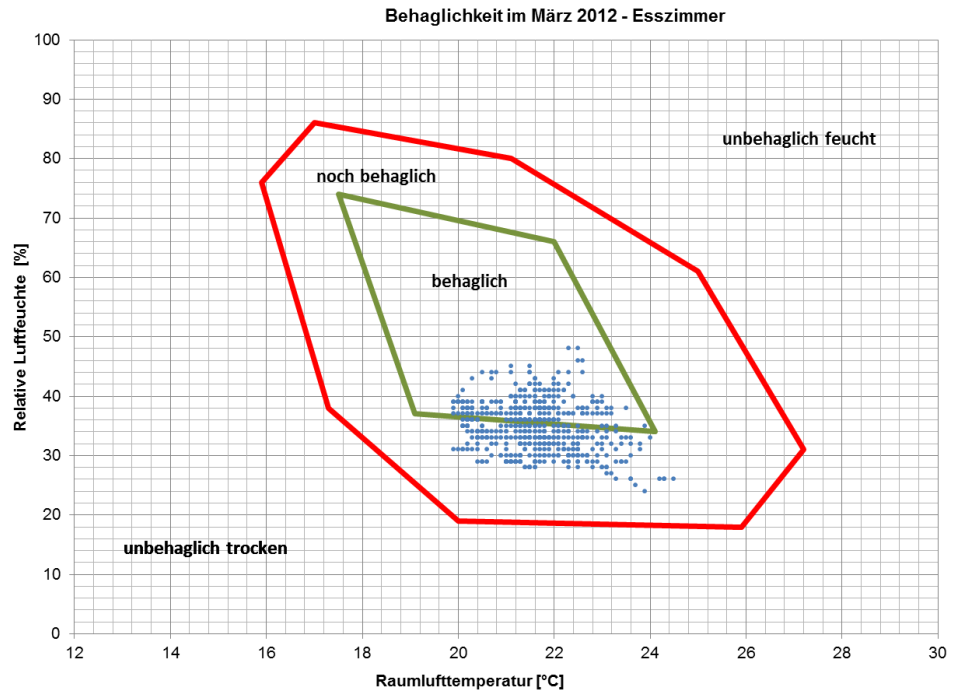


Bild 47:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG Esszimmer im März 2012.

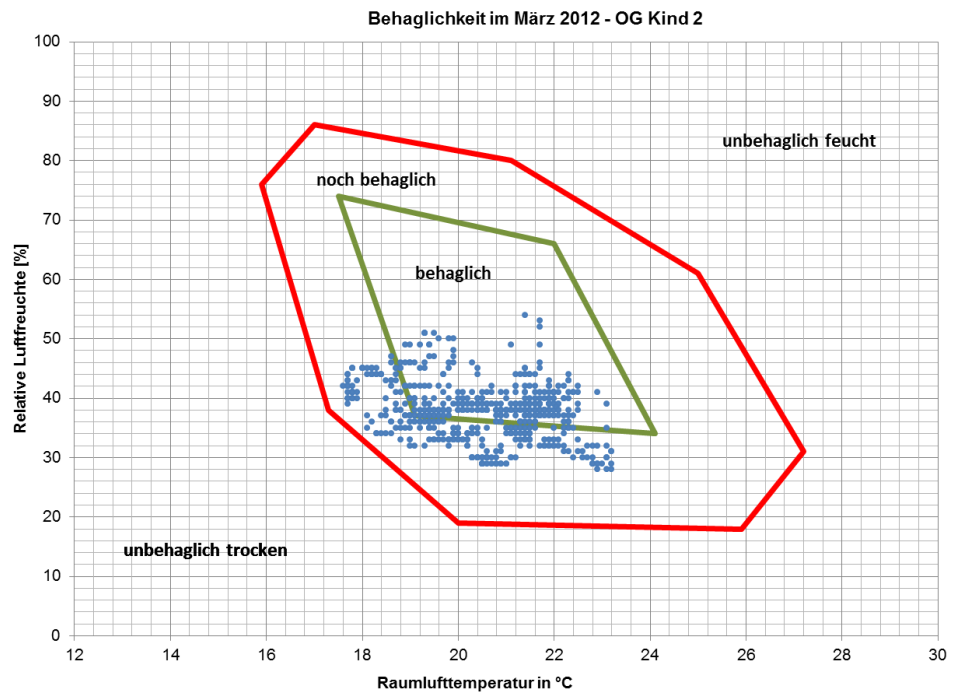


Bild 48:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG Kind 2 im März 2012.

