

# **Endbericht des Modellvorhabens Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität Nr. 1**

Energieeffizienter Neubau von Wohngebäuden - Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben (Phase 1)

## **Forschungsprogramm**

Auftragsforschung im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft BAU“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

## **Projektlaufzeit**

Oktober 2011 bis Juli 2014

## **Aktenzeichen**

SWD 10.08.17.7-11.71

## **im Auftrag**

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

## **bearbeitet von**

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

# Leuchtturmprojekt Nr. 15

Messtechnische und energetische Validierung des BMUB – Effizienzhauses Plus  
in Berlin

Abschlussbericht Messphase 1



IBP-Bericht WB 182/2015 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik

## **Forschungsprogramm**

“Zukunft Bau“, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

## **Projektlaufzeit**

Oktober 2011 bis Juli 2014

## **Aktenzeichen**

10.0817.7-11-71

## **im Auftrag**

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

## **bearbeitet von**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

Hans Erhorn

Antje Bergmann

Johann Reiß

Michael Beckert

Stuttgart, 27. März 2015

## Inhalt

1.	Kurzfassung .....	4
2.	Ausgangslage.....	5
3.	Projektdurchführung .....	6
3.1.	Beratung, Koordination und Kommunikation .....	6
3.2.	Überprüfung der energetischen Berechnungen und Nachweise .....	6
3.3.	Erstellung des Messkonzeptes.....	7
3.4.	Prüfung des Messsensoreneinbaus .....	10
3.5.	Kontinuierliche Kontrolle der Messdaten .....	13
4.	Projektergebnisse.....	13
4.1.	Messperioden.....	13
4.2.	Meteorologische Randbedingungen.....	13
4.2.1.	Solarstrahlung .....	13
4.2.2.	Außenlufttemperaturen.....	16
4.2.3.	Klimabereinigung.....	18
4.3.	Monatliche Energiebilanzen .....	19
4.3.1.	Energiequelle .....	19
4.3.2.	Energienutzung .....	20
4.3.3.	Kumulierte Endenergie .....	24
4.3.4.	Eigenstromnutzung.....	26
4.4.	Vergleich Messung und Berechnung nach DIN V 18599 einschl. Effizienzhaus Plus Standard.....	27
4.4.1.	Endenergie Gesamtgebäude.....	27
4.4.2.	Endenergie Wärmebereitung.....	29
4.4.3.	Endenergie gesamter Haushaltsstrom .....	30
4.4.4.	Endenergie Beleuchtung .....	32
4.4.5.	Endenergie Haushaltsgeräte .....	33
4.4.6.	Endenergie Kochen .....	34
4.4.7.	Endenergie sonstige Haushaltsprozesse .....	35
4.5.	Performance der Anlagentechnik .....	36
4.5.1.	Wärmeerzeuger.....	36
4.5.2.	Lüftungsanlage.....	40
4.6.	Innenraumtemperaturen Sommer .....	40
4.7.	Raumlufttemperaturen Winter .....	44

4.8.	Raumlftqualität.....	45
4.9.	Behaglichkeit.....	47
4.10.	Durchföhrung von Dichtheitstest und Thermografien .....	49
5.	Bewertung .....	50
5.1.	Energieeffizienz des Modellgebäudes.....	50
5.2.	Verbesserungspotential.....	50
6.	Literatur .....	51
7.	Anhänge.....	52

## 1. Kurzfassung

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), jetzt Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), hat in Berlin ein Modellgebäude als Piloten für die neue Förderinitiative „Effizienzhaus Plus“ errichten lassen. Mit diesem Modelhaus soll 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 im bewohnten Zustand messtechnisch erfasst und energetisch bewertet. Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse nach Ablauf einer zweieinhalbjährigen Messperiode.

Die Messungen zeigen, dass trotz ungünstiger meteorologischer Randbedingungen die Erträge aus den dach- und fassadenintegrierten Photovoltaikanlagen höher ausfielen als die Gebäudetechnik und die Nutzer im Laufe der Messperiode für den Gebäudebetrieb benötigten. Mit der überschüssigen Energie konnten etwa 25 % des Energiebedarfs der Elektromobile abgedeckt werden.

Die meteorologischen Randbedingungen in der Messperiode März 2012 bis Februar 2013 führten zu etwa 20 % (3.320 kWh) geringeren Solarstromerträgen aufgrund der real aufgetretenen geringeren mittleren monatlichen Strahlungsintensität. In der 2. Messperiode von März 2013 bis Februar 2014 waren die Solarstromerträge um ca. 24 % (3.981 kWh) geringer als vorherberechnet.

Die Energieverbräuche im Gebäude lagen im 1. Messzeitraum etwa 75 % und im 2. Messzeitraum um ca. 50 % höher als vorherberechnet. Dies lag im Wesentlichen an Ineffizienzen im Bereich der Wärmebereitstellung, aufgrund deutlich höherer Systemtemperaturen als geplant, an der nicht bedarfsgeregelten Außenluftmenge der Lüftungsanlage bzw. deren ganzjährigem Betrieb und an höheren Stromverbräuchen als angenommen im Haushaltsbereich.

Die Ergebnisse der ersten Betriebsjahre 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.

## Summary

Within the framework of the new funding programme “Efficiency House Plus”, the German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development - BMVBS (now Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety - BMUB) commissioned a pilot building to be constructed in Berlin. In the scope of this pilot project, various components of energy efficient buildings have been tested, collecting experience for the market launch. As part of a monitoring programme, data of the occupied building is recorded and evaluated with regard to its energy use by the Fraunhofer Institute for Building Physics. The present report describes the results obtained after a two-and-a-half-year monitoring period.

The collected data shows that -despite adverse meteorological conditions - the energy gains from the roof- and façade-integrated photovoltaic components exceeded the amount of energy used by appliances and the inhabitants of the house. Almost 25 % of the electricity need for the electric vehicles could be covered by the excess

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

energy. Due to the meteorological conditions prevailing in the monitoring period from March 2012 to February 2013, the solar power yield failed to reach the predicted yield by about 20 % (3,320 kWh). This lack was caused by the actually measured lower mean monthly radiation intensity. In the second measuring period from March 2013 to February 2014 the actual solar power yields were approximately 24 % (3,981 kWh) less than calculated.

After the first monitoring period, the building's energy consumption was found to be about 75 % higher than predicted; after the second monitoring period the building's energy consumption was approx. 50 % higher than calculated before. This was mainly caused by inefficiency of the heat supply (with significantly higher system temperatures than planned), by the demand-independent control of the external air-supply volume-flow of the ventilation system, by the year-round operation of the ventilation system and by energy consumptions that were higher than expected.

As the results of the first years of operation clearly show, it is mandatory for high-efficiency buildings to include a phase of monitoring and adjustment so as to make sure that the planned key values will actually be attained.

## **2. Ausgangslage**

Das ehemalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), jetzt Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit (BMUB) hat in den letzten Jahren im Rahmen der „Forschungsinitiative Zukunft Bau“ Forschungs- und Entwicklungsthemen auf den Gebieten des energieeffizienten Bauens und der Nutzung von erneuerbaren Energien im Gebäudebereich unterstützt. Unter anderem wurden Konzepte entwickelt und erprobt, durch die moderne Gebäude mehr Energie produzieren als sie selbst für ihren Betrieb benötigen. Die verschiedenen hauseigenen Anlagen zur Stromgewinnung decken nicht nur den Stromverbrauch im häuslichen Bereich, sondern speisen auch noch das dazugehörige Elektromobil. Ein entsprechendes Modellgebäude hat das ehemalige BMVBS in Berlin errichtet. Mit diesem Modellhaus sollen die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Komponenten erprobt und Erfahrungen für die Breitenanwendung gesammelt werden. Für Besucher bietet das Haus eine Gelegenheit, sich aus erster Hand zu informieren und dafür zu begeistern und zu sehen, was heute schon möglich ist. Das Projekt entwickelt sich zu einem Schaufenster für die Fachöffentlichkeit und die Bevölkerung und veranschaulicht den Stand der Technik. Außerdem zeigt das Modellgebäude die Entwicklung des zukünftigen Bauens mit der Verknüpfung von modernem Stromnetz mit variablen Preisen sowie mit dem angeschlossenen Elektrofahrzeug die Möglichkeiten der neuartigen Mobilität. Daraus ergeben sich neue Herausforderungen an die Architektur der Gebäude, die Energieversorgung und an die Mobilität.

Das Gebäude war von März 2012 bis Juni 2013 von einer ersten Testfamilie bewohnt, danach war es bis Ende April 2014 für die Öffentlichkeit zugänglich und diente als Ausstellungs- und Veranstaltungszentrum. Seit Mai 2014 wird das Effizienzhaus Plus von einer weiteren Testfamilie bewohnt.

Für die messtechnische und energetische Validierung des Gebäudes wurde ein Begleitforschungsvorhaben zur wissenschaftlichen Unterstützung des ehemaligen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) eingerichtet. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) wurde mit dieser Aufgabe beauftragt. Die durchzuführenden Arbeiten können in folgende Themenfelder eingeteilt werden:

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

- Beratung, Koordination und Kommunikation
- Überprüfung der energetischen Berechnungen und Nachweise
- Erstellung des Messkonzeptes
- Prüfung des Messsensoreinbaus
- Kontinuierliche Kontrolle der Messdaten
- Auswertung der Messdaten
- Durchführung von Dichtheitstests und Thermografien

### 3. Projektdurchführung

#### 3.1. Beratung, Koordination und Kommunikation

Das IBP stand regelmäßig in Kontakt mit dem Bauherrn und beriet ihn bei auftretenden Fragestellungen. Während der Projektlaufzeit haben hierzu Besprechungen in Berlin und Stuttgart (Juli / September 2012, Februar / Juni / August 2013, April 2014) sowie diverse Telefonkonferenzen stattgefunden.

#### 3.2. Überprüfung der energetischen Berechnungen und Nachweise

Die EnEV-Berechnungsunterlagen des Generalplaners nach DIN V 18599 liegen dem IBP mit Entwurfsstand vom 24. Juni 2011 und aktualisiert vom 5. März 2012 umfänglich seit Mai 2012 vor und wurden geprüft. Das IBP hat auf Bitten des Bauherrn ein ergänzendes Informationsblatt zum Energieausweis (gemäß §17, EnEV) entwickelt, mit dem die Darstellung des Plusenergielevels möglich ist. Das Informationsblatt wurde zur Wiedereröffnung im Juni 2013 im Gebäude ausgehängt und ist im Anhang 1 gezeigt.

Die während der Planungsphase des Effizienzhauses Plus auf der Grundlage der EnEV-Berechnung vom 24. Juni 2011 durchgeführte Prognose für den Endenergiebedarf sowie die Energiedeckung durch Photovoltaikstrom zeigt Tabelle 1.

Bedarf			Deckung		
Komponente	Strombedarf		Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]*		[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]**
E-Mobilität	6.000		PV-Dach	11.578	117,9
Elektrische Geräte Beleuchtung	2.500	17,0	PV-Fassade	5.047	69,2
Warmwasser Heizung, Lüftung	6.880	46,8	**) bezogen auf die PV-Modulfläche Dach - 98,2 m <sup>2</sup> bzw. auf die PV-Modulfläche Fassade - 73,0 m <sup>2</sup>		
*) bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche A <sub>N</sub> = 147 m <sup>2</sup>					
Gesamt	15.380 kWh/a		Gesamt	16.625 kWh/a	

Tabelle 1: Vorherberechnung des Energiebedarfs und der Energieerzeugung des Effizienzhauses Plus in Berlin (Stand Juni 2011).

Nach Überarbeitung der EnEV-Berechnung im März 2012 wurde die Tabelle aktualisiert (Tabelle 2). Gemäß der Vorherberechnung mit dem in DIN V 18599 angegebenen Berechnungsalgorithmus weist das Gebäude einen jährlichen Endenergiebedarf für den Betrieb der Wärmepumpe zur Beheizung und Warmwasserbereitung von 2.217 kWh und einen Hilfsenergiebedarf für den Betrieb der Regelung, der Pumpen und der Ventilatoren des Heizungs-, Warmwasser- und Lüftungssystems von 2.275 kWh/a auf. Der vorher berechnete Endenergiebedarf beträgt somit 4.492 kWh/a. Daneben besteht ein Endenergiebedarf für die Haushaltsgeräte und -prozesse sowie für die Beleuchtung von 2.500 kWh/a, mit den Anteilen

- Haushaltsgeräte: 1.625 kWh/a (davon Kochen 375 kWh/a),
- Haushaltsprozesse (sonstiges): 500 kWh/a,
- Beleuchtung: 375 kWh/a.

Die Photovoltaikanlagen sollen gemäß Vorherberechnung jährlich 16.525 kWh Strom erzeugen. Die Überschüsse stehen für den Betrieb der Elektromobile zur Verfügung und werden darüber hinaus ins öffentliche Netz eingespeist.

Bedarf			Deckung		
Komponente	Strombedarf		Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/m²a]*		[kWh/a]	[kWh/m²a]**
E-Mobilität	6.000		PV-Dach	11.578	117,9
Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser	2.275	11,2	PV-Fassade	5.047	69,2
Elektrische Geräte Beleuchtung	2.500	12,3	**) bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 98,2 m² bzw. auf die PV-Modulfläche Fassade 73,0 m²		
Warmwasser Heizung	2.217	10,9			
*) bezogen auf die Gebäudenutzfläche 203 m²					
Gesamt	12.992 kWh/a		Gesamt	16.625 kWh/a	

Tabelle 2: Vorherberechnung des Energiebedarfs und der Energieerzeugung des Effizienzhauses Plus in Berlin.

Die Darstellung des Endenergiebedarfs und der Energiedeckung sind unter anderem Bestandteil des im Internet veröffentlichten standardisierten Steckbriefs des Gebäudes [1] im Netzwerkbereich des BMUB.

### 3.3. Erstellung des Messkonzeptes

In einem Messkonzept wurden vier Messebenen entwickelt, die das Innenraumklima im Erd- und Obergeschoss sowie die Daten für die Elektro- und Wärmeversorgung aufzeichnen. Die Messkonfiguration ist auf den nachfolgenden Skizzen gezeigt. Zur Bestimmung des Innenraumklimas werden in den einzelnen Räumen des Erd- und Obergeschosses die Parameter Temperatur, relative Luftfeuchte und CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft, wie in Abbildung 1 und Abbildung 2 gezeigt, gemessen.



## INNENRAUMKLIMA – ERDGESCHOSS



Abbildung 1: Darstellung der Messsensorensymbole in den einzelnen Räumen des Erdgeschosses.

## INNENRAUMKLIMA – OBERGESCHOSS

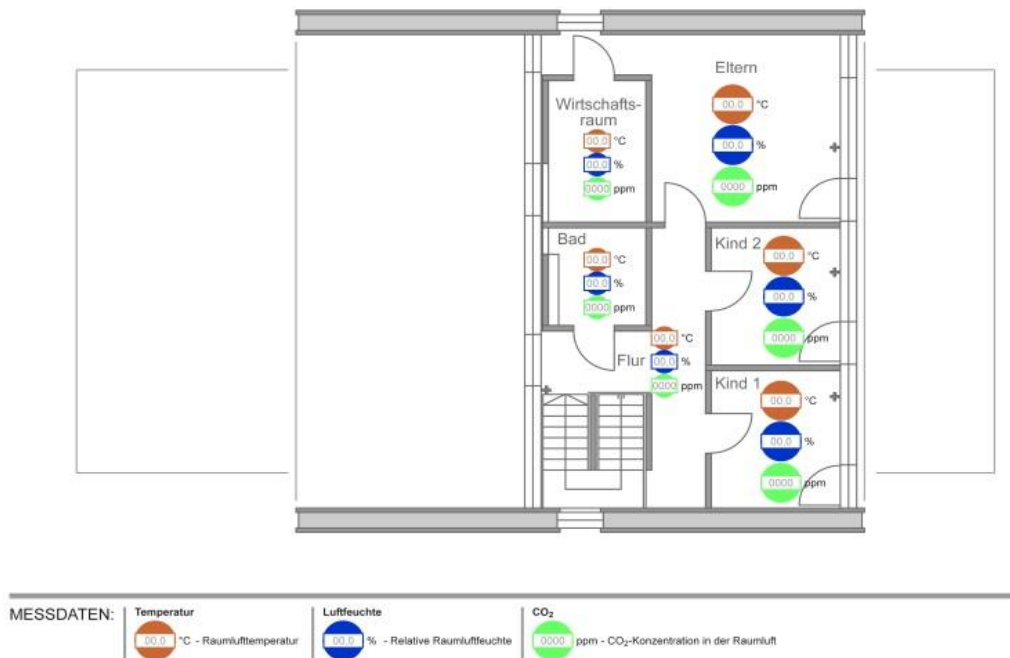


Abbildung 2: Darstellung der Messsensorensymbole in den einzelnen Räumen des Obergeschosses.

Die Stromverbräuche für die Elektroversorgung des Hauses wie Heizung, Trinkwarmwasser und Haushaltsstrom sowie die Erträge aus erneuerbaren Energien werden durch die Messkonfiguration Elektroversorgung erfasst (Abbildung 3). Hier werden auch die Wetterdaten des Außenklimas wie Temperatur, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung horizontal und vertikal aufgenommen.

## ELEKTROVERSORGUNG

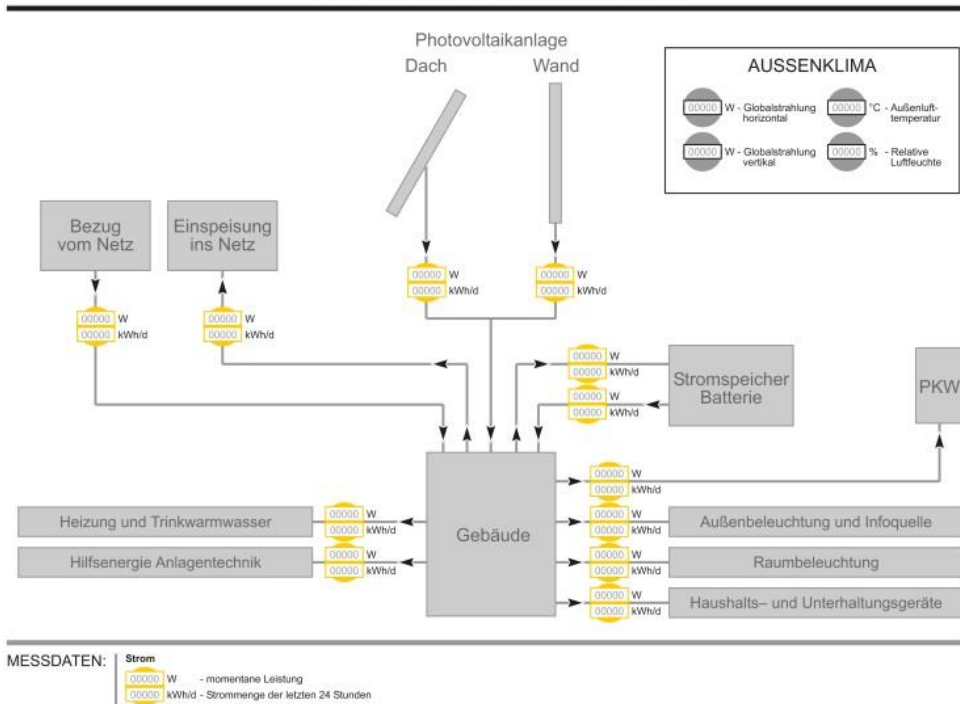


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Elektroversorgung und Angabe der Messsensorensymbole für die Erfassung von Elektroenergie und Außenklima.

Die Messkonfiguration der Wärmeversorgung, dargestellt in Abbildung 4, erfasst die Daten der Wärmeerzeugung für Heizen, Trinkwarmwasserbereitstellung und die Lüftungsanlage.

## WÄRMEVERSORGUNG

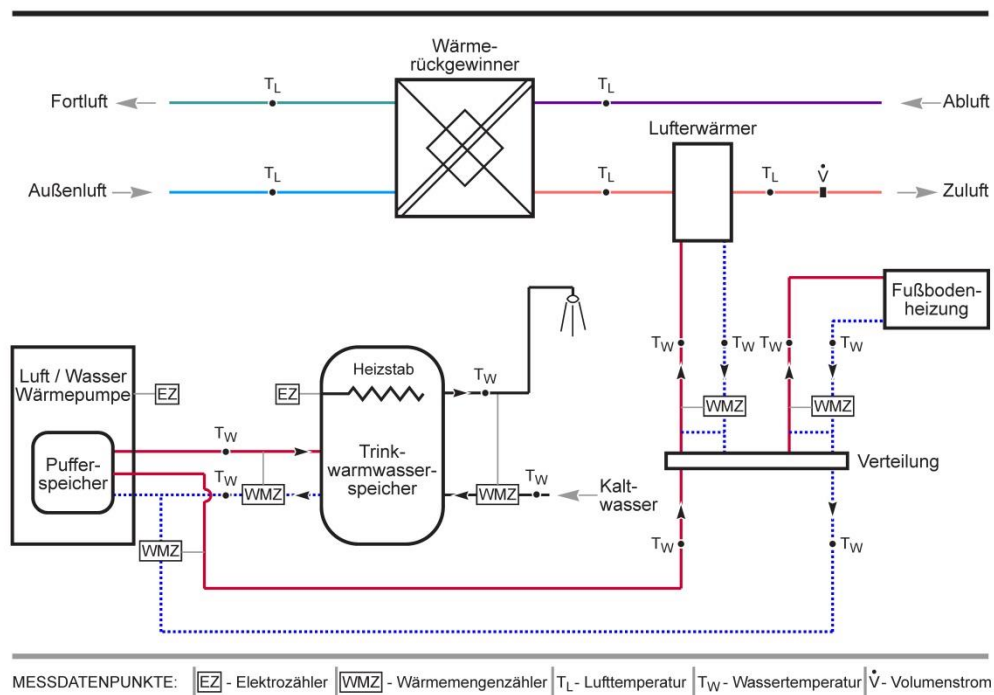


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Wärmeversorgung und Angabe der Messsensorensymbole für die Erfassung von Wärme- und Stromverbräuchen von März 2012 bis Dezember 2013.

Im Januar 2014 wurde die Wärmepumpe ausgetauscht und es ergibt sich eine leicht veränderte Messkonfiguration, die in Abbildung 5 dargestellt ist.

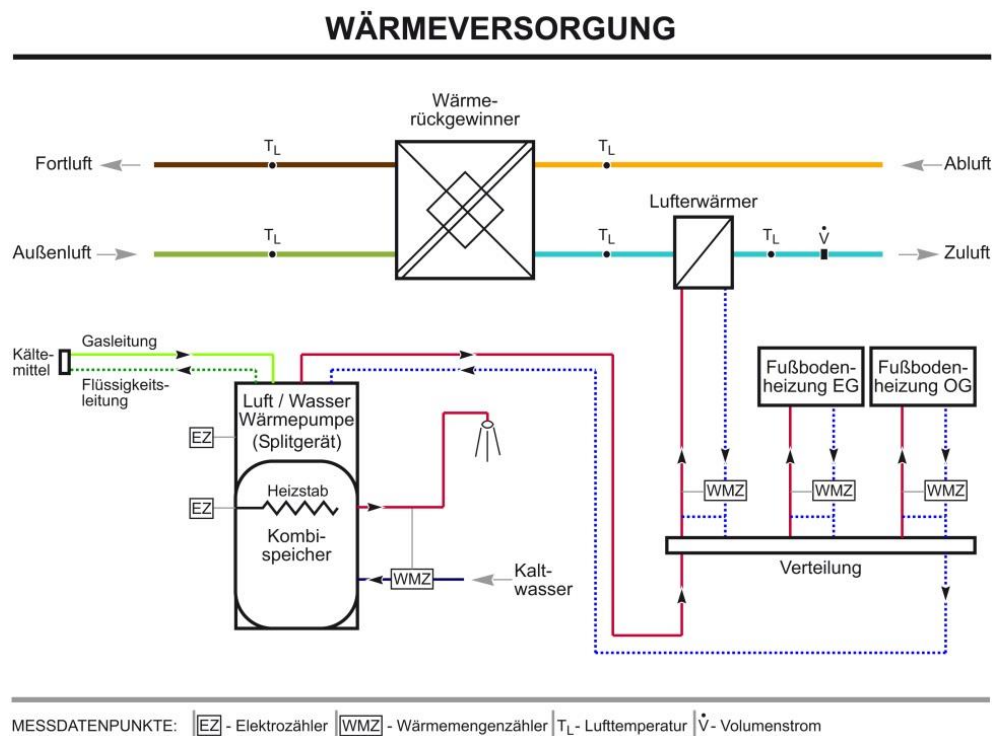


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Wärmeversorgung und Angabe der Messsensorensymbole für die Erfassung von Wärme- und Stromverbräuchen ab Januar 2014.