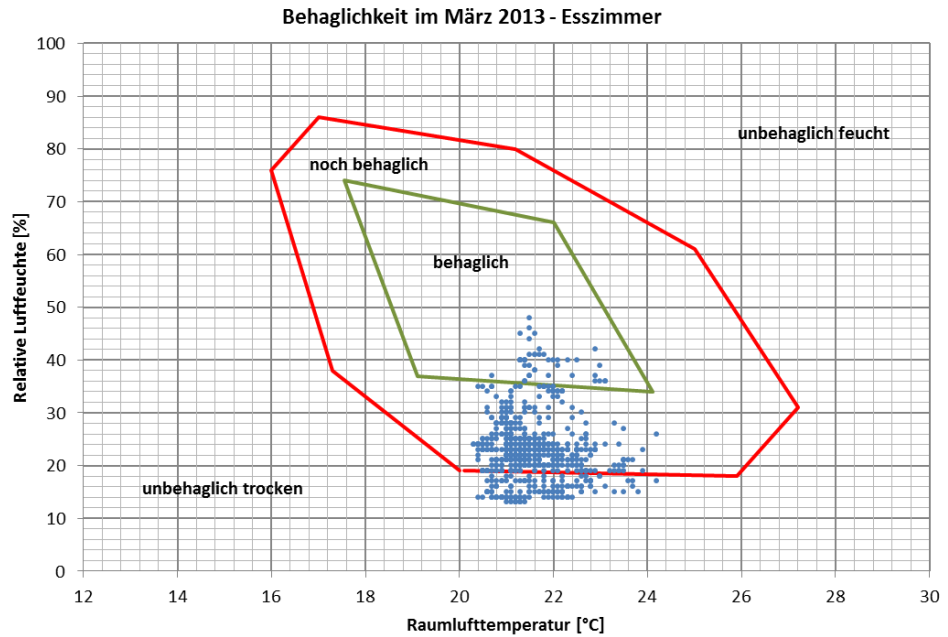


Bild 49:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG Esszimmer im März 2013.

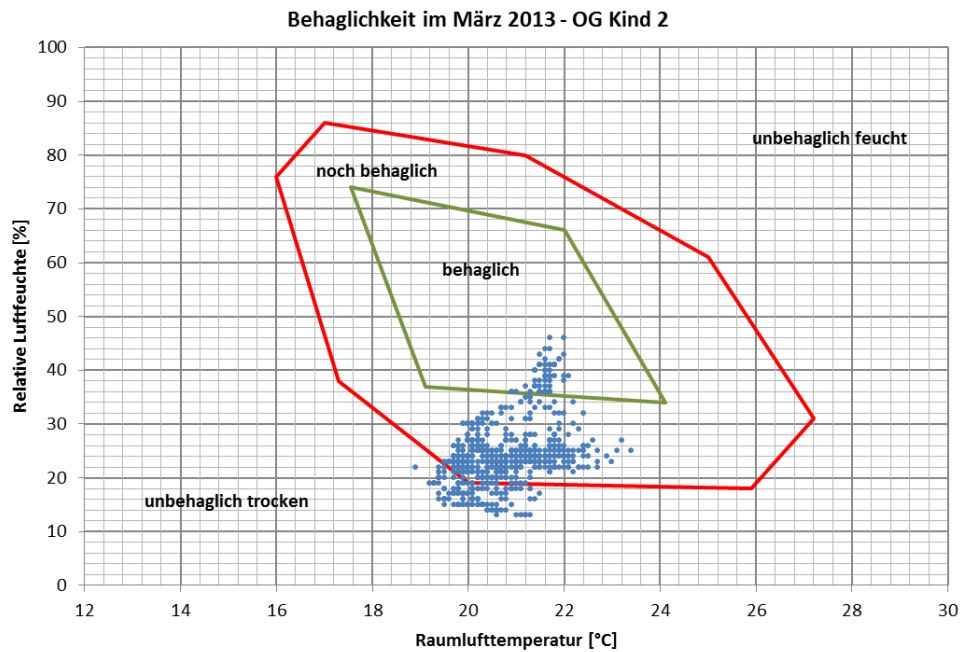


Bild 50:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG Kind 2 im März 2013.

Für den Sommermonat August sind die Behaglichkeitsdiagramme für die ausgewählten Räume in den Bildern 51 bis 54 gezeigt. Hier liegen die Messwerte zum Teil im „behaglichen“ Bereich und zum überwiegenden Teil im „noch behaglichen“ Bereich mit Tendenzen zum unbehaglich feuchten Bereich.

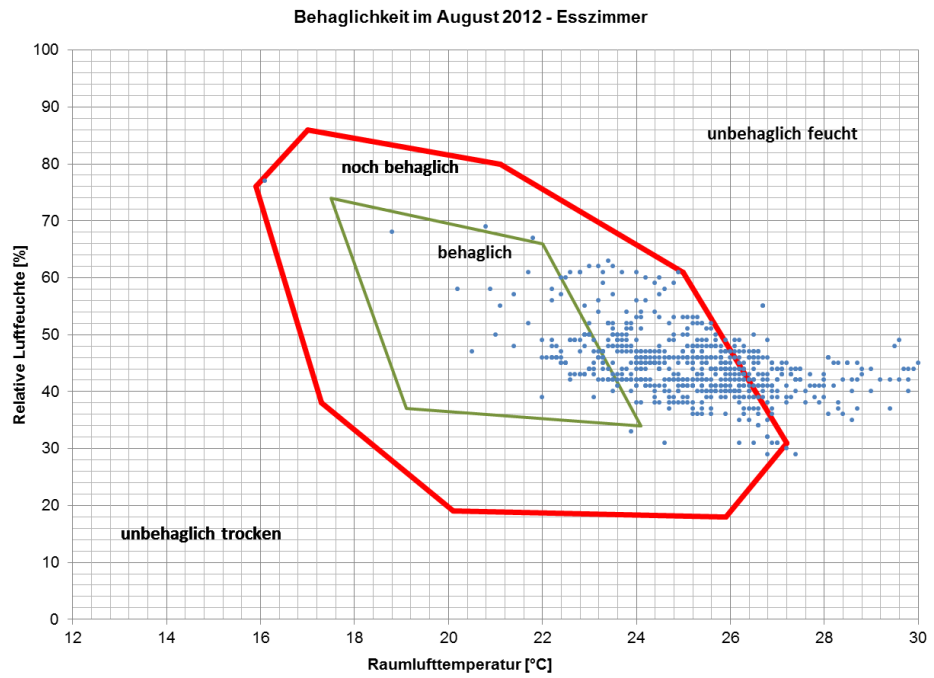


Bild 51:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG Esszimmer im August 2012.