Die Luft-Wasser-Wärmepumpe mit integriertem Pufferspeicher und zusätzlichem Trinkwarmwasserspeicher mit Heizstab wurde durch eine modulierende Split-Luft-Wasser-Wärmepumpe mit integriertem Pufferspeicher und Heizstab ersetzt. Der zusätzliche Trinkwarmwasserspeicher ist entfallen. Die Wärmepumpe bedient nun vier Heizkreise: Heizkreis 1 (Lufterwärmer Zuluft), Heizkreis 2 (Fußbodenheizung Obergeschoss), Heizkreis 3 (Trinkwarmwasserbereitung) und Heizkreis 4 (Fußbodenheizung Erdgeschoss).

### 3.4. Prüfung des Messsensoreneinbaus

Die installierten Sensoren werden kontinuierlich anhand der Messergebnisse auf Ihre Funktionstüchtigkeit geprüft. Die für die Veröffentlichung im Internet vorgesehenen Onlinedaten wurden in der Einregulierungsphase (Dezember 2011 bis März 2012) kontinuierlich auf Stimmigkeit und Zuverlässigkeit geprüft. Nach Einzug der Testfamilie, im Gebrauchszustand, zeigten sich im Laufe des Monitorings Unstimmigkeiten bei der Messwertfassung. Es wurden teilweise Werte nicht angezeigt bzw. waren unrealistisch. Ein zur Prüfung erarbeiteter Fragenkatalog wurde durch das Gebäudemanagement bearbeitet, das Ergebnis ist in Tabelle 3 gezeigt. Eine Prüfung der belegten Steckdosen durch Leuchten, durchgeführt im Rahmen der Beantwortung des Fragenkatalogs am 20. Februar 2013 konnte nicht vollständig abgeschlossen werden. Um die Energieverbräuche im Haus eindeutig ihren Verbrauchern zuordnen zu können, wurde empfohlen, für die Steckdosen, deren Werte nicht explizit angezeigt werden, geeignete Wandler einzubauen. Ein Ergebnis über die Durchführung dieser Maßnahme liegt dem begleitenden Monitoringpartner nicht vor.

Nr.	Art	Bemerkung	Ergebnis Prüfung
Steckdosen			
1	RP 106	Anzeige auf GLT = 187.904,81 kWh, prüfen; Wert zu hoch, bei Treffen 10. September 2012 war diese Steckdose unbelegt.	15:22 Steckdose über Küchenschrank für Repeater (wird nicht benutzt). Zählwert entsteht durch Fehler im System und springt somit auf diesen Wert. 4 A - 925 W / 7,85 A - 1.815 W.
2	152 Treppe 09	Anzeige = 0, auf Funktionsfähigkeit prüfen (gibt es hier Stromabnehmer z. B. Staubsauger?).	16:59 dimmbare Steckdose Flur OG (wird nicht genutzt). 0,1 A - 25 W (Belastung mit Lavalampe).
3	Repeater 110	Wie RP 106 Anzeige auf GLT = 187.904,81 kWh, prüfen, da Wert zu hoch, bei Treffen 10. September 2012 war diese Steckdose unbelegt.	15:37 Steckdose über Flurregal für Repeater (wird nicht benutzt). Zählwert entsteht durch Fehler im System und springt somit auf diesen Wert. 8,1 A - 1.880 W / 4,1 A - 960 W.
4	Bad 109	Anzeige auf GLT = 0, auf Funktionsfähigkeit prüfen (hier wird Föhn, elektr. Zahnbürste benutzt).	15:42 Steckdose Bad (Wandler spricht bei Minderleistung nicht an, angeschlossene Geräte sind z. B. Zahnbürste usw.). 8 A - 1.850 W / 4,05 A - 945 W.
5	Kind 1	Anzeige auf GLT = 0,1 kWh, der Wert erscheint zu niedrig, alle Dosen in Kind1 auf Funktionsfähigkeit prüfen.	15:48 Steckdose Kind 1 (Wandler spricht bei Minderleistung nicht an, angeschlossene Geräte sind z. B. Radio usw.). 7,85 A - 1.800 W / 4,05 A - 925 W.
6	Kind 2	Zur Kontrolle Steckdosen auf Funktionsfähigkeit prüfen (2 Stück).	15:51 Steckdose Kind 2, beide Steckdosen in Ordnung. 7,8 A - 1.790 W / 3,95 A - 910 W.
7	Eltern	Zur Kontrolle Steckdosen auf Funktionsfähigkeit prüfen (4 Stück).	15:54 3 Steckdosen geprüft (eine nicht zugänglich). 8 A - 1.840 W / 4,1 A - 945 W
8	HWR	Laut GLT-Ausdruck befinden sich im HWR drei Steckdosen: Steckdose 131 (Waschmaschine), Steckdose 132 (Trockner) und Steckdose HWR. 131 und 132 zeigen plausible Werte, Steckdose HWR Anzeige auf GLT = 0 (gibt es hier keine Stromabnehmer z.B. Bügeleisen?), diese auf Funktionsfähigkeit prüfen.	16:11 3-fach-Steckdose gehörte ursprünglich zum Zähler Elektromobilität für die Fahrradladung (Fahrräder werden aber draußen oder im Energiekern aufgeladen und über die 4 Zähler der Elektromobilität erfasst, darum wurde dann die 3-fach-Steckdose auf den Zähler der Steckdose 110 RP gelegt (Wandler spricht bei Minderleistung nicht an, angeschlossene Geräte sind z. B. Telefon usw.). 8 A - 1825 W.

Nr.	Art	Bemerkung	Ergebnis Prüfung
Licht			
9	Treppe / Flur EG	Anzeige auf GLT = 0, auf Funktionsfähigkeit prüfen.	Licht funktioniert, keine Zählung über GLT.
10	Treppe / Flur OG	Anzeige auf GLT = 0, auf Funktionsfähigkeit prüfen.	Licht funktioniert, keine Zählung über GLT.
11	Essen	Auf Funktionsfähigkeit prüfen.	Licht funktioniert, Zählung über GLT in der Abbildung Wohnen.
12	Wohnzimmer	Auf Funktionsfähigkeit prüfen.	Licht funktioniert, keine Zählung über GLT.
13	LED	Anzeige auf GLT = 0, bitte prüfen.	Effektbeleuchtung (funktioniert nicht, muss überprüft werden).
PV-Anlage			
14	PV-Gesamt aus SMA-Webbox	Der registrierte Wert im Messwerterfassungssystem bleibt seit geraumer Zeit bei 9.552,27 kWh stehen und wird nicht aktualisiert.	wird weiterhin nicht aktualisiert, hat vor Ort auch keine Anzeige, Problemlösung über Hr. Walther.
sonstiges			
15	Fensterstatus Wohnen / Essen	Es wird kein Fensterstatus übermittelt. Bitte Funktionalität aktivieren.	Fensterkontakt Essen in Ordnung. Fensterkontakt Wohnen funktioniert nicht (ist meines Wissens nach schon seit Dezember 2011 ein Problem).
16	Betriebszeit Pumpen	Bitte Betriebszeit für Pumpen RLT und FBH erfassen.	Betriebszeit Pumpe RLT: 541 h. Betriebszeit Pumpe FUBO: keine separate Erfassung vorhanden.

Tabelle 3: Fragenkatalog zu Messstellen.

### 3.5. Kontinuierliche Kontrolle der Messdaten

Die Messdaten werden wöchentlich ausgelesen und zu monatlichen Bilanzen zusammengefasst. Hierbei durchlaufen die Daten eine erste Prüfroutine hinsichtlich Zuverlässigkeit. Neben Messausfallzeiten werden hier auch fehlende Messwerte registriert, wie unter 3.4. ausgeführt.

## 4. Projektergebnisse

### 4.1. Messperioden

Die Messwerte wurden seit dem Bezug des Hauses im März 2012 kontinuierlich übermittelt. Seit diesem Zeitpunkt wurden ausgewählte Ergebnisse online auf der Webseite des ehemaligen BMVBS, jetzt BMUB, dargestellt. Aus der Projektlaufzeit (Oktober 2011 bis Juli 2014) und dem Beginn der Messwerterfassung (März 2012) ergeben sich die in Tabelle 4 dargestellten drei Messperioden.

Messperiode	Zeit	Nutzung
1	März 2012 - Februar 2013	Testfamilie 1.
2	März 2013 - Februar 2014	Testfamilie 1 (bis Juni 2013), Veranstaltungen + Ausstellungen (ab Juli 2013).
3	März 2014 - Juli 2014	Veranstaltungen + Ausstellungen (bis April 2014), Testfamilie 2 (ab Mai 2014).

Tabelle 4: Messperioden.

### 4.2. Meteorologische Randbedingungen

In den drei Messperioden März 2012 bis Februar 2013, März 2013 bis Februar 2014 und März 2014 bis Juli 2014 wurden jeweils meteorologische Daten am Standort des Gebäudes in Berlin, Fasanenstraße 87, aufgezeichnet und mit den Werten der Station Potsdam (Strahlungsdaten) bzw. der Station Tegel (Temperaturdaten) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie den Klimadaten des Referenzklimas für Deutschland, das der EnEV-Berechnung zu Grunde liegt, verglichen.

#### 4.2.1. Solarstrahlung

Der Ertrag der Photovoltaikanlage ist maßgeblich von der Strahlungsintensität der Solarstrahlung und der Effizienz der PV-Module abhängig. Die im Monitoringzeitraum aufgezeichneten monatlichen Strahlungsintensitäten der Wetterstation des Gebäudes in Berlin, des Deutschen Wetterdienstes in Potsdam sowie die Werte des Referenzklimas nach EnEV 2009 sind für die ersten zwei Messperioden in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt. Es zeigen sich Abweichungen zwischen gemessener Strahlung und Referenzklima für die Monate April bis August, die im Jahr 2012 / 2013 höher ausfallen als im Jahr 2013 / 2014. Das Referenzklima weist jeweils eine höhere mittlere monatliche Strahlungsintensität auf. Die auf dem Dach des Gebäudes gemessene Strahlungsleistung ist jeweils etwas kleiner als die vom Deutschen Wetterdienst in Potsdam gemessene. Dies kann zum Teil darauf  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

zurückgeführt werden, dass im Süden des Gebäudes ein Baum steht, der deutlich höher ist als das Niveau der Gebäudedachfläche. Es wird dadurch sozusagen eine Teilfläche des Himmels abgedeckt, was zu einer etwas geringeren Diffusstrahlung führt.

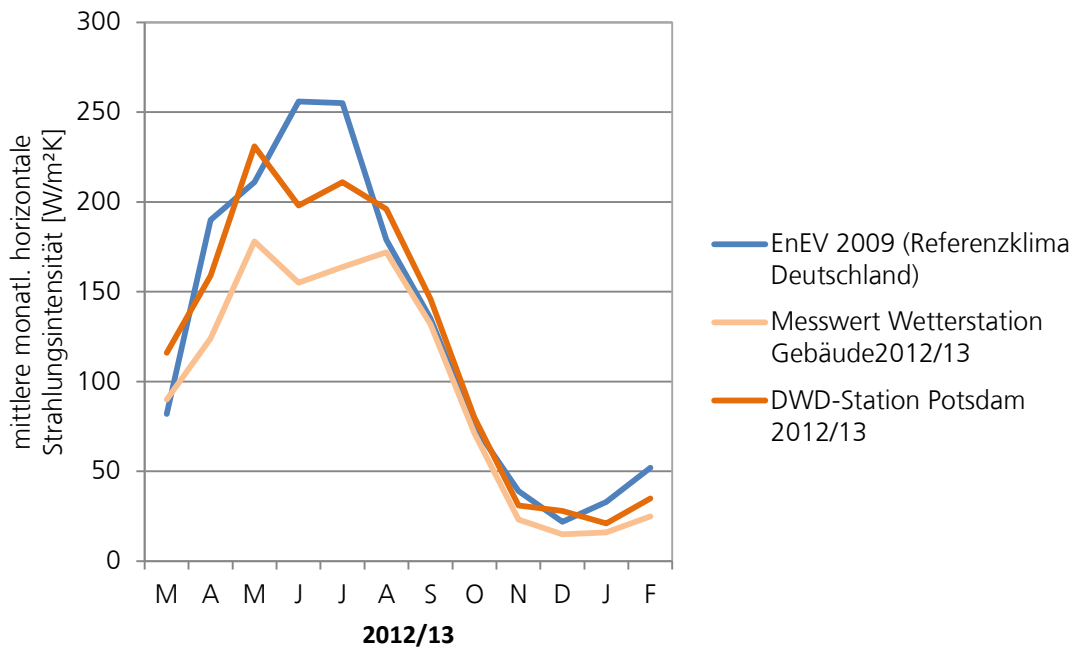


Abbildung 6: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

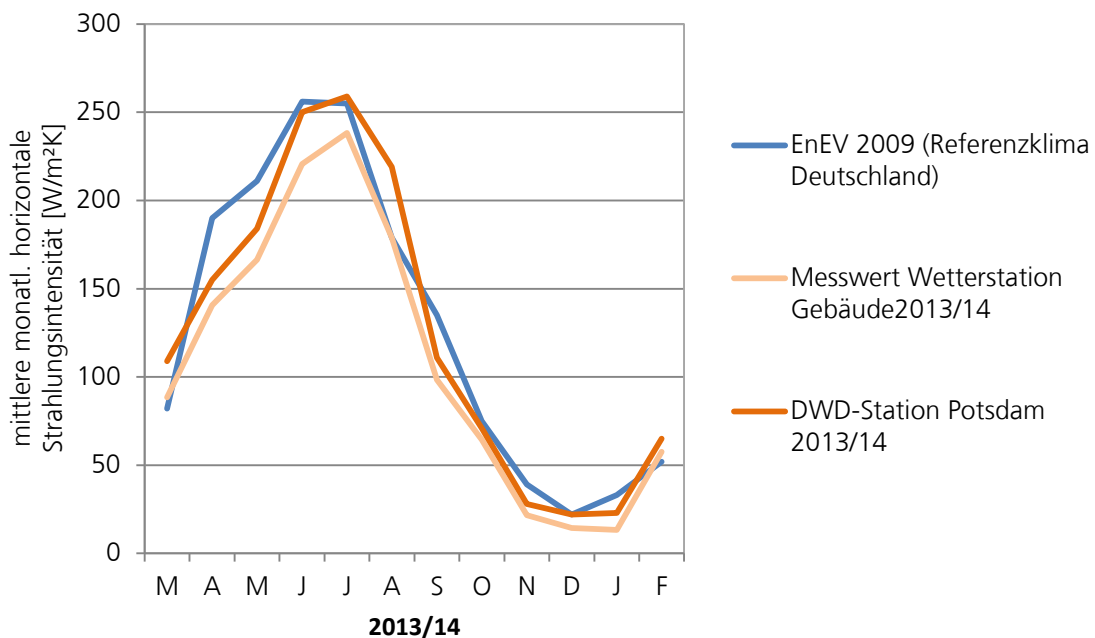


Abbildung 7: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

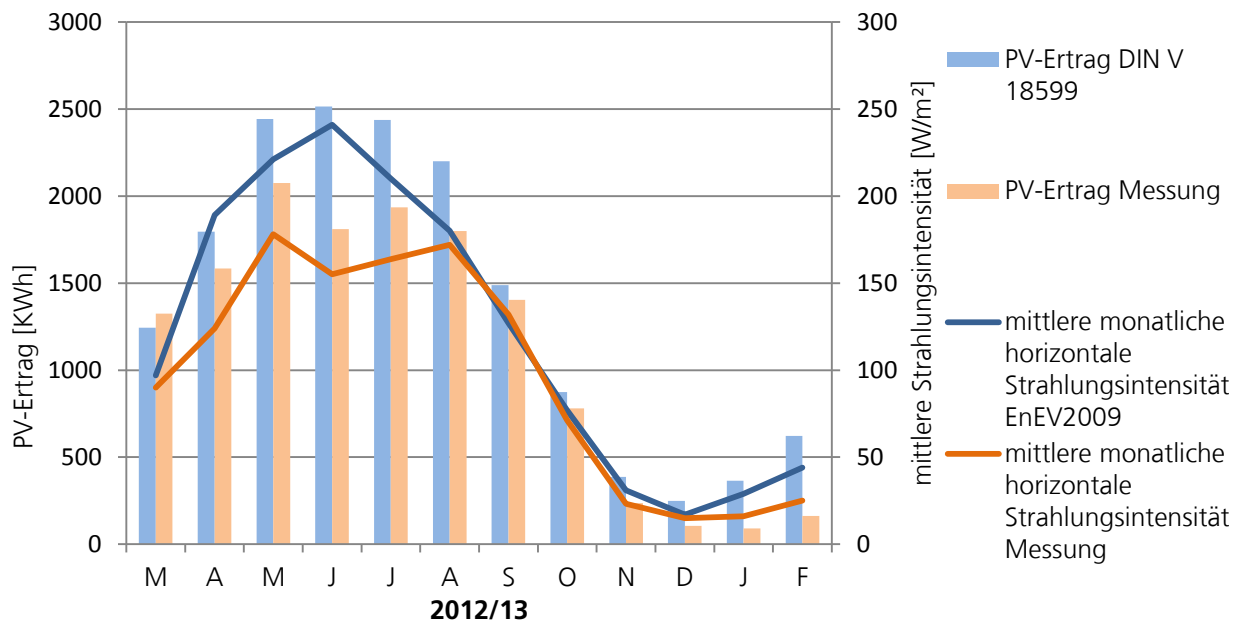


Abbildung 8: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensität und Stromerträge aus der PV-Anlage für das Jahr 2012 / 2013.

Der vor Ort gemessene Gesamtertrag der Photovoltaikanlage und der Ertrag der PV-Anlage nach der Berechnung nach DIN V 18599 sowie die mittleren Strahlungsintensitäten der Wetterstation des Gebäudes der Vorgaben des Referenzklimas zeigt für das Messjahr 2012 / 2013 Abbildung 8 und das Jahr 2013 / 2014 Abbildung 9. Gemäß den Vorherberechnungen nach EnEV 2009 liefert die Photovoltaikanlage einen Ertrag von 16.625 kWh pro Jahr. Im 1. Messjahr wurde ein Ertrag von 13.306 kWh gewonnen, das sind etwa 20 % weniger als prognostiziert.

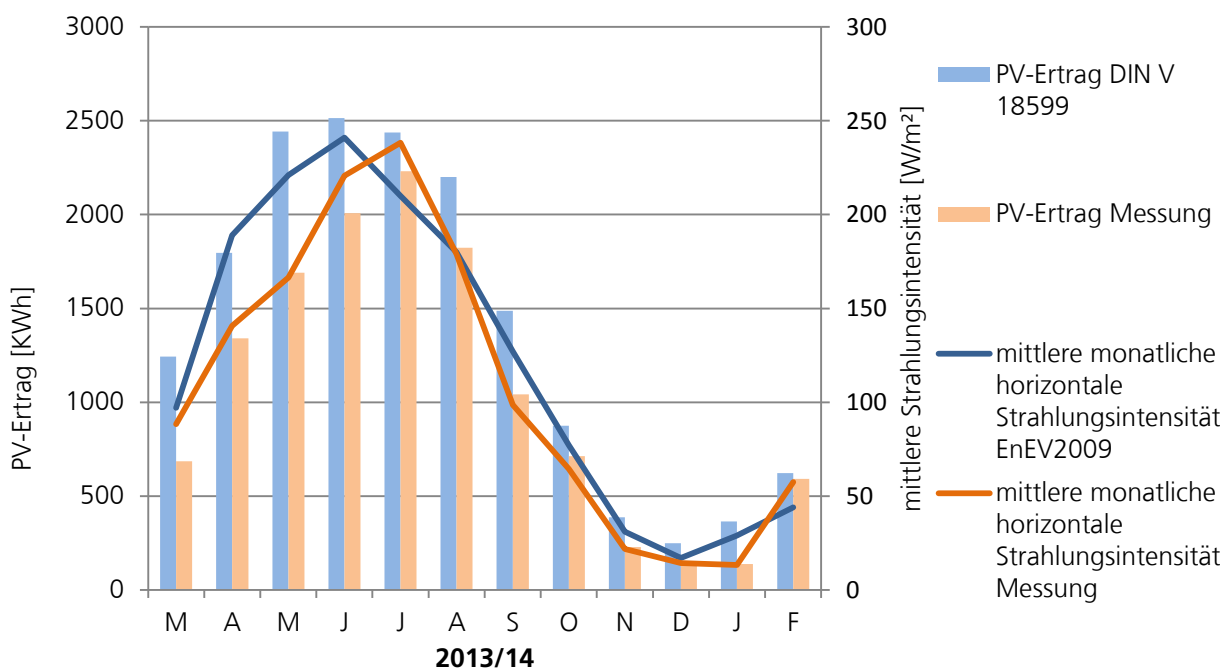


Abbildung 9: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensität und Stromerträge aus der PV-Anlage für das Jahr 2013 / 2014.



Im 2. Messjahr wurde von der PV-Anlage ein Ertrag von 12.644 kWh gewonnen, das sind etwa 24 % weniger als prognostiziert. Die Aufteilung der erzeugten Stromerträge auf die PV-Module im Dach- und Wandbereich war ab August 2012 möglich und ist in Abbildung 10 für das 1. Messjahr und in Abbildung 11 für das 2. Messjahr gezeigt.

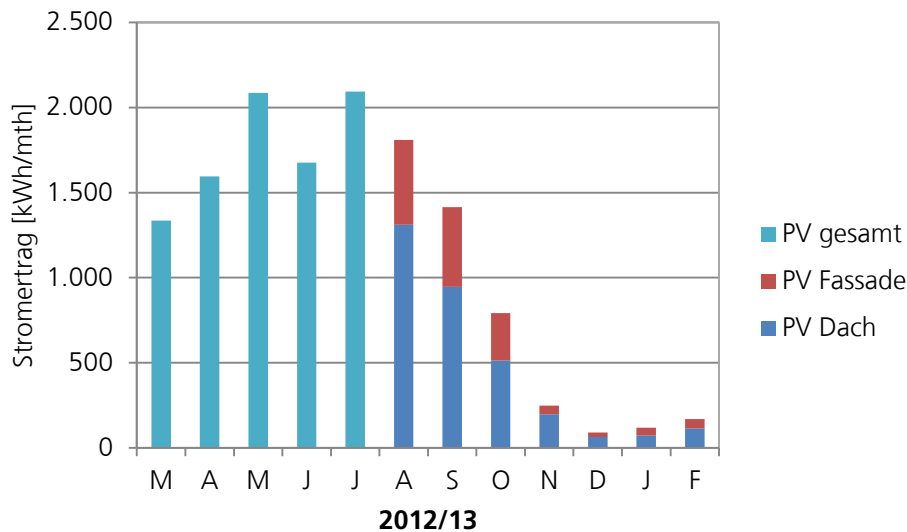


Abbildung 10: gemessene Stromerträge der einzelnen PV-Elemente im Jahr 2012 / 2013.

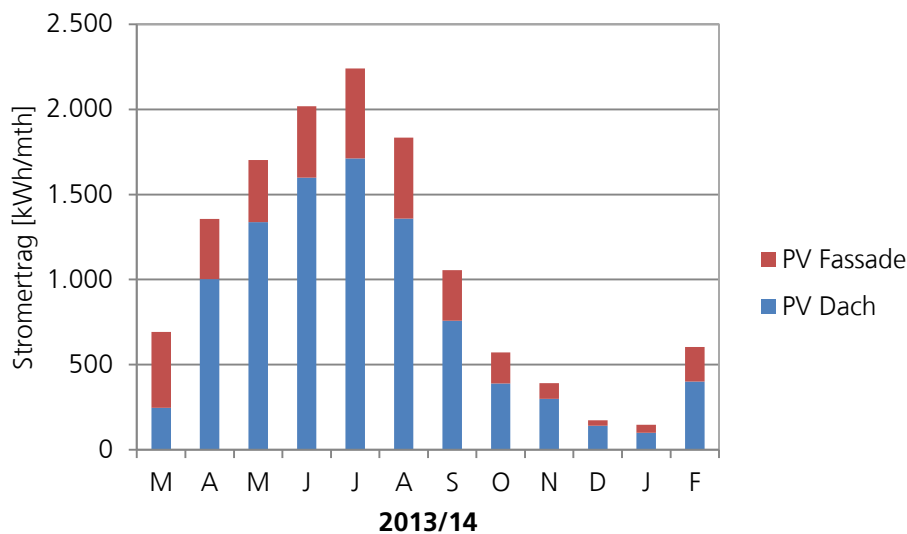


Abbildung 11: gemessene Stromerträge der einzelnen PV-Elemente im Jahr 2013 / 2014.

#### 4.2.2. Außenlufttemperaturen

Der Energiebedarf eines Gebäudes hängt wesentlich von der Außenlufttemperatur und der Solarstrahlung ab. Da bei der Berechnung des Energiebedarfs nach der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) ein mittleres Klima in Deutschland herangezogen wird (Referenzklima Deutschland), wird das während der Messperiode vorhandene Klima, hier Wetterstation am Gebäude und Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes in Tegel, dem Referenzklima gegenübergestellt. Wie Abbildung 12 zeigt, sind im Messzeitraum 2012 / 2013 die Außenlufttemperaturen am Gebäude von März 2012 bis November 2013 höher als das Referenzklima.

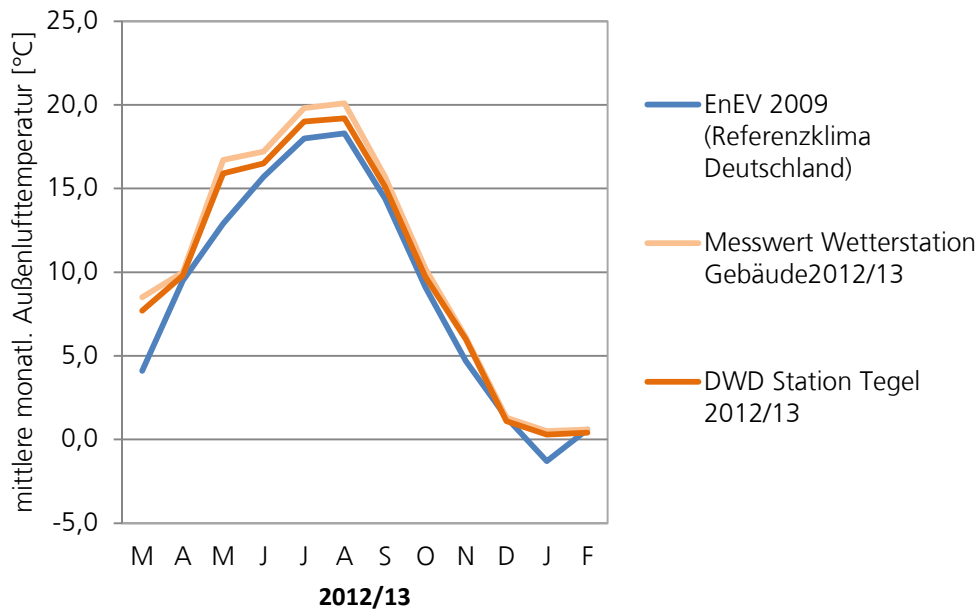


Abbildung 12: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Für den Messzeitraum 2013 / 2014 sind die gemessenen und vorgegebenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen in Abbildung 13 gezeigt. Bis auf den März 2013 war die Außenluft deutlich wärmer als im Referenzklima festgelegt.

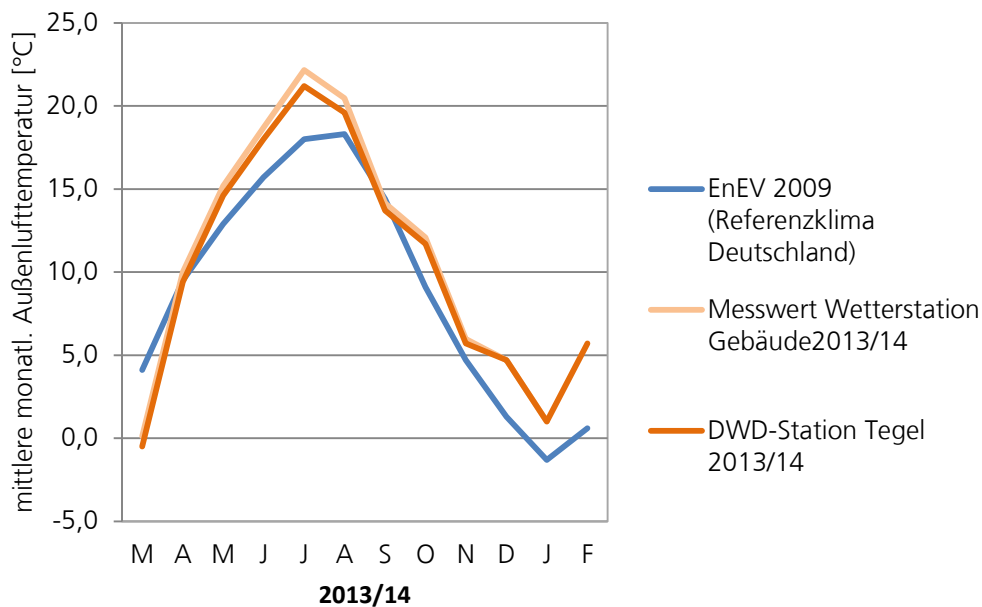


Abbildung 13: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2013 bis Februar 2014.

### 4.2.3. 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 1. und 2. Messzeitraum ermittelten Gradtagzahlen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20 / 12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Berlin in der Messperiode von März 2012 bis Februar 2013	3.236
Gradtagzahl am Standort Berlin in der Messperiode von März 2013 bis Februar 2014	3.310
Gradtagzahl am Standort Berlin für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	3.304
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Tabelle 5: Gradtagzahlen für den Standort Berlin und Referenzklima Deutschland.

In der ersten Messperiode (März 2012 bis Februar 2013) war das Wetter wärmer als im langjährigen Mittel am Standort Berlin und auch wärmer als unter mittleren deutschen Klimaverhältnissen üblich. Es ergeben sich daraus folgende Klimafaktoren:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Berlin:  $KF = 3.304 \text{ Kd} / 3.236 \text{ Kd} = 1,02$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:  $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3.236 \text{ Kd} = 1,11$

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 1,02 multipliziert werden, um den klimabereinigten Heizenergieverbrauch am Standort Berlin zu erhalten. Bei Bezug auf das mittlere deutsche Normklima (wie bei der Ausstellung von Energieausweisen erforderlich) müsste der Heizenergieverbrauch mit dem Klimafaktor 1,11 multipliziert werden.

Für die zweite Messperiode (März 2013 bis Februar 2014) ergeben sich folgende Klimafaktoren:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Berlin:  $KF = 3.304 \text{ Kd} / 3.310 \text{ Kd} = 0,99$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:  $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3.310 \text{ Kd} = 1,09$

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 0,99 multipliziert werden, um den klimabereinigten Heizenergieverbrauch am Standort Berlin zu erhalten. Bei Bezug auf das mittlere deutsche Normklima müsste der Heizenergieverbrauch mit dem Klimafaktor 1,09 multipliziert werden.

klima (wie bei der Ausstellung von Energieausweisen erforderlich) müsste der Heizenergieverbrauch mit dem Klimafaktor 1,09 multipliziert werden.

### 4.3. Monatliche Energiebilanzen

Die Energiebilanzen werden monatlich für die Energiequellen, die Energienutzung sowie die kumulierte Energie für Hausverbrauch und Photovoltaik in Diagrammen zusammengestellt, monatlich aktualisiert und im Internet veröffentlicht.

#### 4.3.1. Energiequelle

Abbildung 14 zeigt die monatliche Energiebilanz für die drei Energiequellen Photovoltaikstrom, Strom aus dem öffentlichen Netz sowie Strom aus der Batterie. Dabei wurden von der Photovoltaikanlage im 1. Messjahr 13.306 kWh Strom generiert, wovon 6.555 kWh selbst im Haus genutzt und 6.751 kWh in das öffentliche Netz eingespeist wurden. Im 2. Messjahr wurden 12.644 kWh Strom generiert, wovon 7.718 kWh selbst genutzt und 4.926 kWh eingespeist wurden.

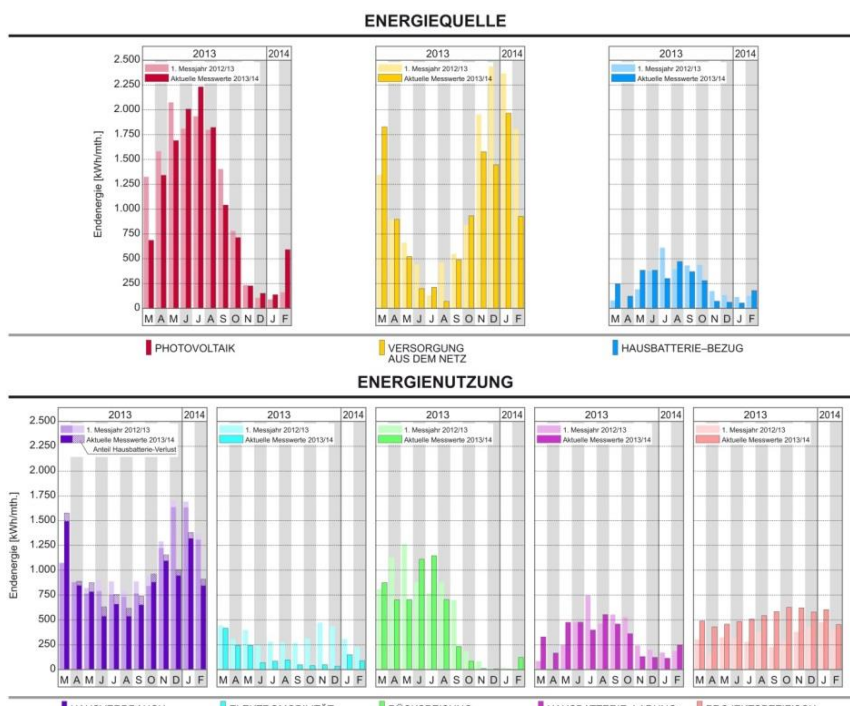


Abbildung 14: Energiequelle und Energienutzung für das 1. und 2. Messjahr.

Die monatliche Gegenüberstellung des Energieertrags und der Energienutzung für die ersten 5 Monate der 3. Messphase sind in Abbildung 15 gezeigt.

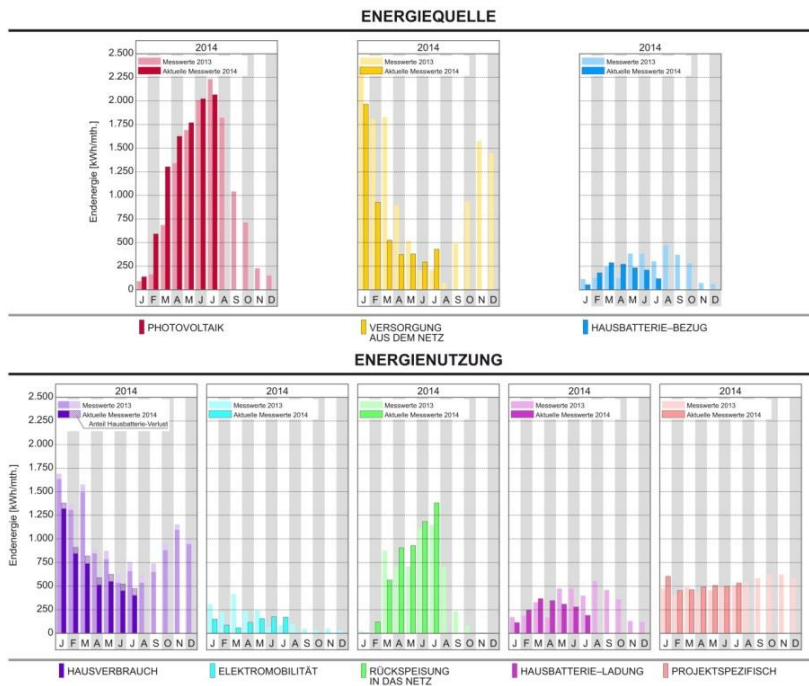


Abbildung 15: Energiequelle und Energienutzung für die 3. Messphase.

#### 4.3.2. Energienutzung

In Abbildung 16 sind die Monatsbilanzen des Endenergieverbrauchs aufgeteilt in den reinen Hausverbrauch, einen projektspezifischen Anteil und den Verbrauch für die Elektromobilität sowohl für das 1. Messjahr (März 2012 - Februar 2013), als auch das 2. Messjahr (März 2013 - Februar 2014) dargestellt. Die Messwerte der 3. Messphase (März 2014 - Juli 2014) zeigt Abbildung 17. Diese Diagramme sind auf der Homepage des BMUB (ehemals BMVBS) für jedermann zugänglich.

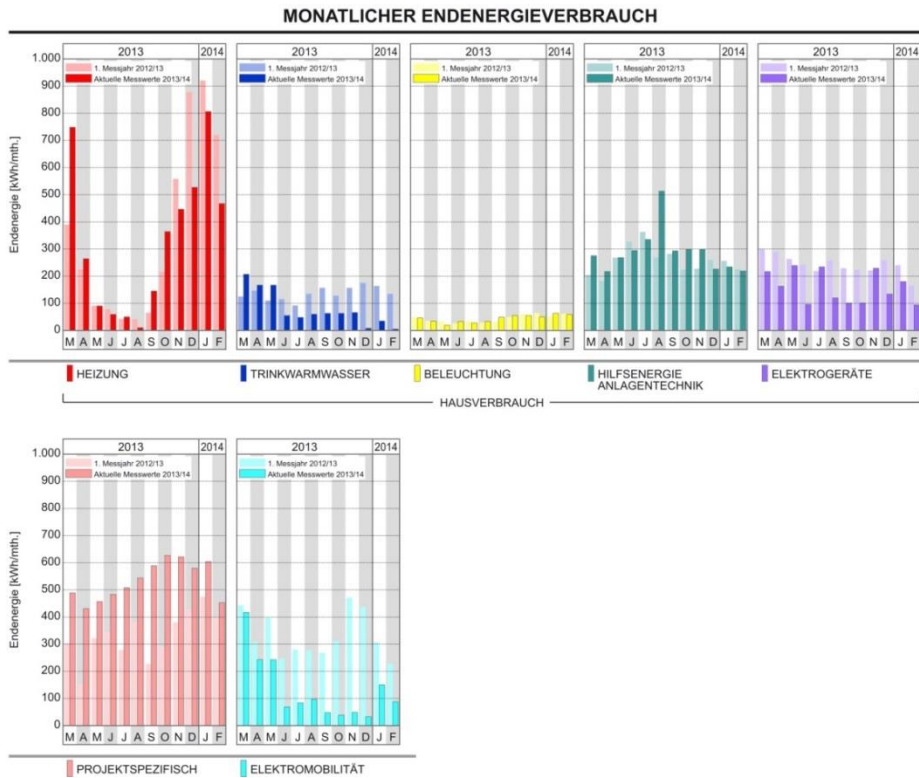


Abbildung 16: monatlicher Endenergieverbrauch für das 1. und 2. Messjahr.

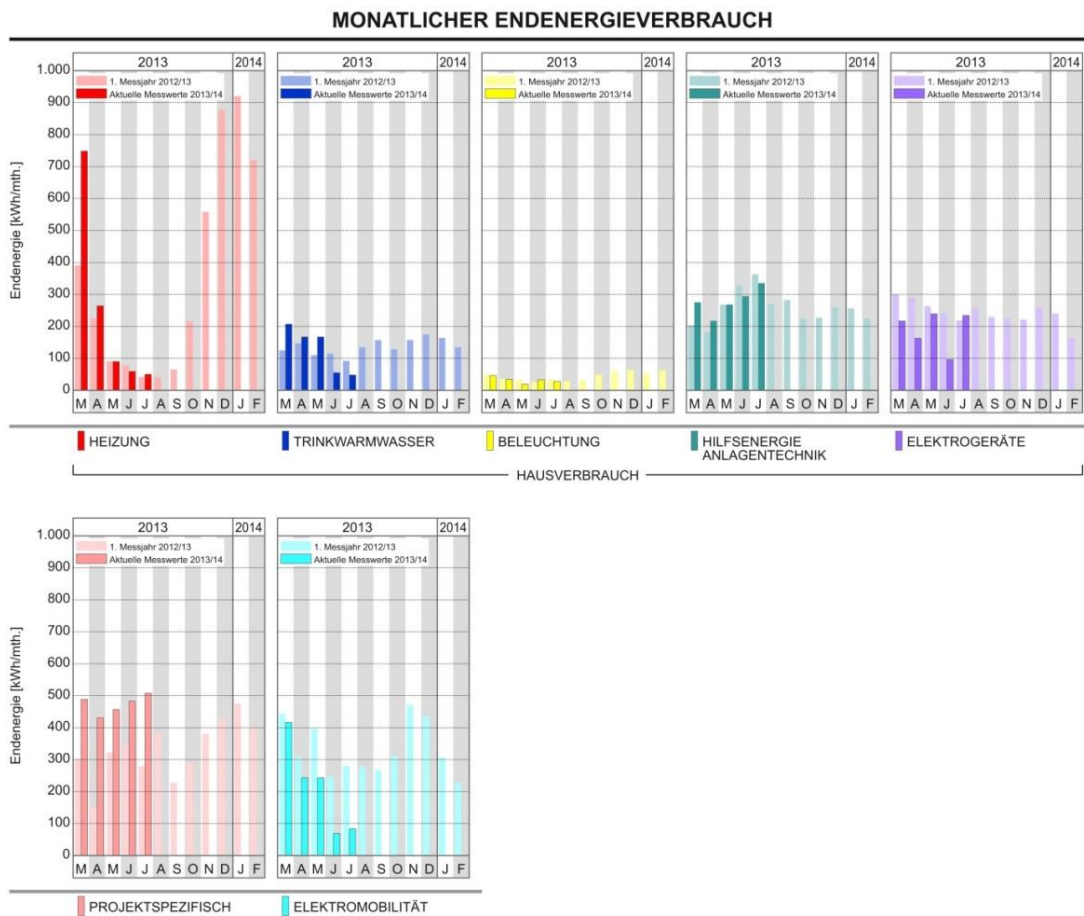


Abbildung 17: monatlicher Endenergieverbrauch für den Beginn des 3. Messjahres.

Gemäß Abbildung 16 lässt sich der reine Hausverbrauch weiter aufteilen in die Verbräuche für Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, Hilfsenergie der Anlagentechnik und Elektrogeräte (Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse), und hat im 1. und 2. Messjahr die in Tabelle 6 dargestellten Jahresendenergieverbräuche. Es sind ferner die Endenergieverbräuche für den projektspezifischen Anteil und die Elektromobilität aufgeführt.

Endenergieverbrauch	1. Messjahr	2. Messjahr
	3/2013 – 2/2014	3/2013 – 2/2014
	kWh/a	kWh/a
Heizwärmebereitstellung Wärmepumpe	4.224	3.975
Trinkwarmwasserbereitung Wärmepumpe	1.641	945
Hilfsenergie der Anlagentechnik	3.099	3.282
Beleuchtung	526	524
Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse	2.910	1.907
Summe Hausverbrauch	12.400	10.633
Projektspezifisches	3.984	6.387
Elektromobilität	3.974	1.560

Tabelle 6: Endenergieverbrauch für das 1. und 2. Messjahr.

Die projektspezifischen Energieverbräuche, die dem Standort und der Informationsaufgabe des Vorhabens geschuldet sind, gliedern sich wie Abbildung 18 zeigt in:

- Batterie Heizung, Batterie Belüftung
- Rohr-Begleitheizung
- LED-Effektbeleuchtung im Haustechnikern
- Außenbeleuchtung
- Rigolenpumpe
- Infomonitore
- EDV-Schrank mit PC-Außendarstellung, Videoumschalter

Da der Messsensor „EDV-Schrank“ sowohl Energieverbräuche registriert, die dem Hausverbrauch zuzuordnen sind, als auch solche, die projektspezifisch sind, wurden 50 % des Verbrauchs dem projektspezifischen Anteil und 50 % dem Hausverbrauch zugeordnet. Im ersten Monitoringjahr betrug der projektspezifische Energieverbrauch 3.984 kWh/a und teilte sich prozentual gemäß Abbildung 18 auf die einzelnen Verbraucher auf.

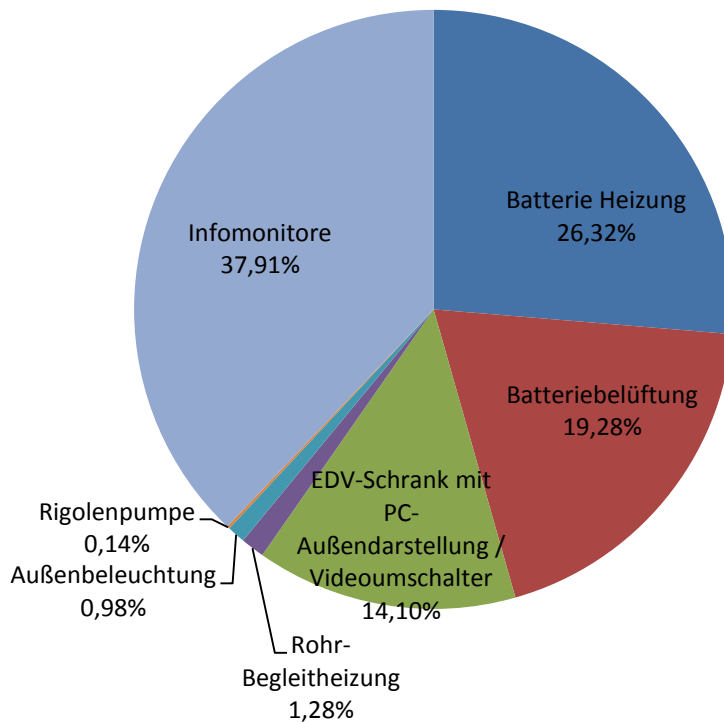


Abbildung 18: Aufteilung des projektspezifischen Anteils im 1. Messjahr (März 2012 bis Februar 2013).

Im zweiten Monitoringjahr betrug der projektspezifische Energieverbrauch 6.387 kWh/a und teilte sich gemäß Abbildung 19 auf die einzelnen Verbraucher auf. Die Erhöhung des Anteils projektspezifisch im zweiten Messjahr resultiert zum einen aus der Optimierung einer detaillierteren Messwerterfassung, die erst ab Dezember 2012 in Betrieb ging und eine genaue Zuordnung von Energieverbräuchen zuließ, sowie aus einem verstärkten Gebrauch der Infomonitoring während der öffentlichen Nutzung des Gebäudes. Sowohl im Bereich des projektspezifischen Energieverbrauchs als auch im Bereich der Erfassung der Hilfsenergie haben zusätzliche Messsensoren im November 2012 bzw. Dezember 2012 ihren Betrieb aufgenommen. Die seit Beginn der Messwerterfassung aufgetretene Differenz zwischen dem gesamten Energiebezug des Gebäudes und der Summe aller Einzelzähler konnte durch die Optimierung der Messsensorik von 22 % auf 8 % nicht zuordenbare Energieverbräuche reduziert werden.



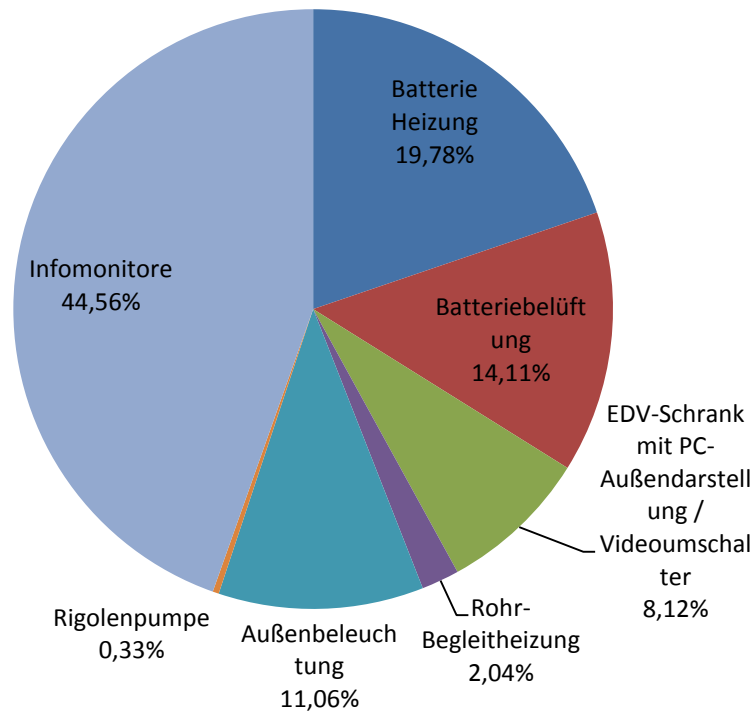


Abbildung 19: Aufteilung des projektspezifischen Stromanteils im 2. Messjahr (März 2013 bis Februar 2014).

Die Möglichkeit der Nutzung der E-Mobilität in Form von elektrisch angetriebenen Fahrrädern und Autos wurde von der ersten Testfamilie rege genutzt. Gemäß Abbildung 16 wurden im 1. Messzeitraum Elektroverbräuche für die Elektromobilität von 3.974 kWh und im 2. Messzeitraum von 1.560 kWh verzeichnet. Der Verbrauch für die Elektromobilität für den Beginn der 3. Messphase ist in Abbildung 17 dargestellt.

#### 4.3.3. Kumulierte Endenergie

Der Verlauf der kumulierten (aufsummierten) Endenergie für den Gesamtstromverbrauch des Hauses und der produzierten Energie der Photovoltaik für das 1. und 2. Messjahr ist in Abbildung 20 gezeigt. Im ersten Messjahr wurde ein Überschuss von 906 kWh/a erzeugt, im 2. Messjahr betrug er 2.011 kWh/a.