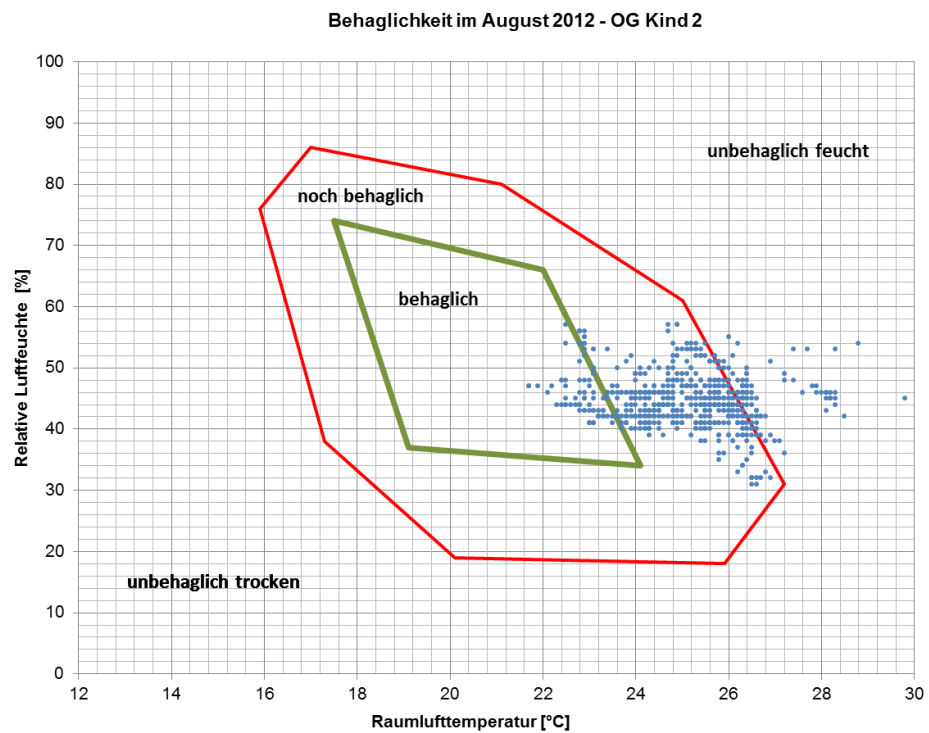


Bild 52:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG Kind 2 im August 2012.

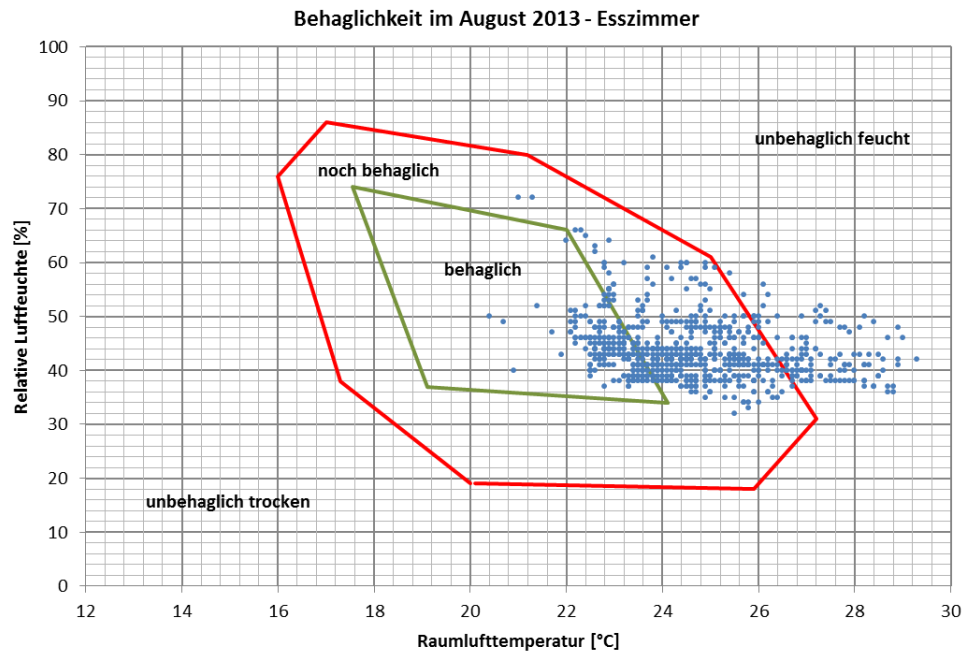


Bild 53:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich EG Esszimmer im August 2013.