## KUMULIERTE ENDENERGIE

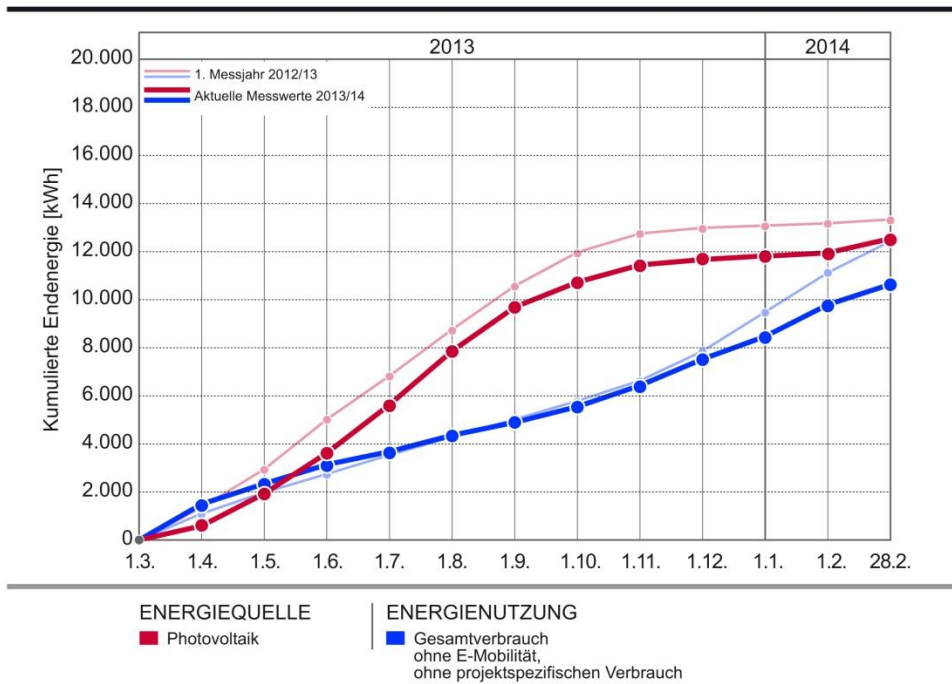


Abbildung 20: Kumulierter Stromverbrauch und kumulierter Stromgewinn durch die PV-Anlage im 1. und 2. Messjahr.

Für die 3. Messphase ist die kumulierte Endenergie in Abbildung 21 gezeigt.

## KUMULIERTE ENDENERGIE

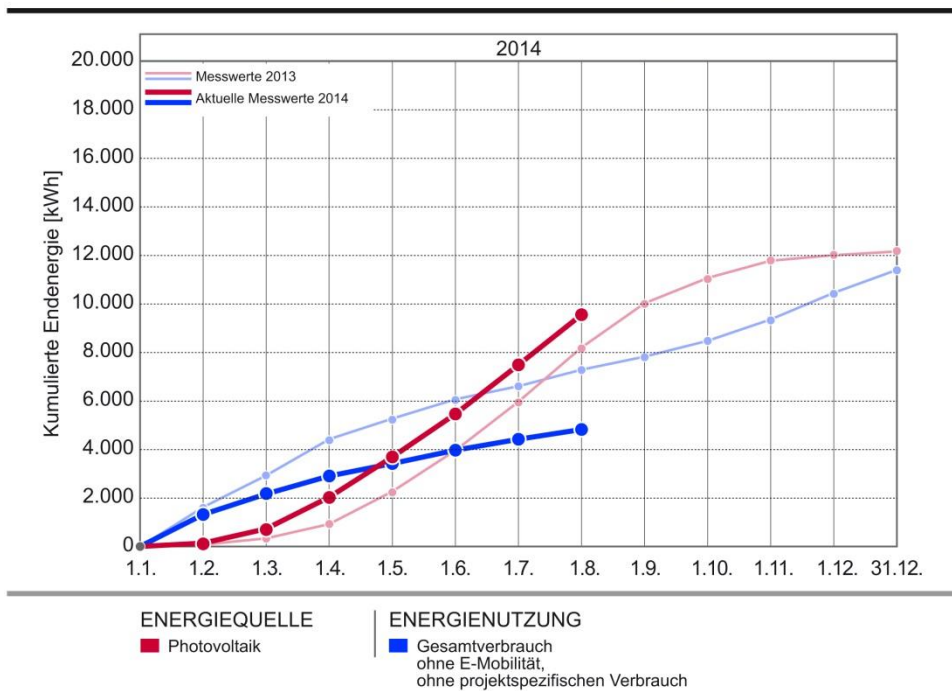


Abbildung 21: Kumulierter Stromverbrauch und kumulierter Stromgewinn durch die PV-Anlage in der 3. Messperiode.

#### 4.3.4. Eigenstromnutzung

Eine Gegenüberstellung der Monatsbilanzen für die Eigenverbräuche aus dem Photovoltaikstrom und der Rückspeisung ins Netz zeigt Abbildung 22. Im 1. Messjahr werden ca. 50 % des Photovoltaikstroms selbst genutzt, im 2. Messjahr beträgt die Eigenstromnutzung 61 %.

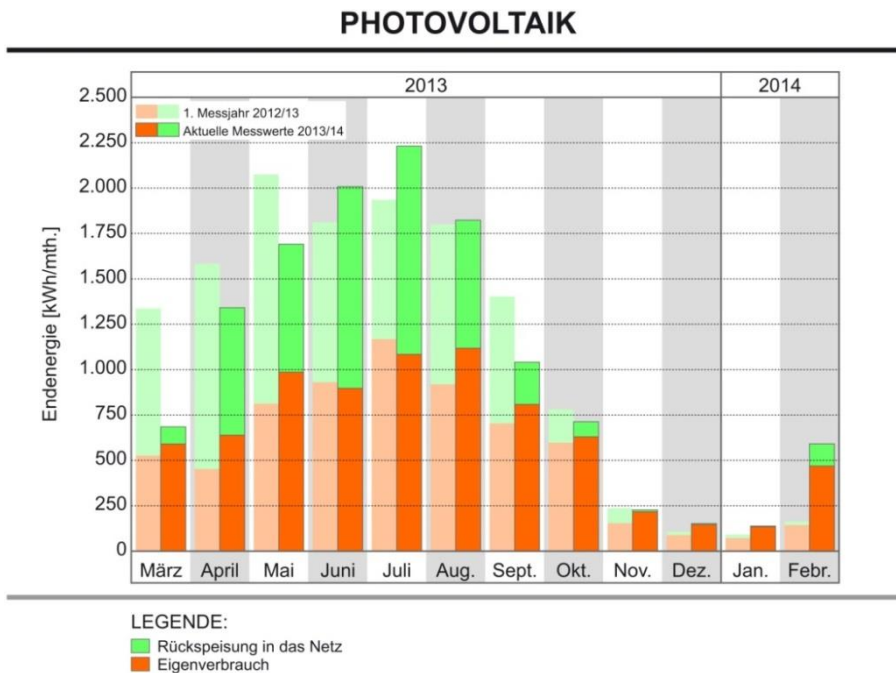


Abbildung 22: Photovoltaik-Eigenverbrauch und Rückspeisung im 1. und 2. Messjahr.

Der Eigenverbrauch und die Rückspeisung für die 3. Messperiode sind in Abbildung 23 dargestellt.

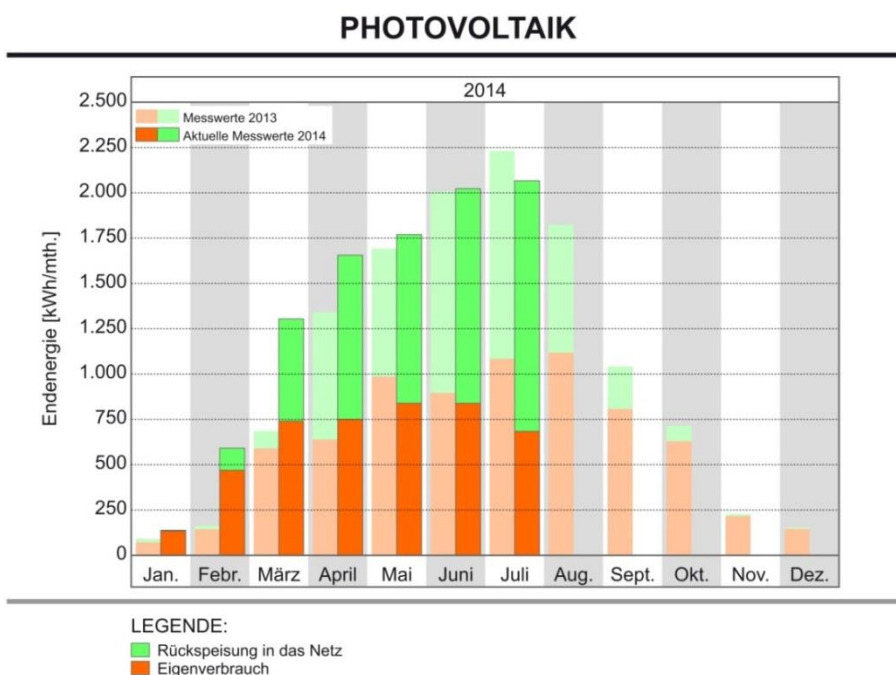


Abbildung 23: Photovoltaik-Eigenverbrauch und Rückspeisung in der 3. Messphase.

#### 4.4. Vergleich Messung und Berechnung nach DIN V 18599 einschl. Effizienzhaus Plus Standard

##### 4.4.1. Endenergie Gesamtgebäude

Das Gebäude hat im Laufe des 1. Messjahres unter Berücksichtigung aller Verbräuche einschließlich E-Mobilität und projektspezifischer Energieverbräuche 20.358 kWh Strom verbraucht. Bei Betrachtung des „reinen“ Gebäudes, das bedeutet ohne E-Mobilität (3.974 kWh) und projektspezifische Verbräuche (3.984 kWh) lag der Hausverbrauch bei 12.400 kWh. Mit der Photovoltaikanlage wurden 13.306 kWh Strom erzeugt, so dass ein Überschuss von 906 kWh in einem Jahr erwirtschaftet werden konnte.

Wie in Abbildung 24 zu sehen ist, lag der Hausverbrauch höher, als er durch die Berechnung nach DIN V 18599 prognostiziert wurde. Dabei war der Energieverbrauch in allen Bereichen (Heizung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Haushaltsgeräte) höher, als es die Berechnungen ergeben haben. Gleichzeitig zeigt Abbildung 24, dass der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen mit den vorherberechneten Ertragswerten Mindererträge (13.306 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 20 % liefert.

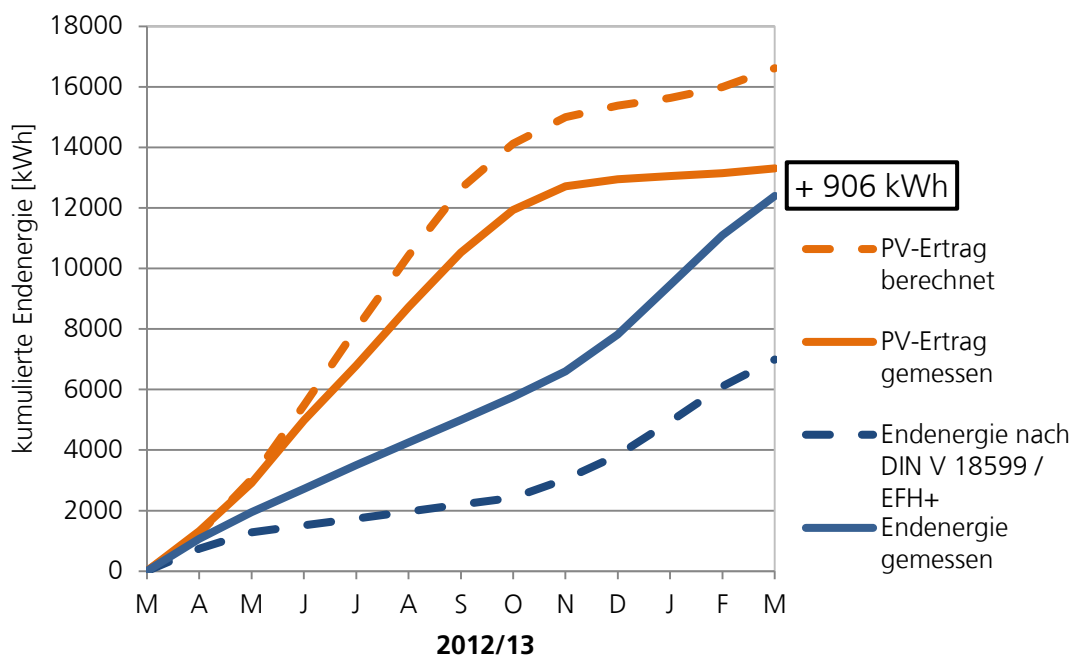


Abbildung 24: Vergleich kumulierte Endenergie Messung für das 1. Messjahr und Vorherberechnung nach DIN V 18599.

Im Laufe des 2. Messjahres hat das Gebäude, wie Abbildung 25 zeigt, unter Berücksichtigung aller Verbräuche einschließlich E-Mobilität und projektspezifischer Energieverbräuche 18.580 kWh Strom verbraucht. Bei Betrachtung des „reinen“ Gebäudes ohne E-Mobilität (1.560 kWh) und projektspezifische Verbräuche (6.387 kWh) lag der Hausverbrauch bei 10.633 kWh. Mit der Photovoltaikanlage wurden 12.644 kWh Strom erzeugt, so dass ein Überschuss von 2.011 kWh in einem Jahr erwirtschaftet werden konnte. Ähnlich wie im 1. Messjahr war der Hausverbrauch höher als er durch die Berechnung nach DIN V 18599 prognostiziert worden war. Der Vergleich

der gemessenen Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen mit den vorherberechneten Ertragswerten liefert Mindererträge (12.644 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 24 %.

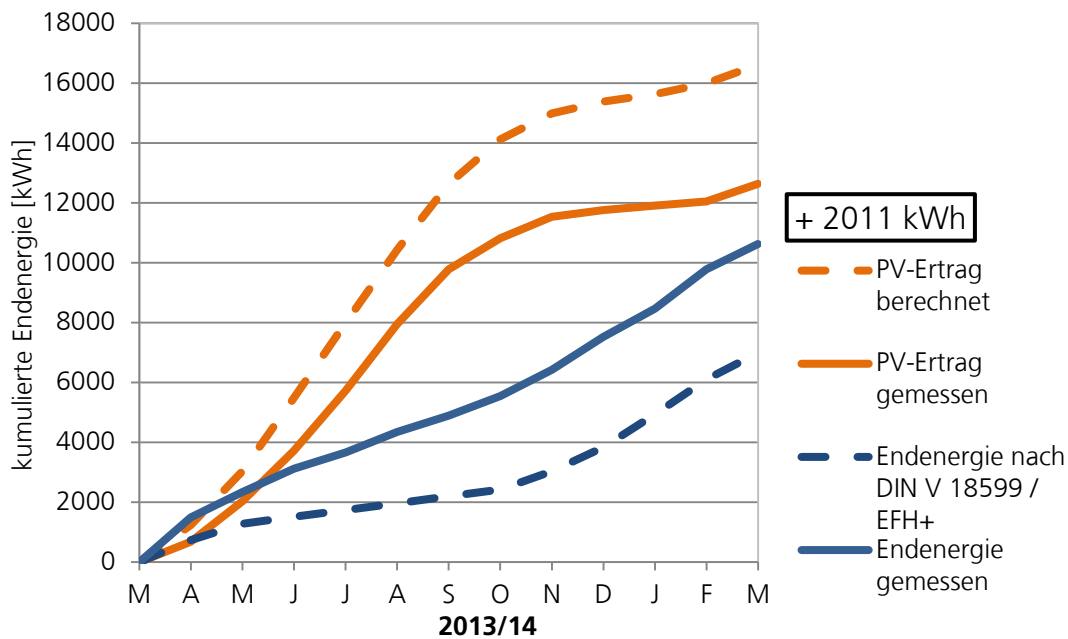


Abbildung 25: Vergleich kumulierte Endenergie Messung für das 2. Messjahr und Vorherberechnung nach DIN V 18599.

Für das 3. Messjahr sind die vorherberechneten und in den ersten 5 Monaten gemessenen Erträge und Verbräuche in Abbildung 26 gezeigt.

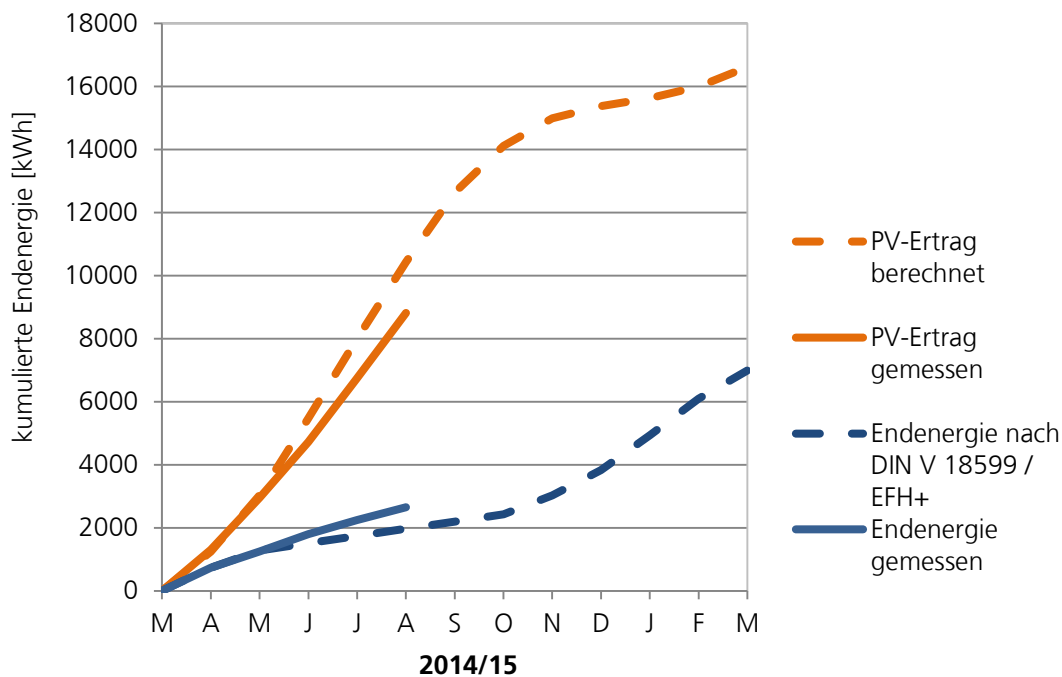


Abbildung 26: Vergleich kumulierte Endenergie Messung für das 3. Messjahr und Vorherberechnung nach DIN V 18599.

#### 4.4.2. Endenergie Wärmebereitung

Ein Vergleich der Vorherberechnung nach DIN V 18599 und Messung der Messwerte für die Wärmebereitung für Heizen, Lüften und Trinkwarmwasserbereitung einschließlich Heizstab und Hilfsenergie für den Heizkreisverteiler ist in Abbildung 27 für das 1. Messjahr gezeigt. In den Sommermonaten ergibt sich gegenüber der Vorherberechnung ein erhöhter Energiebedarf durch den Betrieb der Lüftung und den ganzjährigen Betrieb der Fußbodenheizung. Im Bereich der Warmwasserbereitung sind auch in den Sommermonaten erhöhte Abweichungen aufgrund hoher Vorlauftemperaturen im Warmwasserkreislauf erkennbar. Während der Heizperiode war der Endenergiebedarf der Heizung höher als vorherberechnet. Eine Ursache hierfür ist in der nutzungsbedingten Regelung der Heizung zu finden. In den Räumen des Obergeschosses wurde von den Nutzern die Fußbodenheizung im reduzierten Betrieb gefahren, da im Schlafzimmer und Kinderzimmer eine niedrigere Raumlufttemperatur gewünscht wurde. Durch die offenen Türen und den offenen Grundriss stieg jedoch die warme Luft vom Erdgeschoss nach oben und erwärmte auch die Räume im Obergeschoss. Dies erforderte eine höhere Heizleistung der Erdgeschoss-Fußbodenheizung. Dafür war jedoch eine höhere Vorlauftemperatur notwendig. Eine höhere Vorlauftemperatur führt wiederum zu einer schlechteren Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Die Folge davon ist ein höherer Endenergieverbrauch für die Beheizung des Hauses.

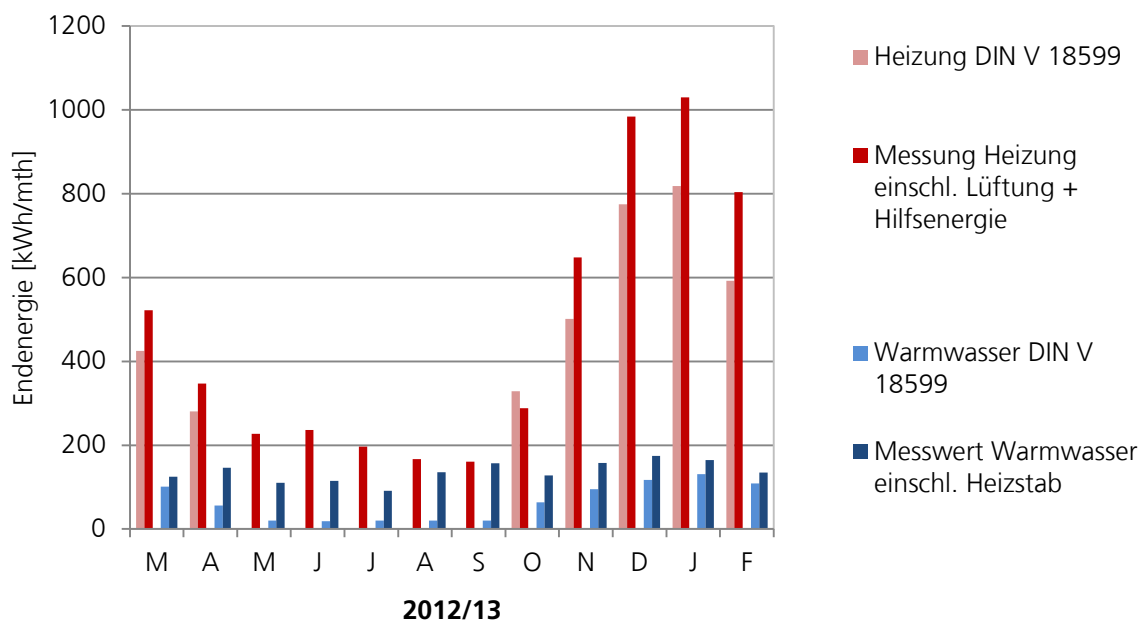


Abbildung 27: Gegenüberstellung des Endenergiebedarfs und –verbrauchs für die Wärmeversorgung und Trinkwarmwassererwärmung im Jahr 2012 / 2013.

Die Gegenüberstellung des Endenergiebedarfs und –verbrauchs für die Wärmeversorgung im 2. Messjahr zeigt Abbildung 28. Nach Auszug der Testfamilie im Juni 2013 sinkt zum Ende des Jahres nutzungsbedingt der Wärmebedarf für das Trinkwarmwasser. Der geringere Energiebedarf für die Heizung im Dezember 2013 ist auf den Austausch der Wärmepumpe zurückzuführen, wo ein eingeschränkter Heizbetrieb stattfand.

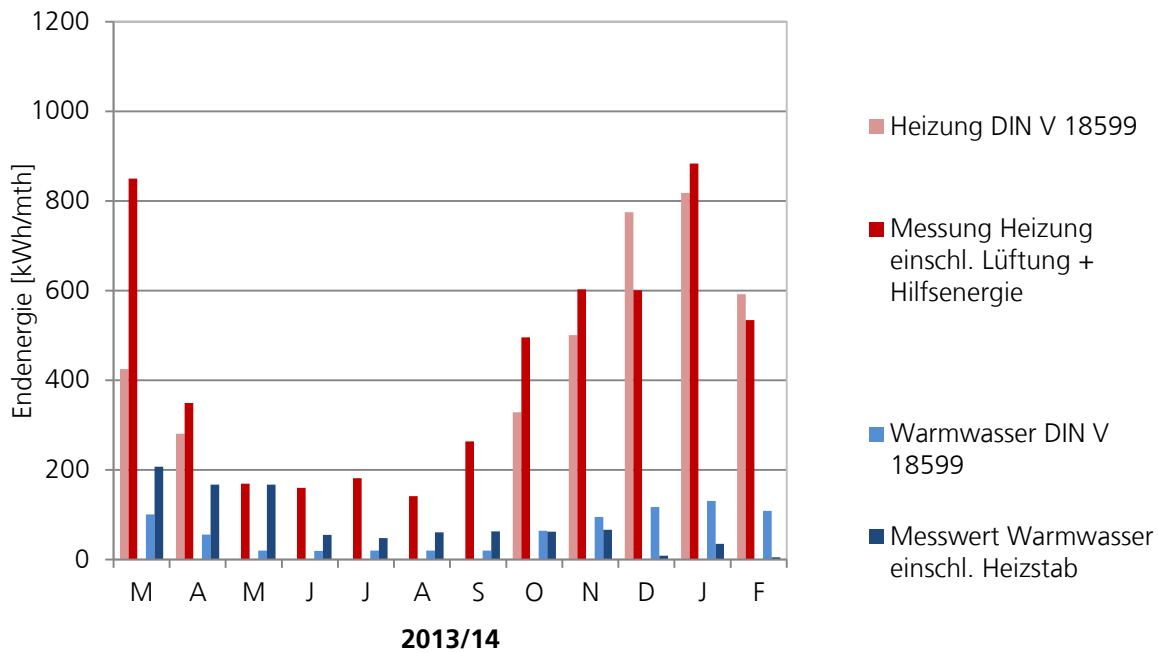


Abbildung 28: Gegenüberstellung des Endenergiebedarfs und –verbrauchs für die Wärmeversorgung und Trinkwassererwärmung im Jahr 2013 / 2014.