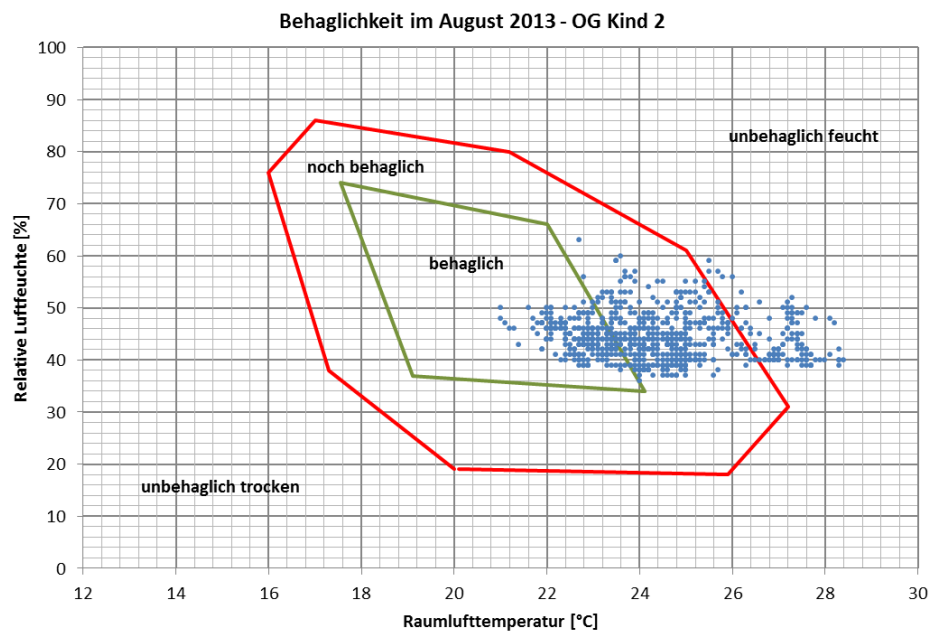


Bild 54:
Behaglichkeitsdiagramm Bereich OG Kind 2 im August 2013.

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Baukosten der Kostengruppen 300 und 400 sind in Tabelle 11 dargestellt. Es ergeben sich Bruttobaukosten bezogen auf die Nutzfläche A_N von $1.848 \text{ €/m}^2 A_N$. Eine Auskunft über die während der Messperiode aufgetretenen Energie- und Betriebskosten bzw. der erhaltenen Einspeisevergütung liegt nicht vor.

Tabelle 11:
Bauwerkskosten der Kostengruppen KG 300 und KG 400.

Bauwerkskosten		
KG	Gewerk	Kosten brutto [€]
320	Gründung	20.890
330	Außenwände	214.253
340	Innenwände	89.169
350	Decken	138.950
360	Dächer	73.417
370	Baukonstruktive Einbauten	34.139
390	Sonstige Baukonstruktion	6.840
300 Bauwerk - Baukonstruktion		587.658
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen	71.335
420	Wärmeversorgungsanlagen	13.455
430	Lufttechnische Anlagen	1.001
440	Starkstromanlagen	124.154
480	Gebäudeautomation	104.524
400 Bauwerk – technische Anlagen		314.469
300 + 400 Summe		902.127

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

In der zweijährigen Messperiode von März 2012 bis Februar 2014 erwirtschaftete das Gebäude im 1. Messjahr einen Überschuss von 1.235 kWh/a und im 2. Messjahr von 2.997 kWh/a. Damit ist der Effizienzhaus Plus-Standard erreicht. Die Werte der Prognose, einen Jahresüberschuss von 4.957 kWh zu erzeugen, konnte nicht erreicht werden.

Der Vergleich der gemessenen hausbezogenen Verbrauchswerte (gemäß Kapitel 6.2) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (gemäß Kapitel 3.5) zeigt

vorrangig Abweichungen der Energieverbräuche für die Beleuchtung und den Haushaltsstrom. Es ergeben sich die folgenden Werte:

1. Messjahr

- Wärmepumpe einschl. Hilfsenergie (Zirkulationspumpe und Hausautomation): 7.447 kWh (Messung) anstelle 5.863 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 1.148 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt einschl. Sonstiges: 4.038 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem um etwa 51 % erhöhten Energieverbrauch: 12.633 kWh (Messung) anstelle 8.363 kWh (Planung). Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (gemäß Kapitel 6.1) mit den vorherberechneten Ertragswerten (gemäß Kapitel 3.5) liefert Mehrerträge (13.868 kWh anstelle der prognostizierten 13.040 kWh) von etwa 6 %.

2. Messjahr

- Wärmepumpe einschl. Hilfsenergie (Zirkulationspumpe und Hausautomation): 8.261 kWh (Messung) anstelle 5.863 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 787 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt einschl. Sonstiges: 2.156 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem um etwa 34 % erhöhten Energieverbrauch: 11.204 kWh (Messung) anstelle 8.363 kWh (Planung). Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (gemäß Kapitel 6.1) mit den vorherberechneten Ertragswerten (gemäß Kapitel 3.5) liefert Mehrerträge (14.201 kWh anstelle der prognostizierten 13.040 kWh) von etwa 9 %.

Das Hausautomationssystem benötigte fast den gesamten Anteil (99,5 %) des Stromverbrauchs für die Hilfsenergie, das sind 12 % vom Gesamtstromverbrauch des Gebäudes.

8.2 Verbesserungspotentiale

Die Analyse der Messungen ergab im Bereich der Anlagen- und Messtechnik Ineffizienzen. Hiervon betroffen sind im besonderen Maße:

- Die Eigenstromnutzung des selbst generierten Photovoltaikstroms beträgt im Mittel nur 29 % (1. Messperiode) bzw. 42 % (2. Messperiode). Der Autarkiegrad des selbst genutzten PV-Stroms hat im 1. Messjahr eine Größe von 26 % und im 2. Messjahr von 42 %. Hier sollte das Batteriemangement optimiert werden, da auch gerade in diesem Zeitraum das Gebäude über einen erhöhten Kühlbedarf verfügt. Zur Be-

stimmung der Batterieverluste ist ferner ein zusätzlicher Elektrozähler am Batterieeingang erforderlich.

- Auf Basis der Messdaten ergibt sich die Notwendigkeit, die Regelmechanismen der Wärmepumpe und die Grenztemperatureinstellungen zu überprüfen. Außerhalb der Heizperiode (April bis September) sollte die Sole/Wasser-Wärmepumpe für den Betrieb der Fußbodenheizung außer Betrieb genommen werden. Zur Reduzierung des Energieverbrauchs der Luft/Luft-Wärmepumpe während der Sommermonate sollten der Einsatz der Kühlung und die Einstellung der Bypass-Regelung optimiert werden. Im Winter liegt das Temperaturniveau in den Aufenthaltsräumen um 1 K bis 5 K höher als das Norm-Innenklima von 20 °C gemäß DIN V 18599, hier bestehen Einsparpotentiale. Die überwiegende Nutzung der Sole/Wasser-Wärmepumpe zur Beheizung des Gebäudes im 2. Messjahr hat sich als weniger effektiv erwiesen. Der geringe Wirkungsgrad der Sole/Wasser-Wärmepumpe muss verbessert werden.
- In den Sommermonaten heizen sich die Aufenthaltsräume stark auf. Neben der vorgenannten Überprüfung der Bypass-Regelung der Lüftungsanlage sollte der Einsatz aktiver Sonnenschutzmaßnahmen in Erwägung gezogen werden.
- Ein signifikant hoher Anteil des Energieverbrauchs fällt auf die Hausautomation. Hier sollten Einsparpotentiale überprüft werden.
- Der Energiebedarf für die Beleuchtung ist trotz einer Reduzierung im 2. Messjahr signifikant hoch. Selbst bei der Nutzung und Aufgabe des Gebäudes als Musterhaus sollte die Energieeffizienz der Leuchtmittel überprüft werden.
- Der Planungs-Benchmark für Energieverbräuche im Haushalt ist mit einem Pauschalwert von 2.500 kWh/a evtl. zu niedrig angesetzt. Hier sollte ggf. ein haushaltsgrößenabhängiger Kennwert eingeführt werden.
- Die Ergebnisse des ersten beiden Betriebsjahre zeigen, dass bei hocheffizienten Gebäuden 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 Concept-M Bien-Zenker (Stand Februar 2015). Veröffentlicht auf www.forschungsinitiative.de.
- [2] Bien-Zenker: Energieeinsparnachweis nach der EnEV 2009 (Stand 1. Oktober 2013), unveröffentlicht.
- [3] DIN V 18599:2007-02 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- [4] BMVBS: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand. Bonn, 26. Juli 2007.

- [5] ASTA: Technische Regeln für Arbeitsstätten, ASR A3.5 Ausgabe Juni 2010.
- [6] Leusden und Freymark: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch, Gesundheitsingenieur (Heft 16, 1951).

Anhang A

Tabelle 12:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für den Hausverbrauch von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Zirkulations- pumpe	Hausau- tomation	Beleuch- tung	Haushaltsge- räte	Sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
März 12	479	0	118	84	154	112	946
Apr. 12	403	2,3	154	143	185	118	1.006
Mai 12	230	0,5	143	101	167	75	717
Juni 12	261	0	145	140	167	30	744
Juli 12	312	0	146	92	180	55	785
Aug. 12	379	0,7	146	91	166	31	814
Sep. 12	254	0,7	132	90	178	23	677
Okt. 12	309	0,8	111	86	195	86	787
Nov 12	575	0,7	135	97	277	2	1.087
Dez. 12	815	1,3	143	80	439	267	1.745
Jan. 13	941	0	143	79	466	287	1.916
Feb. 13	836	0,7	130	65	254	124	1.409
Summe	5.794	7,7	1.646	1.148	2.827	1.211	12.633

Tabelle 13:

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

Monat	Bezug		Photovoltaik		E-Mobilität	Projekt-spezifisches	Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch			
	kWh	kWh	kWh	kWh			
März 12	996	1.102	830	272	6	316	946
Apr. 12	933	1.533	1.108	425	9	344	1.006
Mai 12	459	1.976	1.578	399	8	133	717
Juni 12	437	1.763	1.377	386	8	71	744
Juli 12	467	1.911	1.516	395	8	69	785
Aug. 12	522	2.048	1.669	378	7	79	814
Sep. 12	504	1.339	1.024	315	7	135	677
Okt. 12	788	887	591	296	7	290	787
Nov. 12	1.134	407	47	361	6	401	1.087
Dez. 12	1.847	246	17	228	7	323	1.745
Jan. 13	2.057	185	12	173	7	307	1.916
Feb. 13	1.260	471	52	419	6	263	1.409
Summe	11.403	13.868	9.820	4.048	87	2.731	12.633