#### 4.4.3. Endenergie gesamt Haushaltsstrom

In Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV werden die Endenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und die Haushaltsgeräte und –prozesse mit berücksichtigt. Dabei wird ein pauschaler Wert von 20 kWh/m<sup>2</sup>a, davon 3 kWh/m<sup>2</sup>a (bzw. 375 kWh/Wohneinheit) für Beleuchtung, 10 kWh/m<sup>2</sup>a (bzw. 1.250 kWh/Wohneinheit) für Haushaltsgeräte, 3 kWh/m<sup>2</sup>a (bzw. 375 kWh/Wohneinheit) für Kochen und 4 kWh/m<sup>2</sup>a (bzw. 500 kWh/Wohneinheit) für sonstiges angesetzt. In Folgenden ist ein Vergleich der Messwerte mit den Vorgaben des Effizienzhaus Plus Standards dargestellt.

Der gemessene Stromverbrauch für die Beleuchtung und alle Haushaltsgeräte und –prozesse (erfasst als sonstiges) im 1. und 2. Messjahr ist monatsweise in Abbildung 29 gezeigt. Es ist ersichtlich, dass der Grenzwert bei Summation aller Einzelgrößen hauptsächlich durch die Beleuchtung und die Haushaltsprozesse überschritten wird.

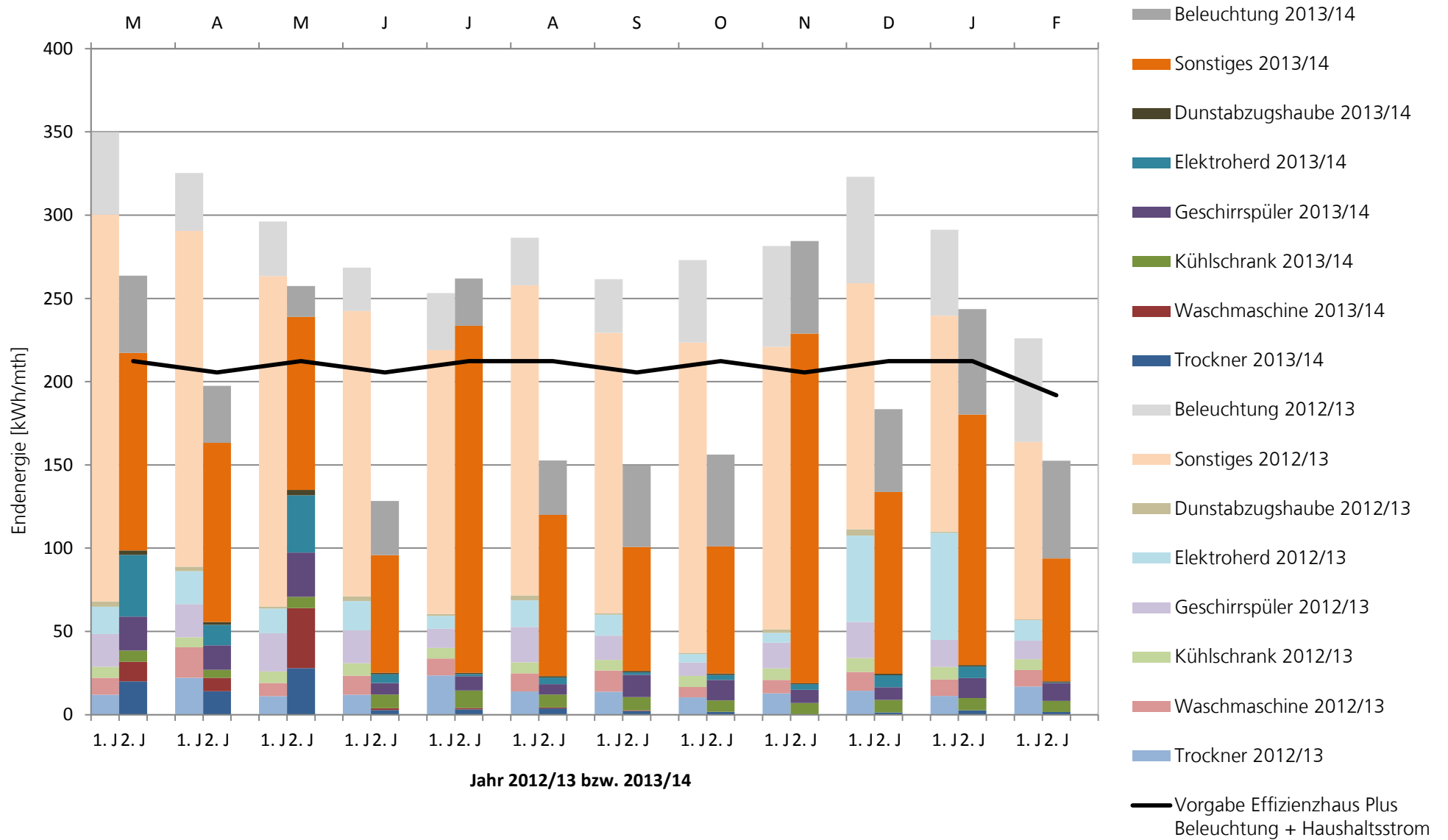


Abbildung 29: Endenergieverbrauch der Beleuchtung und Haushaltsgeräte und -prozesse im 1. und 2. Messjahr.



#### 4.4.4. Endenergie Beleuchtung

Abbildung 30 zeigt den monatlichen Endenergieverbrauch für die Beleuchtung für das 1. und 2. Messjahr. Dabei ist der Grenzwert des vorgegebenen Effizienzhaus Plus Standards in den Sommermonaten überwiegend eingehalten und nur teilweise geringfügig überschritten. In der Übergangszeit und in den Wintermonaten tritt eine Überschreitung der Vorgabe im 1. Messjahr von im Mittel ca. 70 % und im 2. Messjahr von im Mittel 66 % auf. Ursächlich an der Überschreitung im 1. Messjahr sind ergänzend zur Grundbeleuchtung nutzungsbedingte Ergänzungsbeleuchtungen (z. B. Stehlampen). Im zweiten Messjahr ist die Überschreitung des Grenzwerts nach Auszug der Testfamilie auf die Büronutzung im 1. Obergeschoss und die intensive Außendarstellung im Technikern zurückzuführen.

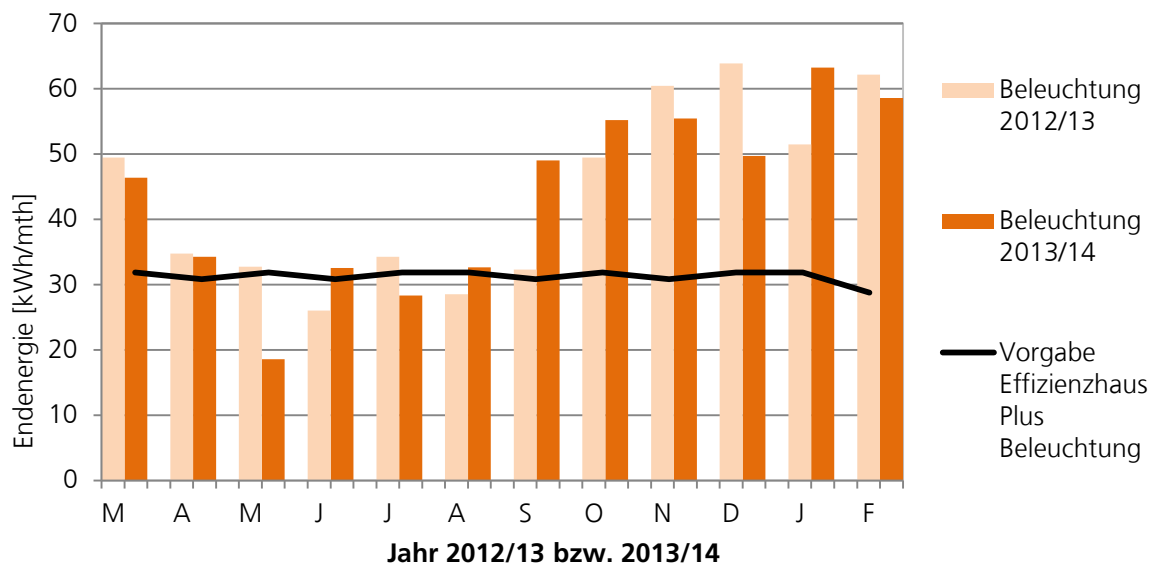


Abbildung 30: Endenergie Beleuchtung für das 1. und 2. Messjahr.

In den ersten fünf Monaten des 3. Messjahres zeigen sich ähnliche Tendenzen, die Vorgabe des Effizienzhaus Plus Standards wird im März und April überschritten und von Mai bis Juli eingehalten, wie in Abbildung 31 gezeigt.

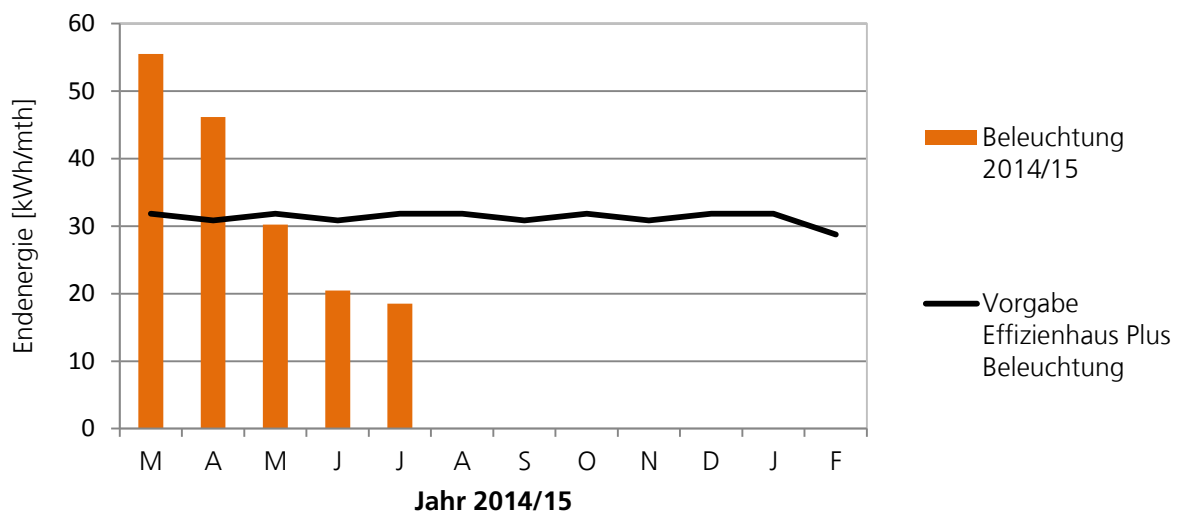


Abbildung 31: Endenergie Beleuchtung für das 3. Messjahr.

#### 4.4.5. Endenergie Haushaltsgeräte

In Abbildung 32 und Abbildung 33 ist der monatliche Endenergieverbrauch der einzelnen Haushaltsgeräte dargestellt. Bei monatlicher Summierung aller Haushaltsgeräte wird der Grenzwert für das Effizienzhaus Plus eingehalten. Der erhöhte Verbrauch im Mai 2013 konnte nicht geklärt werden.

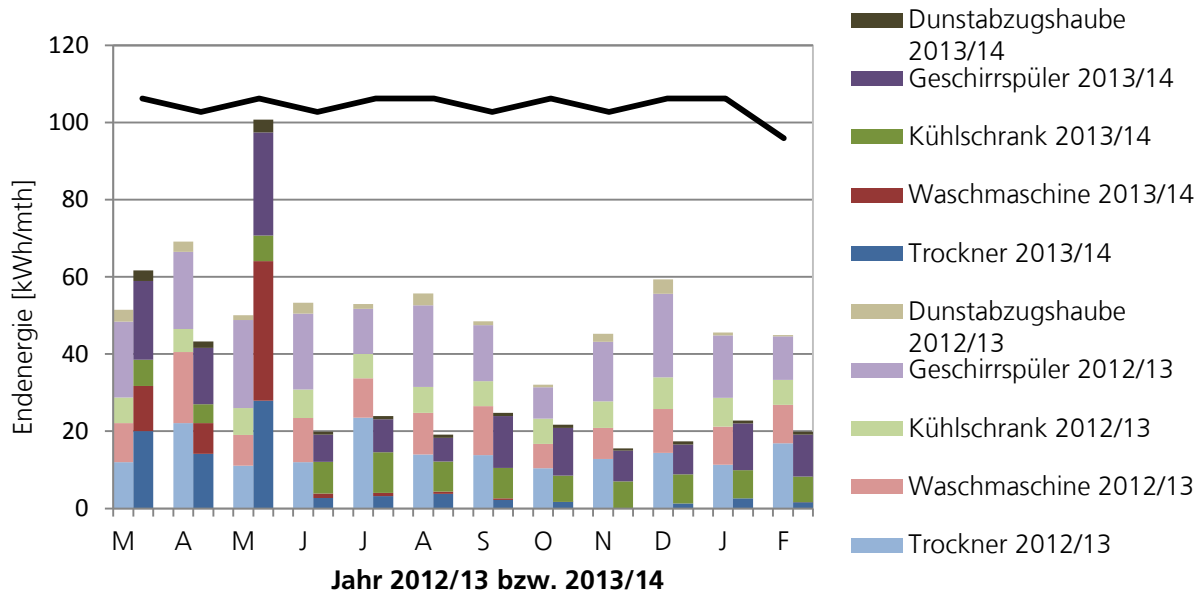


Abbildung 32: Endenergie Haushaltsgeräte für das 1. und 2. Messjahr.

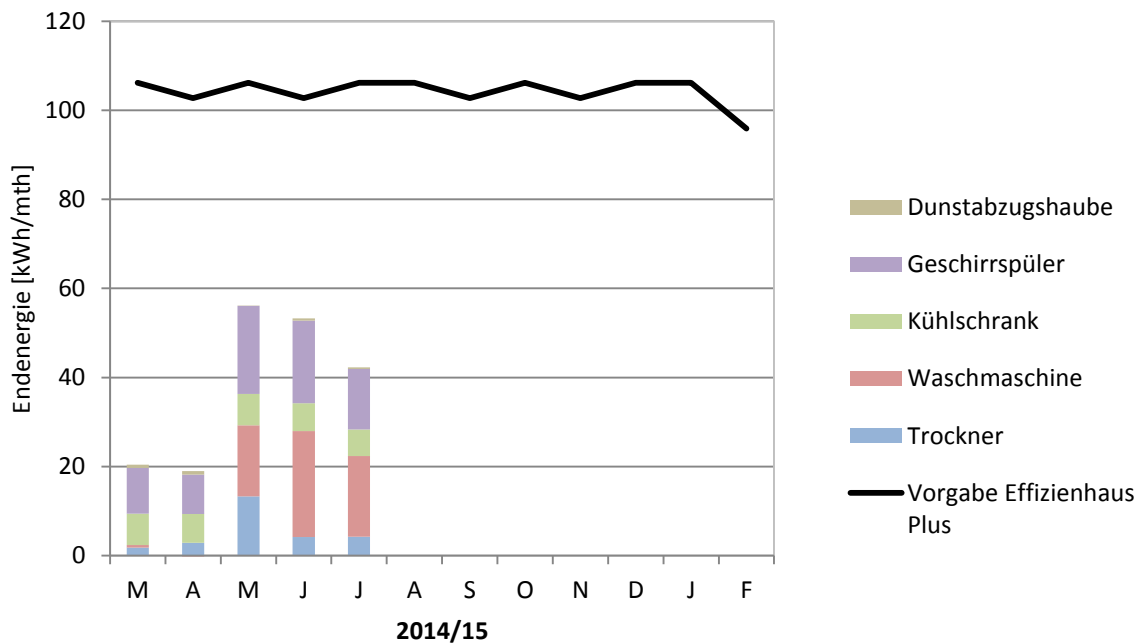


Abbildung 33: Endenergie Haushaltsgeräte für das 3. Messjahr.

#### 4.4.6. Endenergie Kochen

Die monatlich verbrauchte Endenergie für den Herd ist für die ersten beiden Messjahre in Abbildung 34 dargestellt.

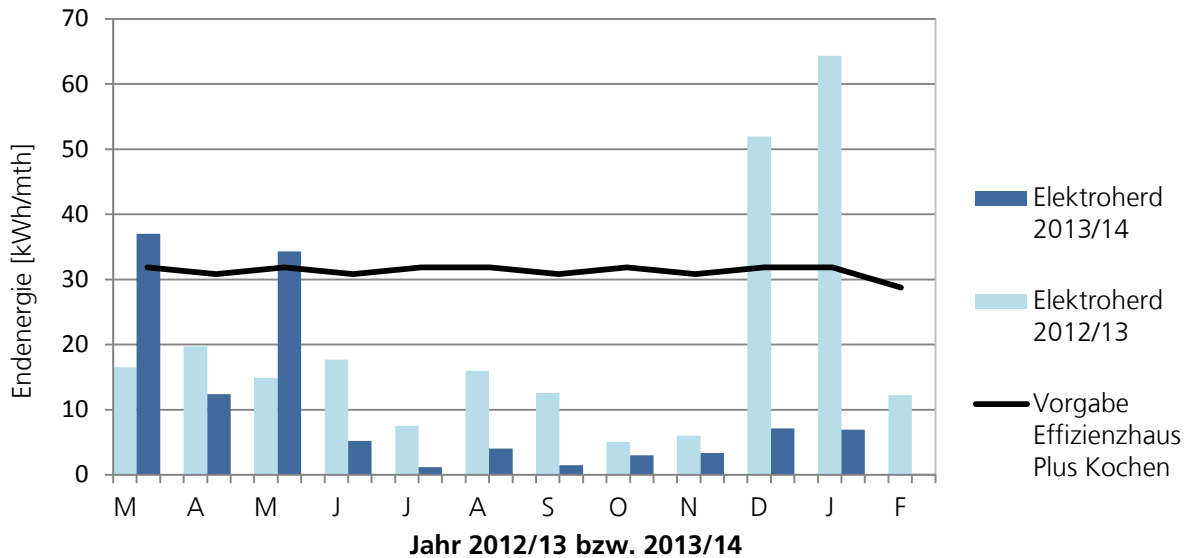


Abbildung 34: Endenergie Kochen für das 1. und 2. Messjahr.

Im 1. Messjahr wurde der Grenzwert des Effizienzhaus Plus Standards in den Wintermonaten Dezember und Januar überschritten, da aufgrund eines Ausfalls der Wärmepumpe der Herd auch heizungsunterstützend betrieben wurde. Erhöhte Verbräuche wurden im 2. Messjahr im März 2013 und Mai 2013 festgestellt. In allen übrigen Monaten liegt der Messwert deutlich unter dem Grenzwert. Den monatlichen Endenergieverbrauch für den Herd für die ersten fünf Monate im 3. Messjahr zeigt Abbildung 35.

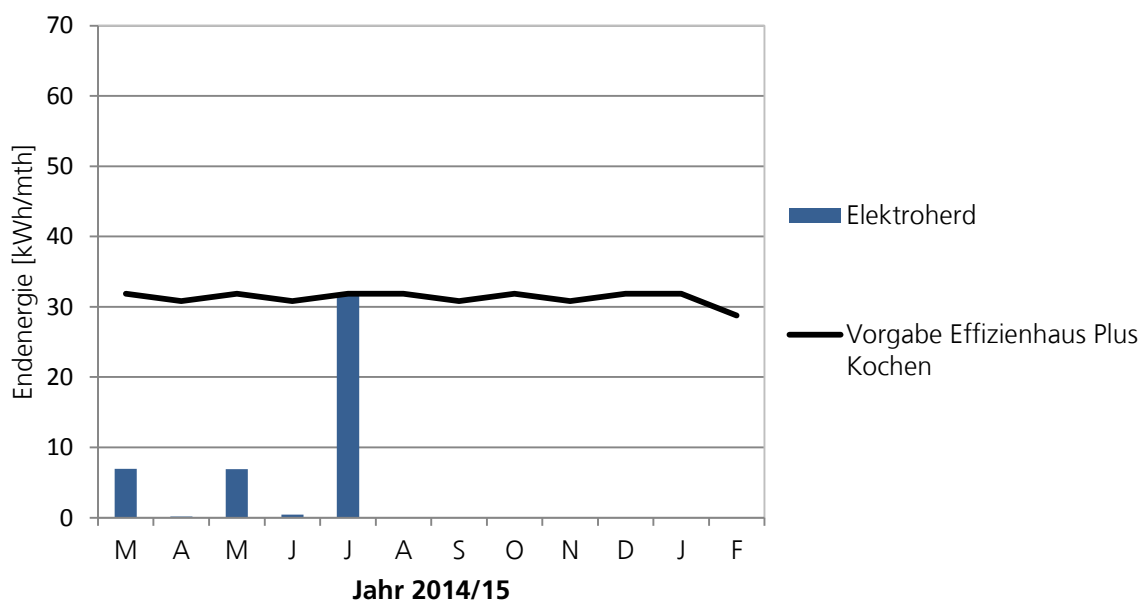


Abbildung 35: Endenergie Kochen für das 3. Messjahr.

#### 4.4.7. Endenergie sonstige Haushaltsprozesse

Die sonstigen Haushaltsprozesse erfassen alle übrigen Steckdosen, die nicht explizit als Haushaltsgeräte (wie unter 4.4.5. und 4.4.6. aufgeführt) titulierte werden. Der Anteil „Sonstiges“ teilt sich auf in Energieverbräuche von Steckdosen, die mit Kleingeräten belegt sind und Energieverbräuche, die keinem Verbraucher zugeordnet werden können. Wie unter 4.3.2. erwähnt konnte durch die Optimierung der Messtechnik die Messdifferenz zwischen Gesamtstromverbrauch und Summe aller Einzelzähler von 22 % auf 8 % reduziert werden. Im 1. Messjahr wird der Energieverbrauch durch die Nutzung von elektronischen Kleingeräten um im Mittel ca. 25 % gegenüber dem Grenzwert nach Effizienzhaus Plus Standard überschritten. Im 2. Messjahr liegt die Abweichung aufgrund der veränderten Nutzung bei über 50 %. Hier führten Einzelereignisse wie zum Beispiel die Nutzung von Fitnessgeräten zu erhöhten Stromverbräuchen.

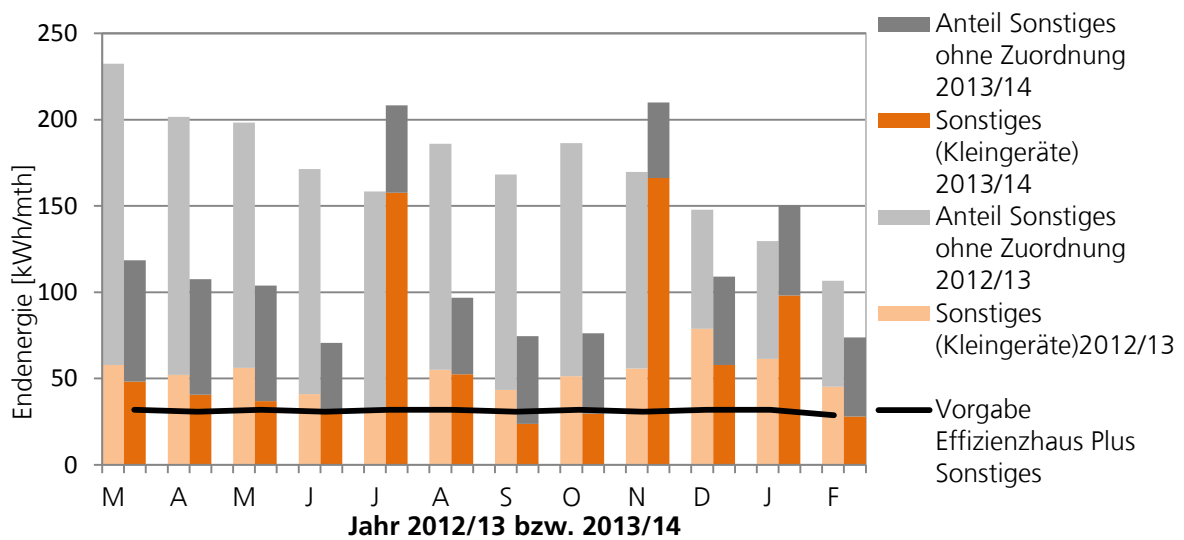


Abbildung 36: Darstellung der Endenergie „Sonstiges“ (ohne Zuordnung) und „Sonstiges“ (Kleingeräte) im 1. und 2. Messjahr.

Die monatlichen Messwerte für den Anteil sonstiges für die ersten fünf Monate der 3. Messphase zeigt Abbildung 37.

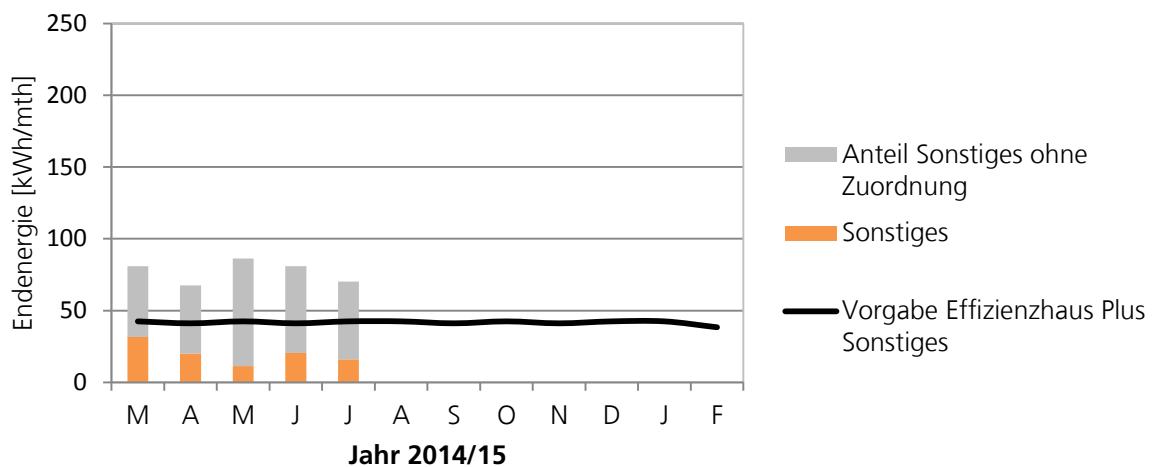


Abbildung 37: Darstellung der Endenergie „Sonstiges“ (ohne Zuordnung) und „Sonstiges“ (Kleingeräte) im 3. Messjahr.

## 4.5. Performance der Anlagentechnik

### 4.5.1. Wärmeerzeuger

Die Anlagenperformance der Wärmepumpe wird in Form einer monatlichen Arbeitszahl dargestellt. Diese beschreibt das Verhältnis der abgegebenen Wärme zur aufgenommenen elektrischen Energie der Heizungsanlage. Die Arbeitszahl wird im Folgenden für verschiedene Bilanzbereiche der Anlagentechnik dargestellt. Abbildung 38 zeigt zum einen die monatliche Arbeitszahl der Wärmepumpe für die Bereitstellung des Heiz- und Trinkwarmwassers direkt nach der Wärmepumpe (Bilanzgrenze 1). Zum anderen wird die Arbeitszahl für die Bereitstellung des Heiz- und Trinkwarmwassers nach dem Speicher bzw. nach dem Heizkreisverteiler einschließlich des Einsatzes des Heizstabes dargestellt (Bilanzgrenze 2). Die Bilanzgrenzen für die Ermittlung der Arbeitszahl zeigt Abbildung 39. Im ersten Messjahr liegt die Jahresarbeitszahl für die Bilanzgrenze 1 bei 2,2 und für die Bilanzgrenze 2 bei 1,5.

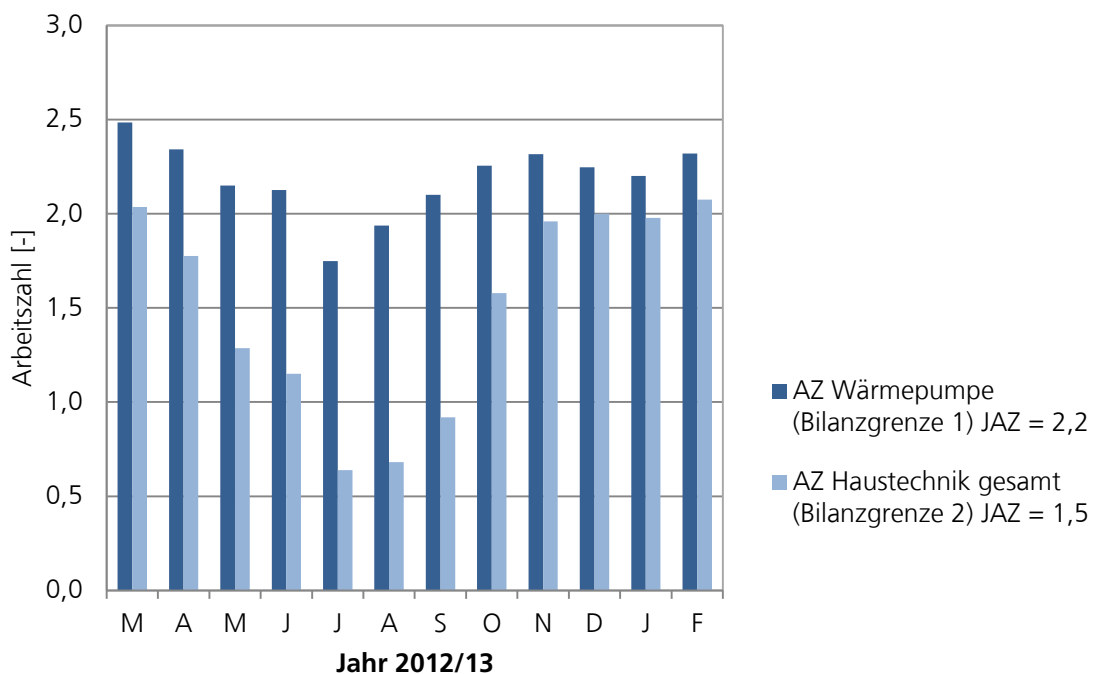


Abbildung 38: Monatliche Arbeitszahl der Wärmepumpe und der gesamten Wärmebereitstellung im 1. Messjahr.

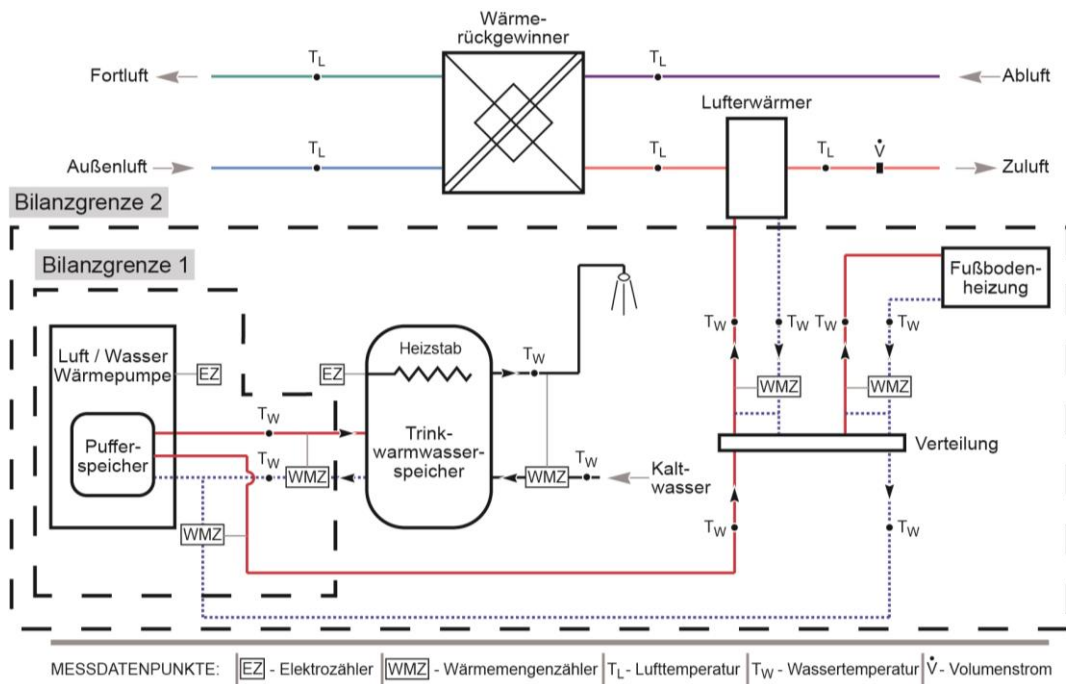


Abbildung 39: Darstellung der Bilanzgrenzen 1 und 2 für die Ermittlung der Arbeitszahlen (gültig für Wärmepumpe bis Nov. 2013).

Der Arbeitszahl zugrunde liegende Wärmeabgabe der drei Heizkreise ist in Abbildung 40 gezeigt. Auffällig ist die Wärmeabgabe an den Heizkreis 2 (Fußbodenheizung) in den Monaten Mai bis September außerhalb der Heizperiode.

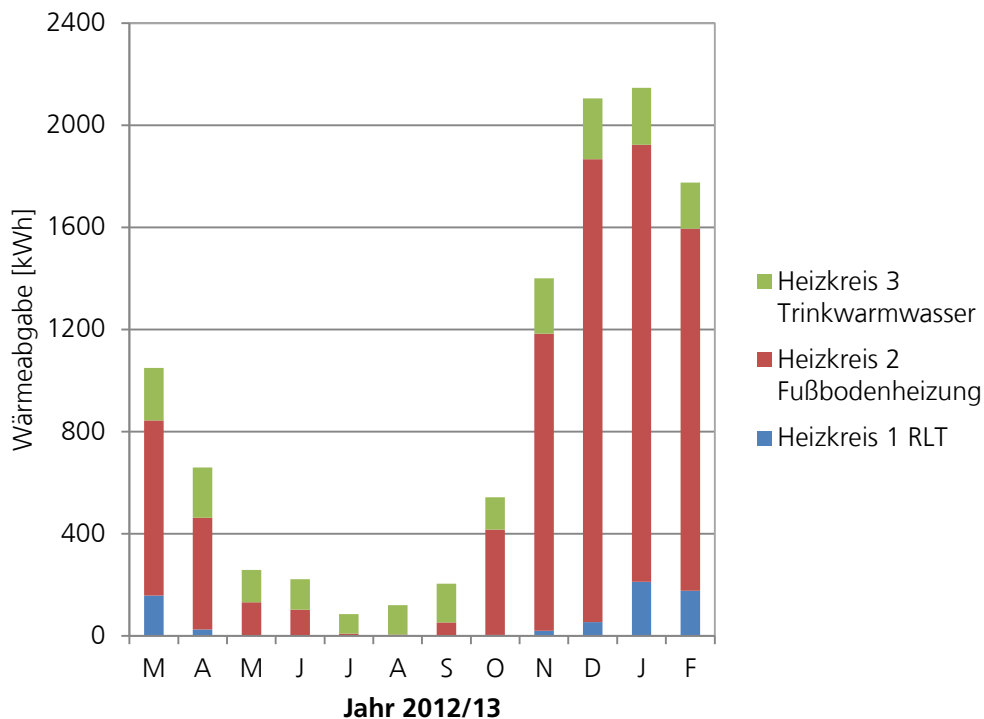


Abbildung 40: Wärmeabgabe Wärmepumpe an die Heizkreise 1 bis 3 im Jahr 2012 / 2013.

Im Dezember 2013 fand der Austausch der Wärmepumpe, wie unter 3.3. beschrieben, statt. Abbildung 41 zeigt daher nur die monatliche Arbeitszahl der „alten“ Wärmepumpe von März 2013 bis November 2013. Eine Jahresarbeitszahl kann aufgrund der Messung von nur 9 Monaten nicht angegeben werden. Die Wärmeabgabe der Wärmepumpe an die drei Heizkreise zeigt Abbildung 42.

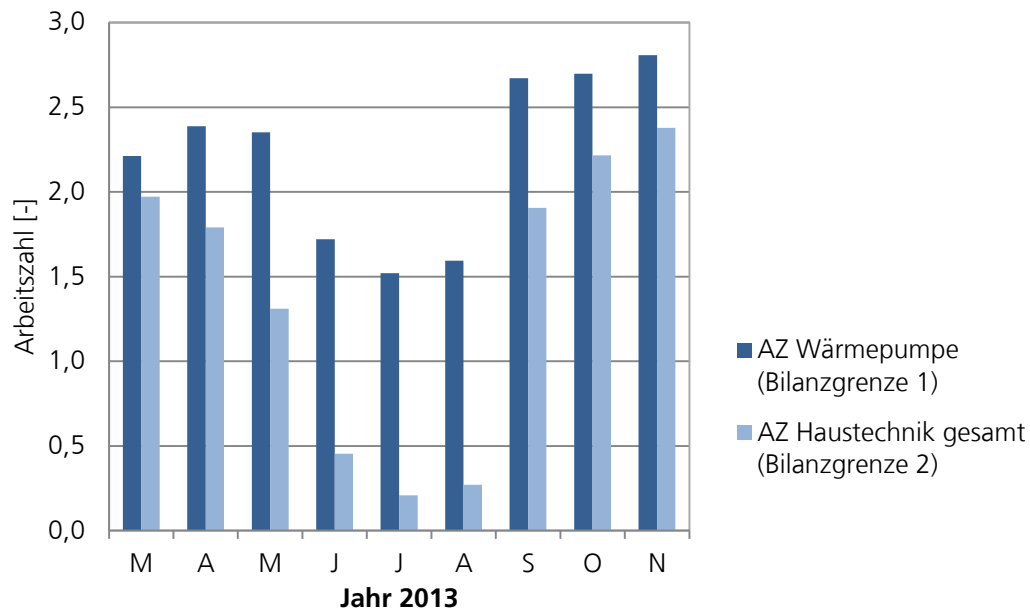


Abbildung 41: Monatliche Arbeitszahl der Wärmepumpe und der gesamten Wärmebereitstellung von März 2013 bis November 2013.

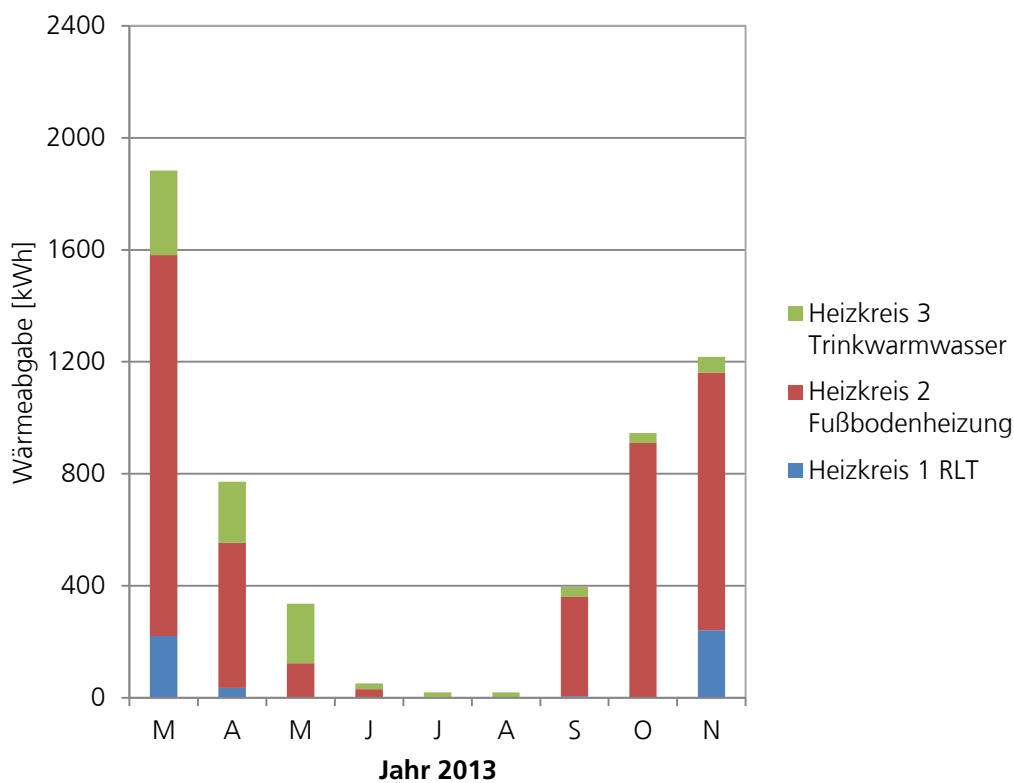


Abbildung 42: Wärmeabgabe Wärmepumpe an die Heizkreise 1 bis 3 im Jahr 2013.

Im Januar 2014 hat die neue Wärmepumpe ihren Betrieb aufgenommen. Aufgrund der Kompaktheit des Geräts kann die Arbeitszahl der Bilanzgrenze 1, der eigentlichen Wärmepumpeneinheit, nicht bestimmt werden. Die monatliche Arbeitszahl von Januar 2014 bis Juli 2014, die in Abbildung 43 gezeigt ist, repräsentiert die Arbeitszahl der Bilanzgrenze 2.

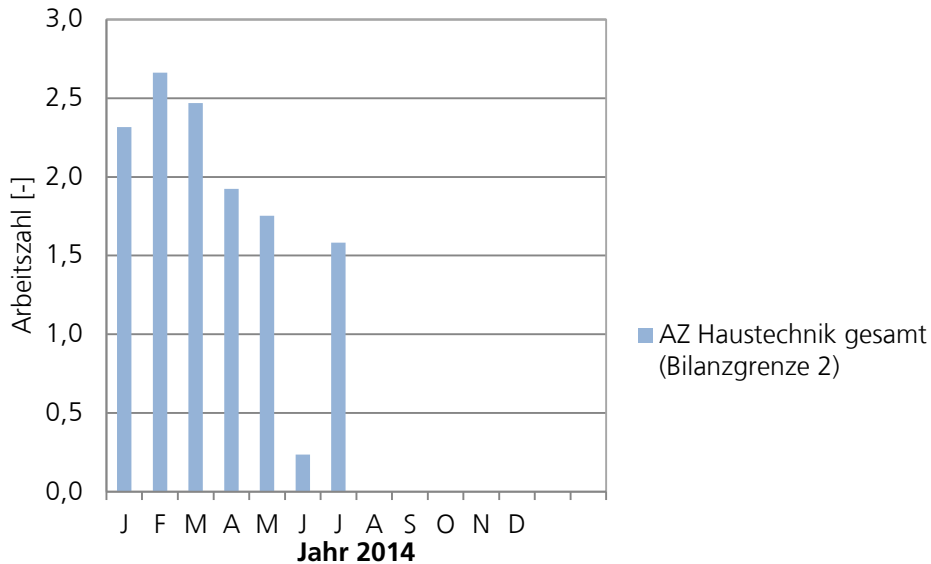


Abbildung 43: Monatliche Arbeitszahl der gesamten Wärmebereitstellung von Januar 2014 bis Juli 2014.

Eine Darstellung der Bilanzgrenzen zeigt Abbildung 44.

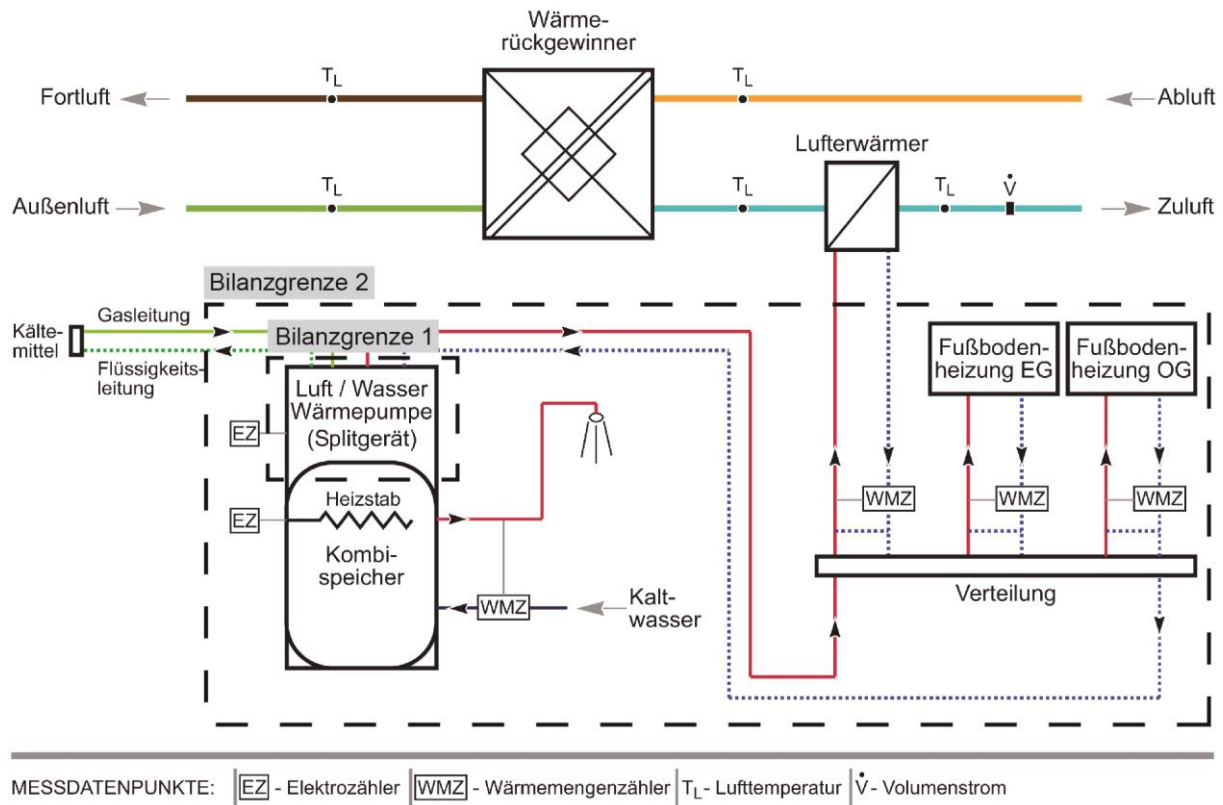


Abbildung 44: Darstellung der Bilanzgrenzen 1 und 2 für die Ermittlung der Arbeitszahlen (gültig für die Wärmepumpe ab Jan. 2014).



Beim Umbau der Wärmepumpe wurden die Heizkreise der Fußbodenheizung im Erd- und Obergeschoss getrennt, so dass die Wärmeverteilung nun an vier Heizkreisen gemessen wird. Die monatliche Verteilung zeigt Abbildung 45.

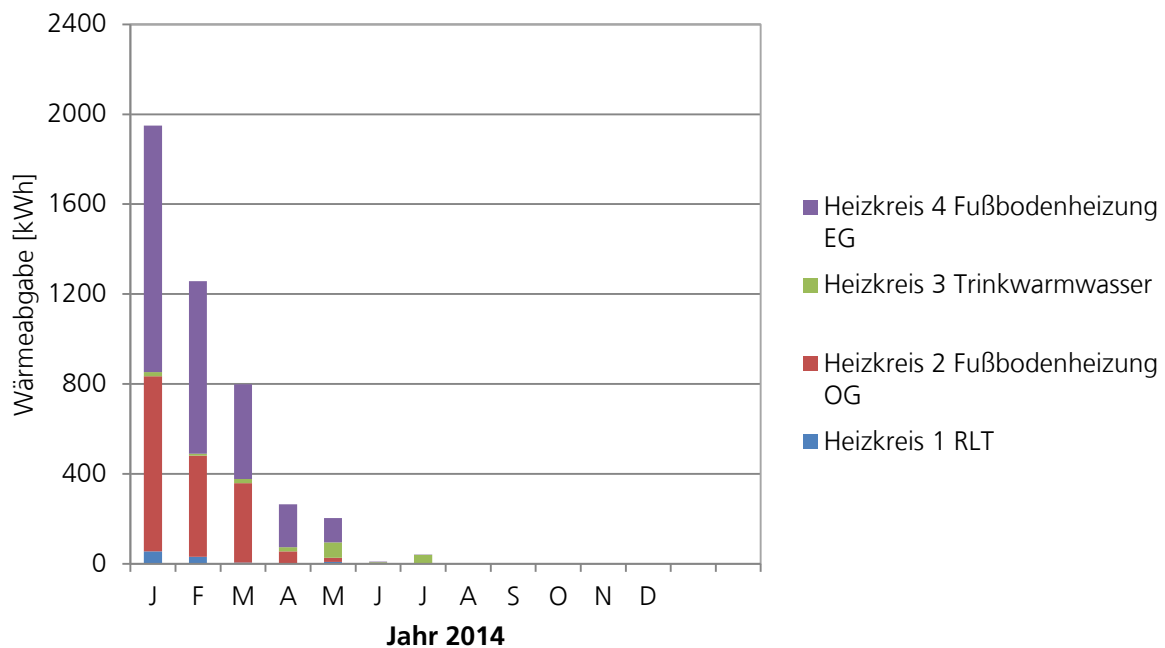


Abbildung 45: Wärmeabgabe der Wärmepumpe an die Heizkreise 1 bis 4 im Jahr 2014.