Tabelle 14:

Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasser von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	Heizung + TWW + Lüftung +Kühlung	
	Nilan Luft WP VP 18	Nilan Sole WP JVP 3
	[kWh]	[kWh]
März 12	112	367
Apr. 12	175	229
Mai 12	202	28
Juni 12	261	0
Juli 12	312	0
Aug. 12	378	0
Sep. 12	236	18
Okt. 12	178	130
Nov. 12	355	221
Dez. 12	504	311
Jan. 13	498	443
Feb. 13	448	388
Summe	3.660	2.134

Tabelle 15:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Hausverbrauch von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Zirkulations- pumpe	Hausautoma- tion	Beleuch- tung	Haushalts- geräte	Sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
März 13	683	0,8	143	87	185	21	1.120
Apr. 13	310	0,8	118	58	138	13	637
Mai 13	200	0,8	134	70	153	14	571
Juni 13	338	0,7	104	56	175	19	692
Juli 13	496	0,08	98	43	118	27	784
Aug. 13	392	0,8	99	48	161	9	710
Sep. 13	274	0,8	99	53	156	0	583
Okt. 13	336	0,8	104	63	176	29	709
Nov. 13	443	0,8	115	80	198	48	885
Dez. 13	1228	0,8	130	72	164	47	1.641
Jan. 14	1208	0,8	130	80	158	4	1.580
Feb. 14	950	0,7	121	77	144	0	1.292
Summe	6.858	9,2	1.394	787	1.925	232	11.204

Tabelle 16:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	Bezug		Photovoltaik		E-Mobilität	Projektspezifisch	Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch			
	kWh	kWh	kWh	kWh			
März 13	573	1.103	522	931	7	377	1.120
Apr. 13	399	1.504	1.184	471	6	226	637
Mai 13	261	1.695	1.340	459	7	141	571
Juni 13	245	1.855	1.598	538	6	85	692
Juli 13	263	2.345	2.220	596	4	71	784
Aug. 13	249	1.789	1.582	597	5	131	710
Sep. 13	271	1.260	881	615	6	297	583
Okt. 13	520	824	573	457	6	262	709
Nov. 13	942	363	194	316	7	365	885
Dez. 13	1.751	332	183	296	7	400	1.641
Jan. 14	1.630	466	274	342	7	385	1.580
Feb. 14	1.276	667	457	348	7	325	1.292
Summe	8.379	14.201	8.236	5.965	75	3.065	11.204

Tabelle 17:

Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasser, Elektromobilität und Projektspezifisches von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	Heizung + TWW + Lüftung +Kühlung	
	Nilan Luft WP VP 18	Nilan Sole WP JVP 3
	[kWh]	[kWh]
März 13	350	334
Apr. 13	150	160
Mai 13	104	96
Juni 13	282	57
Juli 13	470	26
Aug. 13	392	1
Sep. 13	236	38
Okt. 13	206	130
Nov. 13	146	298
Dez. 13	147	1.080
Jan. 14	151	1.057
Feb. 14	138	812
Summe	2.772	4.086

Anhang B

Tabelle 18:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	EG Büro	Esszimmer	Flur Dusche	Flur Haustür	Flur Wohn- zimmer	Heizung	Küche	Wohnzimmer
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
März 12	22,1	21,6	20,1	21,4	21,7	25,8	22,1	21,6
Apr. 12	21,9	21,4	19,9	21,4	21,6	26,6	21,9	21,4
Mai 12	23,9	23,2	22,1	23,4	23,2	29,0	23,8	23,3
Juni 12	23,5	22,9	22,1	23,2	22,7	30,0	23,6	23,0
Juli 12	25,0	24,3	23,6	24,5	24,2	31,1	25,0	24,3
Aug. 12	25,8	25,6	25,0	25,6	24,9	33,4	26,3	25,5
Sep. 12	23,3	22,6	21,8	22,6	22,5	28,7	23,3	22,6
Okt. 12	23,2	21,9	21,2	22,2	22,4	28,0	22,6	21,9
Nov. 12	23,9	21,8	20,9	22,2	23,4	27,0	22,1	22,2
Dez. 12	24,6	21,8	20,7	22,3	24,2	28,3	22,1	22,8
Jan. 13	24,3	21,7	20,4	22,1	23,9	27,7	22,1	22,6
Feb. 13	24,0	21,3	20,1	22,0	23,4	27,3	21,9	22,1
Mittelwert Heizperiode*	23,4	21,6	20,5	21,9	22,9	27,2	22,1	22,1