#### 4.5.2. Lüftungsanlage

Die mechanisch betriebene Zu- und Abluftanlage fördert einen Luftvolumenstrom von 400 m<sup>3</sup>/h. Die in der Abluft enthaltene Wärme wird zu 80 % zurückgewonnen. 2012 wurde die Lüftungsanlage in unterschiedlichen Schaltintervallen betrieben, vorrangig war sie jedoch tagsüber von 6:00 Uhr bis 22.00 Uhr im Dauerbetrieb. 2013 wurde die Anlage bis zum Auszug der ersten Testfamilie im Juni 2013 CO<sub>2</sub>-gesteuert betrieben und hat sich ab einem Grenzwert von 1.000 ppm eingeschaltet. Von Juni bis Dezember 2013 wurde wieder eine gemischte Betriebsweise, teilweise Dauerbetrieb, teilweise CO<sub>2</sub>-gesteuerter Betrieb, eingesetzt und seit Januar 2014 läuft die Lüftungsanlage wieder CO<sub>2</sub>-gesteuert.

#### 4.6. Innenraumtemperaturen Sommer

In allen Räumen des Erd- und Obergeschosses wurden die Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten gemessen. Einen Überblick über die sommerlichen Raumlufttemperaturen in den Aufenthaltsräumen für die Monate Juni, Juli und August für das Jahr 2012 und das Jahr 2013 zeigen die Abbildungen 46 bis 51. Zum Vergleich ist jeweils der Temperaturverlauf der Außenlufttemperatur der Wetterstation am Objekt eingezeichnet. Die Außen- und Innenraumlufttemperaturen sind als Stundenmittelwerte dargestellt. Die zugehörigen numerischen Daten der Grafiken der Räume im EG und OG sind der Tabelle 11 und Tabelle 12 im Anhang 3 zu entnehmen.

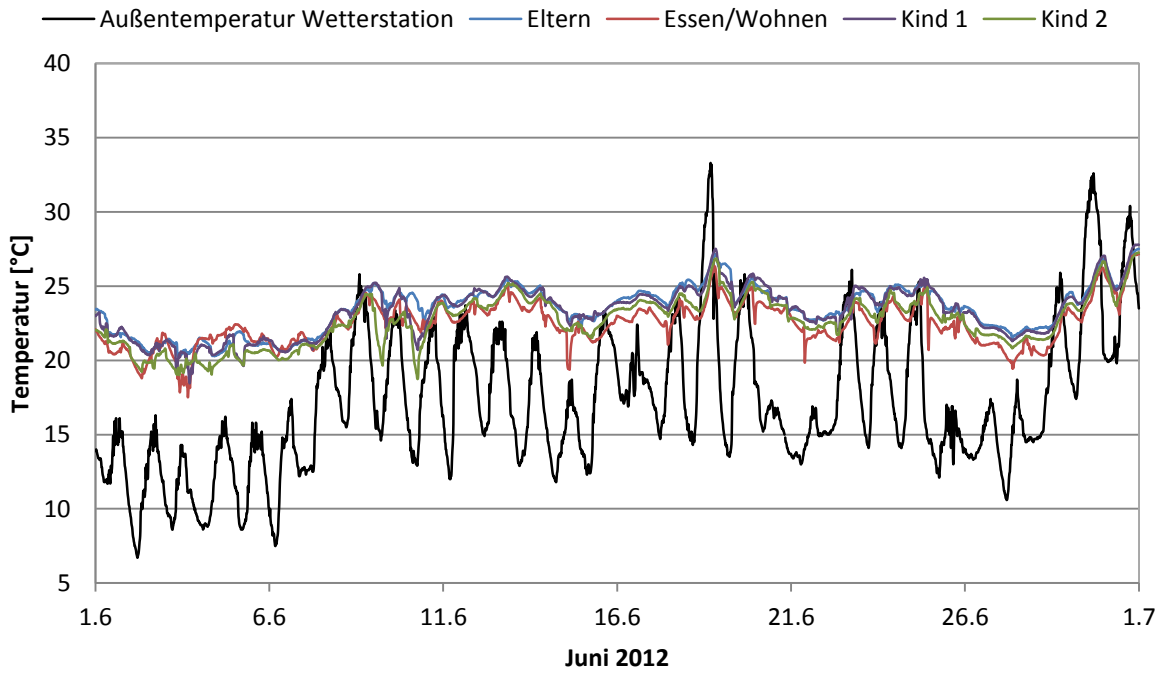


Abbildung 46: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Juni 2012.

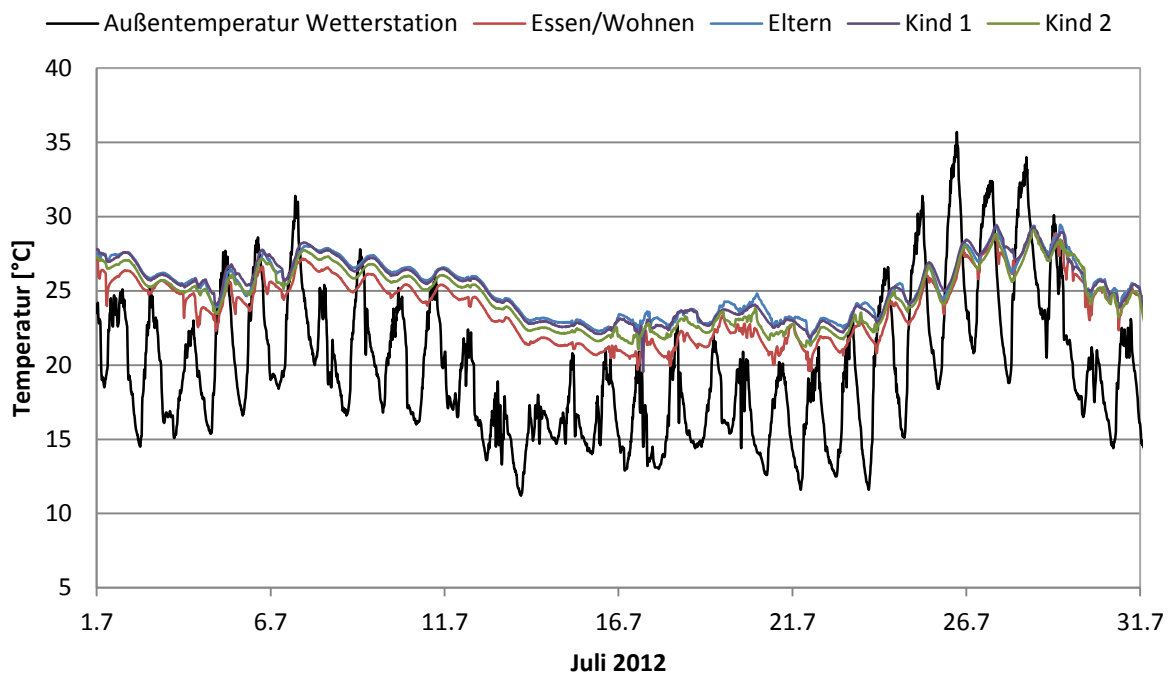


Abbildung 47: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Juli 2012.

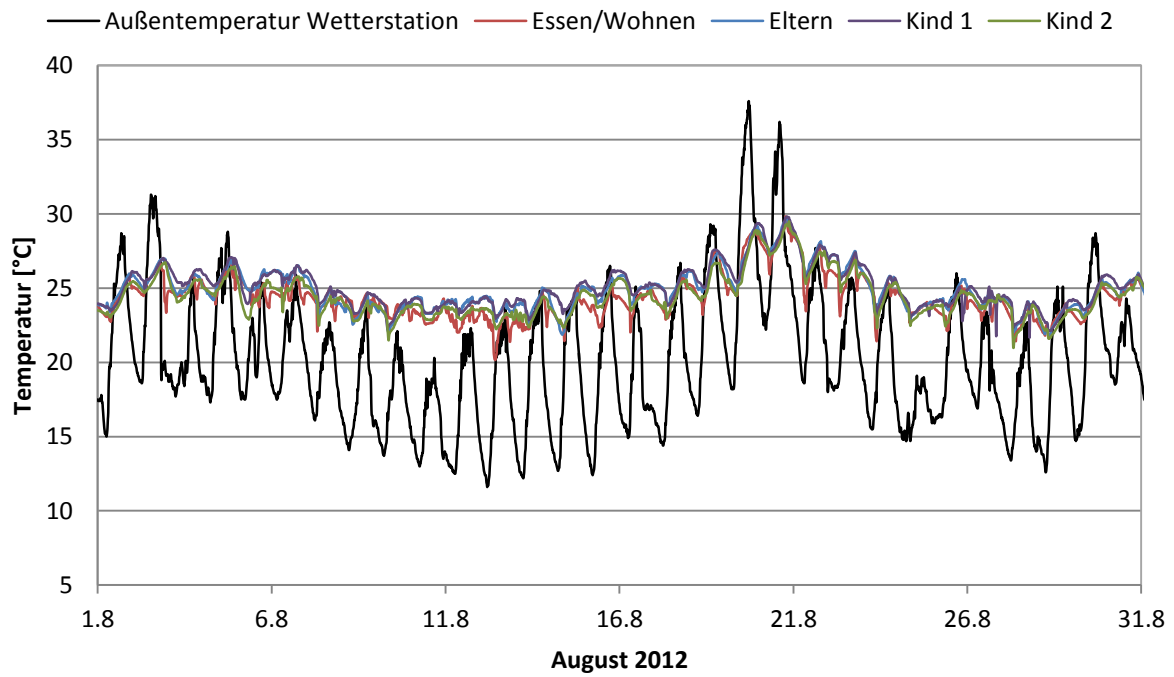


Abbildung 48: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat August 2012.

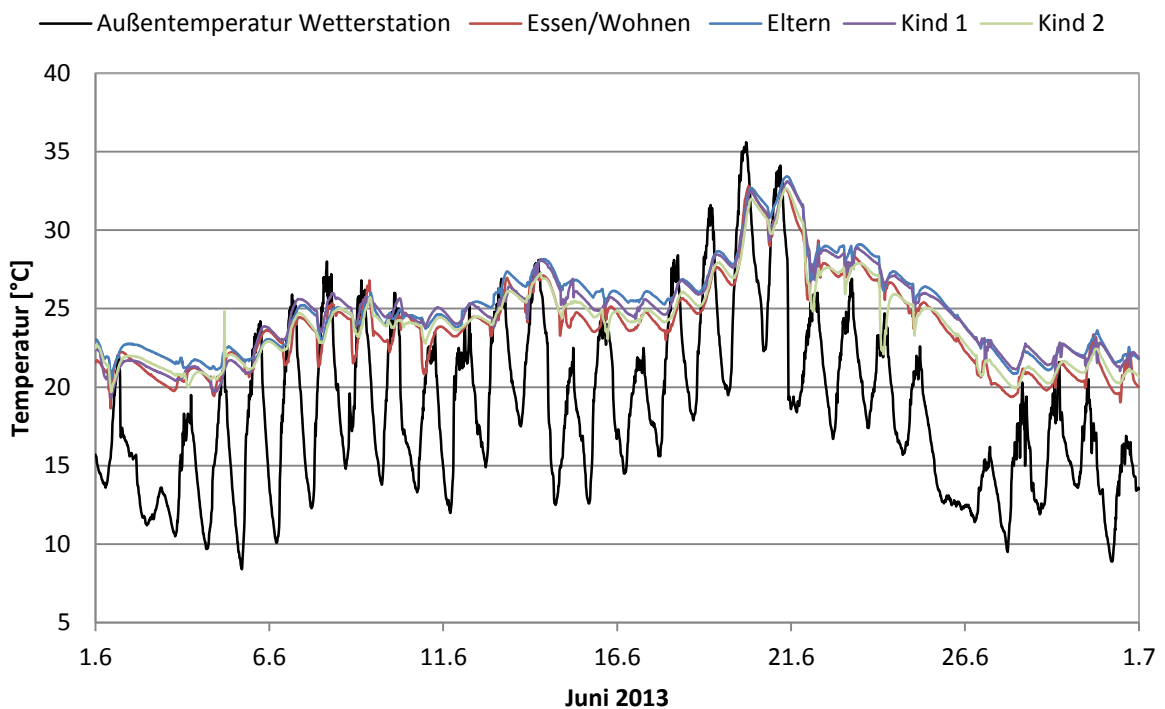


Abbildung 49: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Juni 2013.

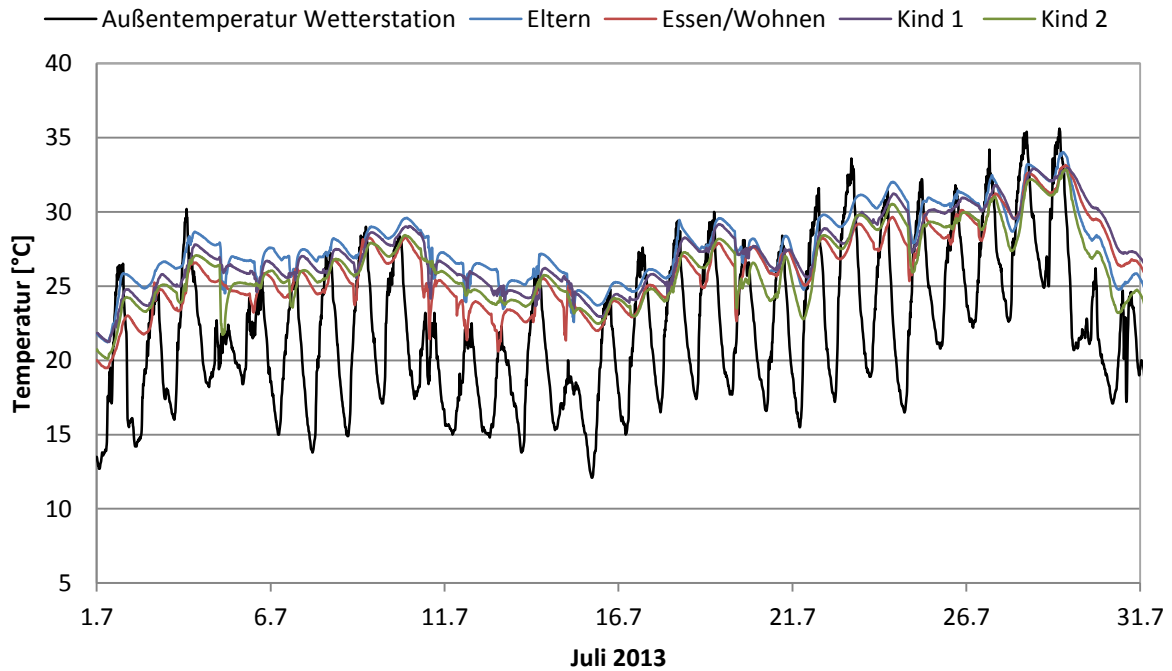


Abbildung 50: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Juli 2013.

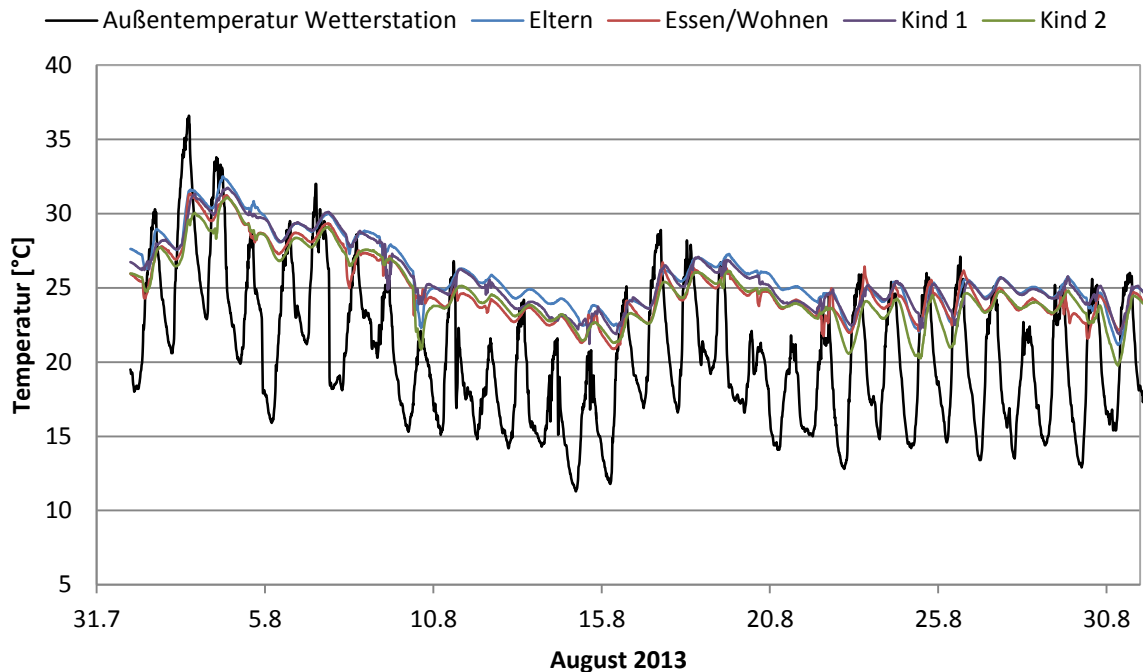


Abbildung 51: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat August 2013.

Die stündliche Raumluftmitteltemperatur in den Aufenthaltsräumen beträgt im Jahr 2012 in den Monaten Juni bis August minimal 17,5 °C und maximal fast 30 °C. Im Jahr 2013 liegt die minimale Temperatur in den Sommermonaten bei 18,6 °C und die maximale Temperatur bei 34 °C. Auffallend ist der Verlauf der Raumlufttemperaturen entlang der Maxima der Außentemperatur, eine nächtliche Abkühlung wird in den Räumen nicht erreicht. Aus den vorliegenden Messwerten wurde, wie in Tabelle 7 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 in 2012 betrug im August im Ess- / Wohnzimmer 252 Stunden (ca. 10 Tage). In 2013 wurden die höchsten Überschreitungsstunden mit 536 Stunden (ca. 22 Tage) im Elternschlafzimmer registriert.

Monat	Essen/Wohnen	Eltern	Kind 1	Kind 2
Juni 2012	11	32	26	18
Juli 2012	141	271	274	199
August 2012	252	123	148	107
Juni 2013	158	257	193	139
Juli 2013	359	536	482	346
August 2013	189	268	250	186
Juni 2014	64	86	92	63
Juli 2014	273	311	287	191

Tabelle 7: Anzahl der Überschreitungsstunden der Raumlufttemperatur über 26 °C.

#### 4.7. Raumlufttemperaturen Winter

Der winterliche Temperaturverlauf in den Aufenthaltsräumen im Januar 2013 ist in Abbildung 52 dargestellt. Die Innenraumlufttemperatur liegt nahezu konstant bei 20 °C.

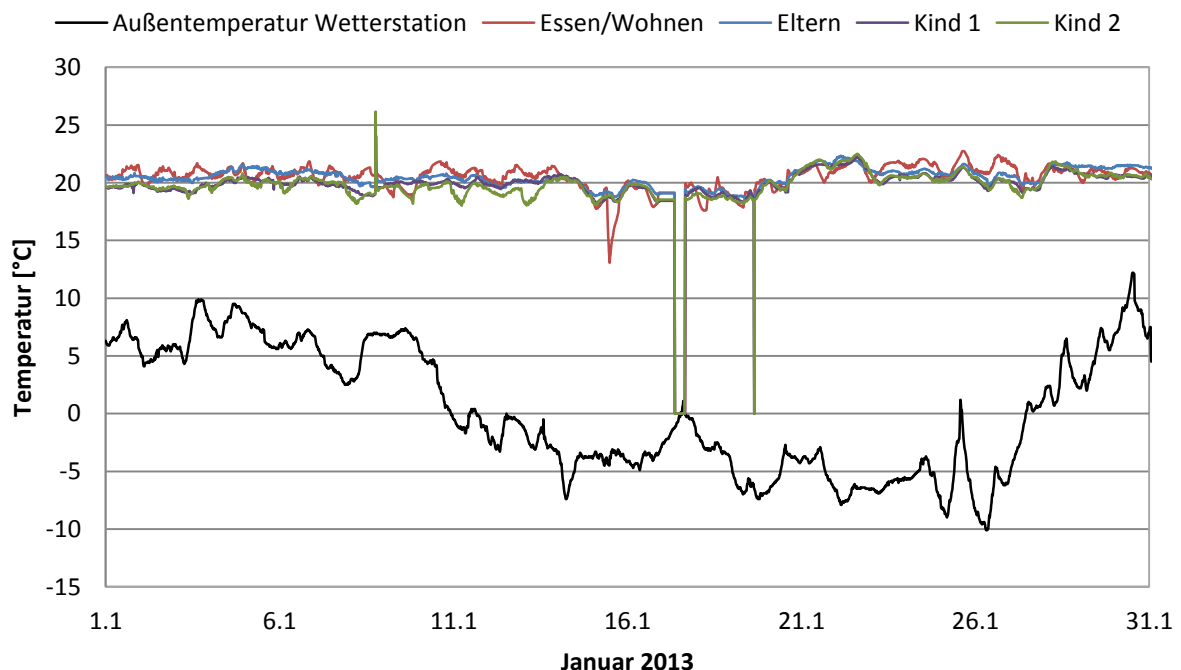


Abbildung 52: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Januar 2013.

Den Verlauf der Innenraumlufttemperatur im Januar 2014 zeigt Abbildung 53. Hier hat die Raumlufttemperatur eine Größe von im Mittel 21 °C.

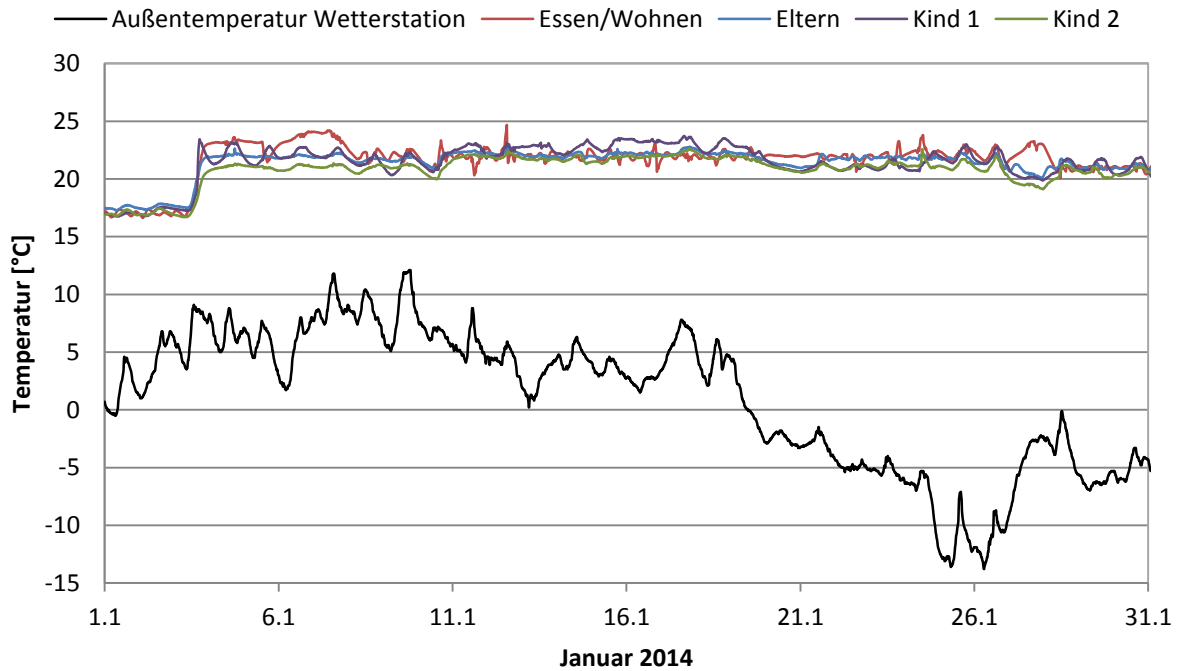


Abbildung 53: Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Januar 2014.

#### 4.8. Raumlufqualität

Die Raumlufqualität hängt vom Sauerstoffgehalt, der Geruchsneutralität und dem Schadstoffgehalt der Luft ab. Ein repräsentativer Kennwert ist der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Raumluf. Als Grenzwert zur Beurteilung der Raumlufqualität kann 1.500 ppm angenommen werden, das entspricht einer  $\text{CO}_2$ -Konzentration von 0,15 % in der Raumluf. Dieser Wert sollte als Momentanwert nicht überschritten werden. Die Anlage ist jedoch so eingestellt, dass 1.000 ppm nicht überschritten werden. In den Abbildungen 54 bis 56 ist der Verlauf der  $\text{CO}_2$ -Konzentration für die Aufenthaltsräume für den Monat März für die Jahre 2012 bis 2014 gezeigt. 2012 treten im Raum Kind 2 und 2014 im Raum Kind 1 geringfügige Überschreitungen auf. In Abbildung 54 ist zu ersehen, dass bis ca. 8. März 2012 die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen infolge des hohen Luftwechsels unter 800 ppm liegen. Danach wurde das zulässige Maximum auf 1.000 ppm erhöht. Bis auf eine Ausnahme Anfang März 2014 funktioniert die  $\text{CO}_2$ -gesteuerte Regelung, die im März 2013 und März 2014 aktiv ist.