*Heizperiode März bis April 2012 und Oktober bis Februar 2013

Tabelle 19:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	EG Büro	Esszimmer	Flur Dusche	Flur Haustür	Flur Wohn- zimmer	Heizung	Küche	Wohnzimmer
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
März 13	22,9	21,6	20,5	21,7	22,6	25,3	22,0	22,3
Apr. 13	23,1	22,3	21,3	22,4	22,8	28,3	22,8	22,6
Mai 13	23,3	22,5	21,8	22,9	23,0	29,7	23,3	22,7
Juni 13	24,3	24,0	23,5	24,4	24,0	31,4	24,8	24,1
Juli 13	25,4	25,5	25,5	26,0	25,2	32,0	26,6	25,7
Aug. 13	24,4	24,6	24,4	24,7	24,1	32,8	25,3	24,5
Sep. 13	22,1	22,3	22,1	22,5	22,3	29,0	23,1	22,2
Okt. 13	22,0	22,2	21,5	22,3	22,5	27,5	22,7	22,3
Nov. 13	21,7	21,7	20,8	22,0	22,5	26,2	22,3	21,8
Dez. 13	21,8	21,4	20,4	21,6	22,1	26,3	22,0	21,8
Jan. 14	21,1	21,7	20,2	21,8	22,1	25,4	22,1	21,5
Feb. 14	21,3	21,7	20,3	21,9	22,2	25,9	22,3	21,4
Mittelwert Heizperiode*	22,0	21,8	20,7	22,0	22,4	26,4	22,3	22,0

*Heizperiode März bis April 2013 und Oktober bis Februar 2014

Tabelle 20:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im OG von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	OG Ankleide	OG Du / WC	OG Eltern Bad / Du	OG Eltern WC	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2	OG Treppe	OG Schlafzimmer
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
März 12	21,5	21,5	21,0	21,4	21,4	21,4	20,4	21,3	20,7
Apr. 12	21,6	21,7	21,0	21,5	21,4	21,4	20,2	21,4	20,7
Mai 12	24,1	23,9	23,5	23,8	23,7	23,6	23,1	23,7	23,2
Juni 12	23,6	23,5	23,3	23,5	23,3	23,2	22,9	23,3	22,8
Juli 12	25,0	24,9	24,6	24,8	24,6	24,4	24,0	24,7	24,1
Aug. 12	26,2	26,1	25,6	25,8	25,8	25,5	25,4	26,1	25,3
Sep. 12	23,0	22,9	22,6	22,8	22,5	22,6	22,2	22,8	22,1
Okt. 12	21,6	21,5	21,4	21,6	20,7	21,2	20,5	21,7	20,9
Nov. 12	21,5	21,9	21,8	22,1	20,9	21,2	20,3	21,5	21,6
Dez. 12	21,9	22,9	22,9	23,1	21,7	21,8	21,3	22,3	22,2
Jan. 13	21,7	23,0	22,8	23,0	21,8	22,0	21,8	22,3	22,0
Feb. 13	21,8	23,2	23,0	23,2	22,1	22,1	22,2	22,7	22,1
Mittelwert Heizperiode*	21,7	22,2	22,0	22,3	21,4	21,6	21,0	21,9	21,4

*Heizperiode März bis April 2012 und Oktober bis Februar 2013

Tabelle 21:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im OG von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	OG Ankleide	OG Du / WC	OG Eltern Bad / Du	OG Eltern WC	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2	OG Treppe	OG Schlafzimmer
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
März 13	22,0	22,7	23,0	23,0	21,9	21,7	20,7	22,7	21,8
Apr. 13	23,3	23,8	23,9	23,9	22,9	22,8	21,7	23,6	22,6
Mai 13	24,1	24,5	24,5	24,5	23,5	23,5	22,5	24,1	23,1
Juni 13	25,4	25,6	25,5	25,5	24,8	24,7	24,0	24,5	25,3
Juli 13	26,8	26,7	26,5	26,6	26,3	26,0	25,7	25,9	26,7
Aug. 13	25,2	25,0	24,8	24,8	24,8	24,5	24,3	24,2	25,1
Sep. 13	23,0	23,2	23,0	23,1	22,4	22,5	21,8	22,1	23,0
Okt. 13	22,8	23,4	23,4	23,3	22,2	22,3	21,2	21,9	23,0
Nov. 13	22,2	22,8	23,1	23,0	21,7	21,7	20,5	21,6	22,4
Dez. 13	21,1	21,8	22,0	21,9	20,8	20,9	19,5	20,5	21,8
Jan. 14	21,0	21,5	21,8	21,7	20,7	20,8	19,3	20,4	21,5
Feb. 14	21,1	21,8	21,9	21,9	20,8	20,9	19,5	20,5	21,7
Mittelwert Heizperiode*	21,9	22,5	22,7	22,7	21,6	21,6	20,3	21,6	22,1

*Heizperiode März bis April 2013 und Oktober bis Februar 2014

Tabelle 22:
Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten im EG von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	EG Büro	Esszimmer	Flur Dusche	Flur Haustür	Flur Wohn- zimmer	Heizung	Küche	Wohnzimmer
	%	%	%	%	%	%	%	%
März 12	34,0	34,9	38,3	35,2	34,4	28,6	34,5	35,2
Apr. 12	35,1	35,8	39,6	35,7	35,3	26,7	35,4	36,3
Mai 12	41,2	42,4	45,3	41,7	42,1	31,1	41,6	42,8
Juni 12	46,4	47,9	50,3	46,6	47,8	33,1	47,2	47,8
Juli 12	45,7	48,1	50,0	46,8	47,7	33,6	47,4	48,2
Aug. 12	43,7	44,5	46,0	43,9	45,9	29,9	43,1	45,1
Sep. 12	42,7	44,2	46,4	43,9	44,3	32,1	43,0	44,9
Okt. 12	40,2	43,2	45,0	42,5	41,9	31,3	42,3	43,9
Nov. 12	31,8	36,3	38,2	35,8	33,1	27,5	36,3	36,4
Dez. 12	27,0	32,1	34,0	31,6	28,0	23,1	32,5	31,0
Jan. 13	24,9	29,7	32,0	29,1	26,1	22,1	30,1	28,8
Feb. 13	23,3	27,2	29,5	26,5	24,3	21,8	27,5	26,7

Tabelle 23:
Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten im EG von März 2013 bis Februar 2014 .

Monat	EG Büro	Esszimmer	Flur Dusche	Flur Haustür	Flur Wohn- zimmer	Heizung	Küche	Wohnzimmer
	%	%	%	%	%	%	%	%
März 13	21,5	23,1	25,2	23,2	22,0	20,3	23,7	23,2
Apr. 13	28,1	29,3	31,5	29,1	28,4	22,9	29,4	29,6
Mai 13	37,1	38,8	41,1	38,0	37,7	27,5	38,2	39,1
Juni 13	40,4	41,3	42,6	40,2	41,1	28,4	40,2	41,5
Juli 13	47,0	46,0	47,0	45,1	47,3	32,7	44,8	46,9
Aug. 13	44,3	43,8	45,0	43,3	45,2	29,0	42,6	44,7
Sep. 13	47,2	47,0	47,9	46,2	47,0	33,2	45,7	47,8
Okt. 13	44,2	44,0	45,7	43,5	43,3	33,2	43,5	44,3
Nov. 13	35,2	35,9	38,0	35,1	34,1	28,8	35,7	36,2
Dez. 13	32,0	32,7	35,0	32,5	31,5	28,3	33,0	32,9
Jan. 14	32,2	31,6	34,4	31,4	30,8	27,8	31,9	32,5
Feb. 14	31,1	30,5	33,3	30,3	29,7	25,8	30,6	31,8

Tabelle 24:
Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten im OG von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	OG Anklei- de	OG Du / WC	OG Eltern Bad / Du	OG Eltern WC	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2	OG Treppe	OG Schlaf- zimmer
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
März 12	35,5	35,5	36,8	36,0	36,0	35,2	37,9	35,6	37,2
Apr. 12	35,7	35,4	37,1	36,1	36,2	35,5	38,9	35,8	37,5
Mai 12	41,1	41,1	42,4	41,6	42,1	41,5	43,4	41,5	43,0
Juni 12	46,0	46,0	47,2	46,4	47,2	46,3	48,0	46,6	48,2
Juli 12	45,9	46,2	47,6	46,7	47,4	46,7	48,7	46,3	48,3
Aug. 12	43,1	43,0	44,9	44,0	44,1	44,0	44,7	42,7	45,1
Sep. 12	43,6	43,8	45,2	44,2	45,0	44,1	45,7	43,6	45,7
Okt. 12	44,3	44,5	45,7	44,6	47,0	45,0	47,4	43,7	46,0
Nov. 12	37,0	36,3	37,1	35,7	39,0	37,1	39,8	36,8	36,7
Dez. 12	32,3	30,5	30,8	29,8	33,2	32,1	33,4	31,5	31,3
Jan. 13	30,1	28,1	28,8	27,8	30,5	29,4	30,2	29,0	29,4
Feb. 13	26,8	24,8	25,3	24,6	26,8	26,0	26,1	25,1	26,1

Tabelle 25:
Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten im OG von März 2013 bis Februar 2014.

Monat	OG Anklei- de	OG Du / WC	OG Eltern Bad / Du	OG Eltern WC	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2	OG Treppe	OG Schlaf- zimmer
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
März 13	22,4	21,9	21,7	21,2	23,2	22,7	24,3	21,6	22,7
Apr. 13	28,0	27,2	27,3	26,9	28,9	28,7	30,7	27,2	28,9
Mai 13	35,9	34,9	35,2	34,8	37,4	36,9	39,3	35,3	37,5
Juni 13	38,3	37,4	38,2	37,7	39,7	39,5	41,2	39,8	37,9
Juli 13	43,5	43,0	44,6	43,9	44,8	44,9	46,0	45,2	43,3
Aug. 13	43,0	42,9	44,6	43,7	43,9	43,8	44,5	44,9	42,7
Sep. 13	45,7	44,8	46,1	45,5	47,1	46,4	48,6	47,5	44,9
Okt. 13	42,7	40,9	41,8	41,2	44,1	43,6	46,5	44,4	41,6
Nov. 13	35,0	33,8	33,7	33,3	36,1	35,9	38,5	36,1	34,2
Dez. 13	33,7	32,4	32,6	32,2	34,4	33,6	36,6	34,5	32,0
Jan. 14	33,3	32,3	32,4	31,9	33,9	33,0	36,5	34,1	31,9
Feb. 14	32,0	30,9	31,1	30,6	32,7	32,3	34,9	32,9	30,7