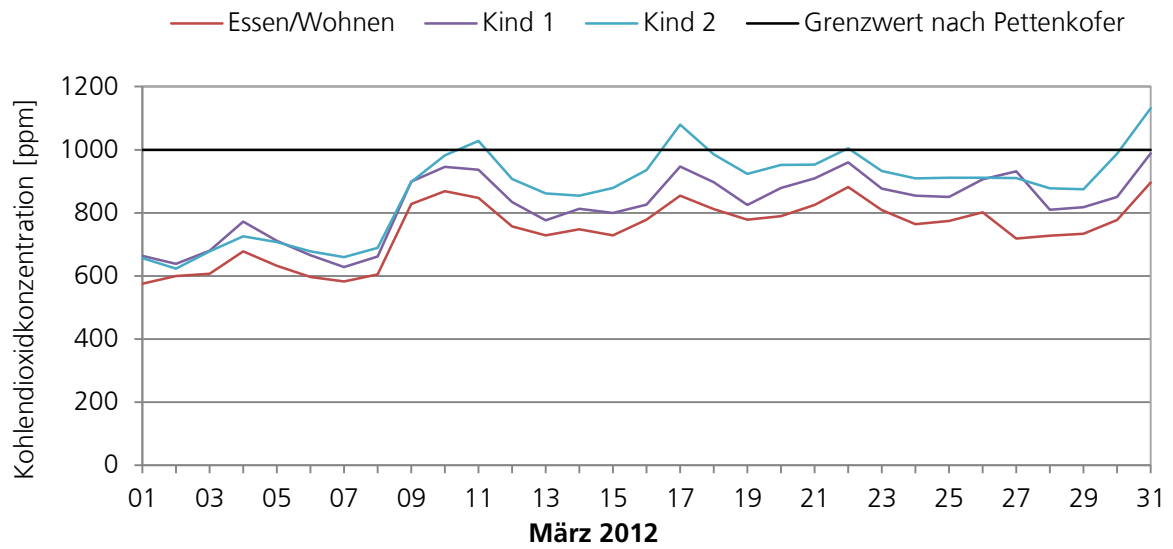


Abbildung 54: Kohlendioxidkonzentration der Aufenthaltsräume im März 2012.

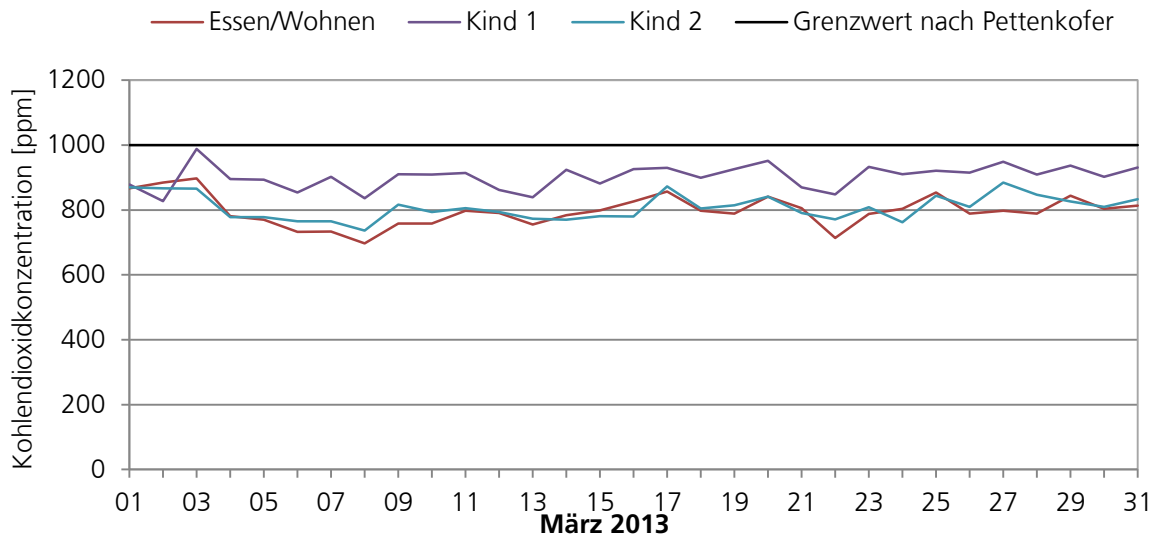


Abbildung 55: Kohlendioxidkonzentration der Aufenthaltsräume im März 2013.

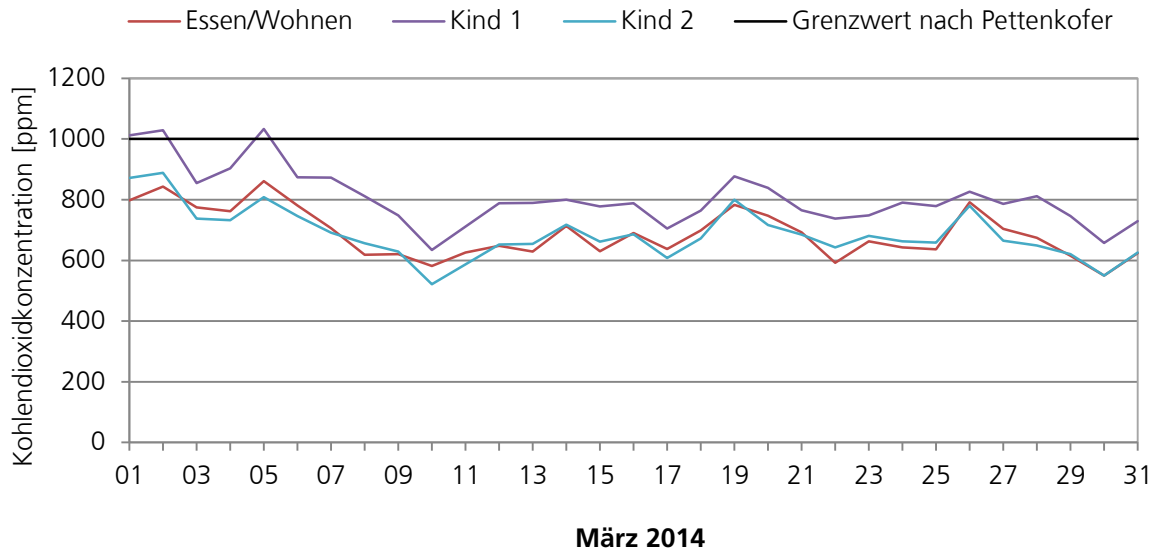


Abbildung 56: Kohlendioxidkonzentration der Aufenthaltsräume im März 2014.

#### 4.9. Behaglichkeit

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

Im Folgenden sind die Messwerte für zwei Räume im Gebäude, den Wohn- / Essbereich im EG (Abbildung 57) und das Kinderzimmer im OG (Abbildung 58) für einen Monat innerhalb der Heizperiode, hier März 2012, und für einen Sommermonat, hier August 2012 (Abbildung 59 und Abbildung 60) dargestellt.

Im März befinden sich die Messwerte im behaglichen bzw. noch behaglichen Bereich mit Tendenz zum trockenen Bereich. Im Sommer verschieben sich die Messwerte in den behaglichen bzw. noch behaglichen Bereich mit Tendenz zum feuchten Bereich.



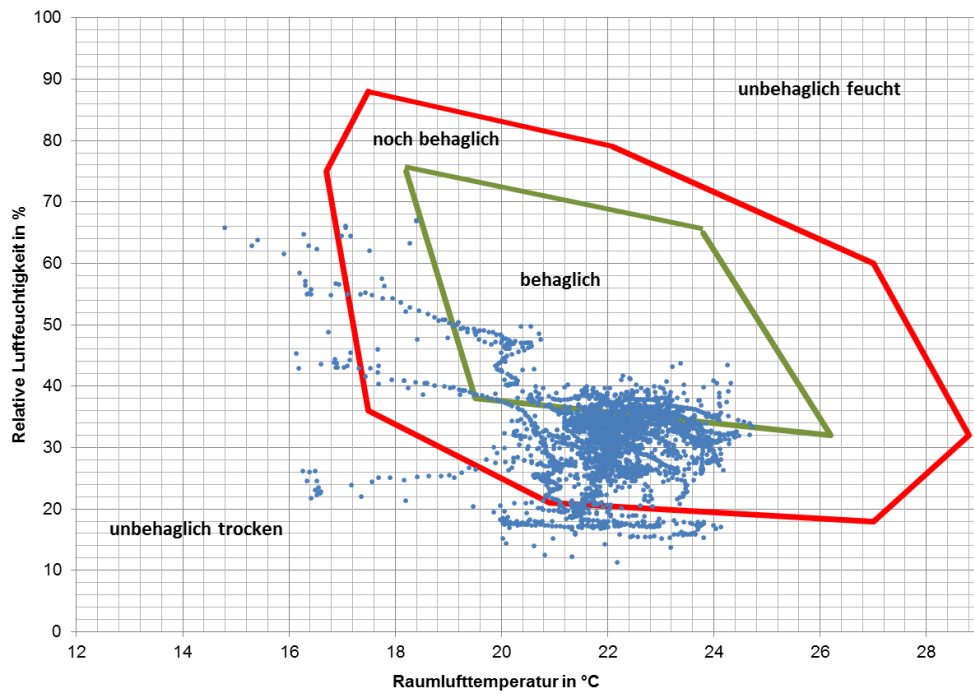


Abbildung 57: Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Wohnen / Essen EG März 2012.



Abbildung 58: Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Kind 1 OG März 2012.

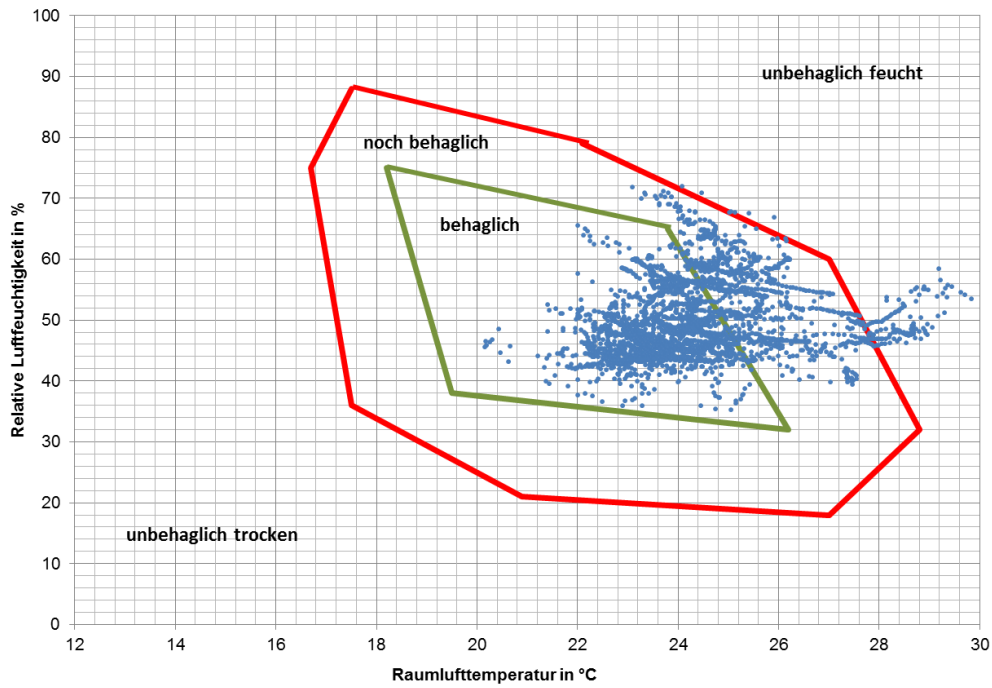


Abbildung 59: Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Essen/Wohnen EG im August .

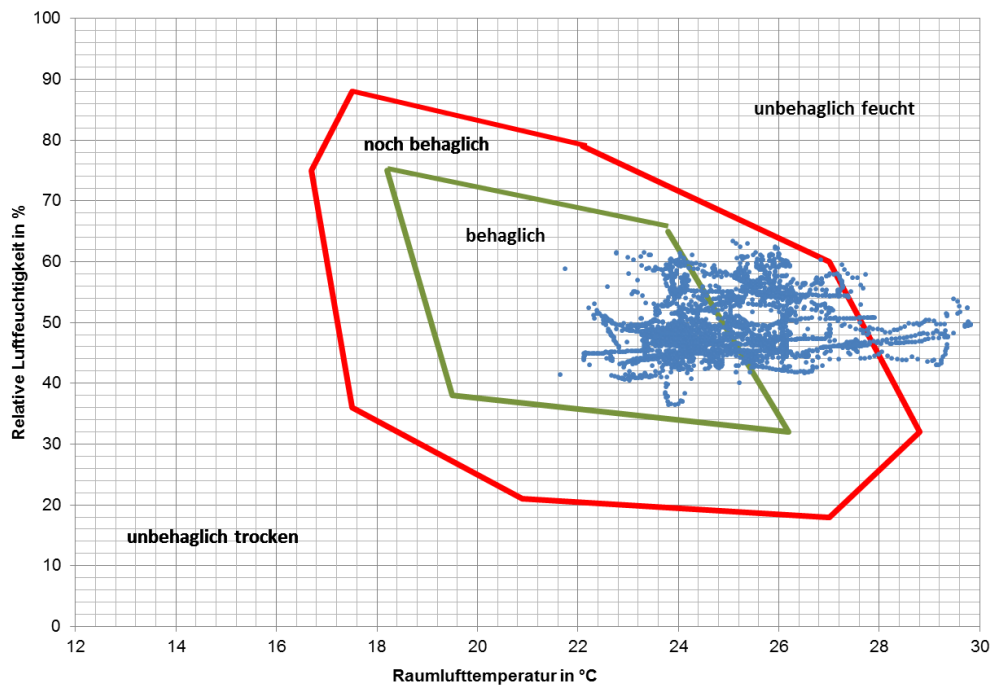


Abbildung 60: Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Kind 1 OG im August.

#### 4.10. Durchführung von Dichtheitstest und Thermografien

Die Gebäudedichtheit wurde durch eine Blower-Door-Messung am 3. Februar 2012 bestimmt. Eine weitere Messung wurde am 24. Februar 2014 zusammen mit einer Thermografieaufnahme durchgeführt.

## 5. Bewertung

### 5.1. Energieeffizienz des Modellgebäudes

Der Vergleich der gemessenen hausbezogenen Verbrauchswerte (gemäß Kapitel 4.3.2) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (gemäß Kapitel 3.2.) zeigt deutliche Abweichungen bei den Stromverbräuchen. Diese lagen im 1. Messjahr (März 2012 bis Februar 2013) bei:

- Wärmepumpe: 5.865 kWh (Messung) anstelle 2.217 kWh (Planung)
- Hilfsenergien: 3.099 kWh (Messung) anstelle 2.275 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 526 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt: 2.910 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem etwa 75 % erhöhten Energieverbrauch: 12.400 kWh (Messung) anstelle 6.992 kWh (Planung). Gleichzeitig zeigt der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen (gemäß Kapitel 4.3.1) mit den vorherberechneten Ertragswerten (gemäß Kapitel 3.2) witterungsbedingte Mindererträge (13.306 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 20 %. Die beiden gegenläufigen Effekte führen dazu, dass in der Messperiode nur 906 kWh Energieüberschüsse anstelle der prognostizierten 9.633 kWh erzielt werden konnten.

Im 2. Messjahr (März 2013 bis Februar 2014) ergaben sich nachfolgende Abweichungen:

- Wärmepumpe: 4.920 kWh (Messung) anstelle 2.217 kWh (Planung)
- Hilfsenergien: 3.282 kWh (Messung) anstelle 2.275 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 524 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt: 1.9070 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem etwa 50 % erhöhten Energieverbrauch: 10.633 kWh (Messung) anstelle 6.992 kWh (Planung). Gleichzeitig zeigt der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen (gemäß Kapitel 4.3.1) mit den vorherberechneten Ertragswerten (gemäß Kapitel 3.2) witterungsbedingte Mindererträge (12.644 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 24 %. Die beiden gegenläufigen Effekte führen dazu, dass in der Messperiode nur 2.011 kWh Energieüberschüsse anstelle der prognostizierten 9.633 kWh erzielt werden konnten.

### 5.2. Verbesserungspotential

Die Analyse der Messungen im 1. und 2. Messjahr ergeben im Bereich der Anlagentechnik erhebliche Ineffizienzen. Hiervon betroffen sind im besonderen Maße:

- Die Betriebstemperaturen des Heizsystems sind deutlich zu hoch (15 bis 20 K über der Auslegungstemperatur). Dies führte mit dazu, dass die Arbeitszahl lediglich bei 2,2 liegt. Mit dazu beigetragen hat auch die nutzungsbedingte Heizungssteuerung, wie unter 4.4.2. beschrieben. Nach Austausch der Wärme-

pumpe und baulichen Veränderungen im Gebäude, Trennung von Erdgeschoss und Obergeschoss bleibt die Entwicklung der Anlagenperformance abzuwarten.

- Die Außenluftvolumenströme liegen häufig deutlich über den Anforderungswerten (400 m<sup>3</sup>/h anstelle 241 m<sup>3</sup>/h) und werden nicht immer bedarfsabhängig geregelt. Hierdurch entstehen sowohl zu hohe Antriebsenergien für die Ventilatoren als auch höhere Lüftungswärmeverluste. Seit März 2013 wird die Lüftungsanlage CO<sub>2</sub>-gesteuert. Zusätzliches Einsparpotential besteht in einem saisonalen Betrieb.
- Ein signifikanter Anteil im Bereich Hilfsenergien fällt auf die Hausautomation. Es ist zu prüfen, ob diese Systeme gesamtenergetisch die erwartete Einsparung aufgrund ihrer Eigenstromverbräuche überhaupt erschließen können.
- Die präsenzabhängige Beleuchtungssteuerung hat nicht zu den prognostizierten niedrigen Verbräuchen geführt. Es ist zu prüfen, ob nicht eine manuelle Schaltung eine höhere Energieeffizienz erzielt. Es bedarf einer Überprüfung der energieeffizienten Grundbeleuchtung, da nutzungsbedingt ergänzend eingesetzte Leuchten (z. B. Stehlampen) einen zusätzlichen Energiebedarf aufweisen.
- Der Planungs-Benchmark für Energieverbräuche im Haushalt ist mit einem Pauschalwert von 2.125 kWh/a evtl. zu niedrig angesetzt. Hier sollte ggf. ein haushaltsgrößenabhängiger Kennwert eingeführt werden.
- Die Solarstrahlung war in beiden Messjahren geringer als in einem langjährigen Durchschnittsjahr, mit dem die Solarerträge vorherberechnet wurden. In einem durchschnittlichen meteorologischen Jahr hätten die zusätzlichen Erträge unter Umständen ausgereicht, um sowohl den gebäudespezifischen Energieverbrauch als auch den Energiebedarf für die Elektromobilität abzudecken und noch zusätzliche Überschüsse ins Netz einzuspeisen.
- Zur Überprüfung, Optimierung und ggf. Anpassung der Messsensorik ist die zügige Abstimmung mit einem Ansprechpartner vor Ort wünschenswert.
- Die Ergebnisse der ersten Betriebsjahre 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.

## 6. Literatur

[1] Fraunhofer IBP: Steckbrief Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität (Stand Mai 2014). Veröffentlicht auf <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/>.

[2] WSGreenTechnologies: Energieeinsparnachweis nach der EnEV 2009 (Stand 5. März 2012), unveröffentlicht.

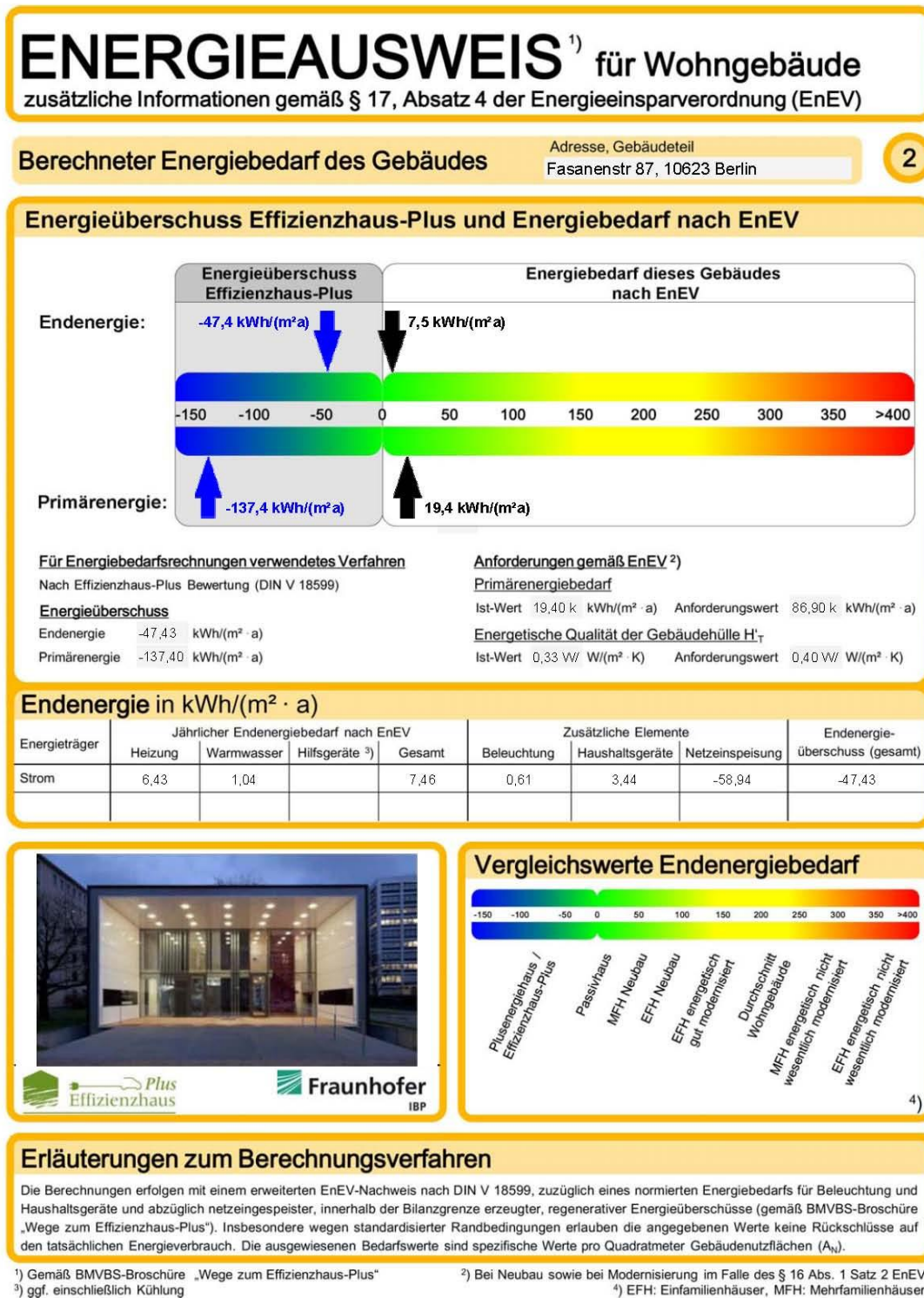
[3] DIN V 18599:2007-02: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.

[4] BMVBS: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand. Bonn, 26. Juli 2007.

[5] Leusden und Freymark: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch, Gesundheitsingenieur (Heft 16, 1951).

## 7. Anhänge

Anhang 1: Energieausweis Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität in Berlin, Fasanenstr. 87.



Anhang 2

Monat	Bezug		Photovoltaik		Projekt-spezifisch	Hausverbrauch					Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch		Heizung	TWW	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	
	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Mrz 12	1.345	1.325	809	517	303	390	125	205	49	300	1.070
Apr 12	895	1.583	1.130	453	153	225	147	183	35	290	880
Mai 12	664	2.075	1.264	812	322	91	110	269	33	263	766
Jun 12	444	1.809	880	930	345	78	115	328	26	242	790
Jul 12	130	1.935	767	1.168	279	42	92	364	34	219	751
Aug 12	461	1.799	881	919	381	41	135	270	29	258	733
Sep 12	549	1.403	700	703	227	65	157	283	32	229	767
Okt 12	842	780	183	597	290	216	128	225	49	223	842
Nov 12	1.952	235	82	154	380	558	157	228	60	221	1.224
Dez 12	2.437	106	18	89	429	878	175	261	64	259	1.636
Jan 13	2.367	91	19	72	476	920	164	257	52	240	1.633
Feb13	1.808	163	20	143	400	720	135	226	62	164	1.308
Summe	13.893	13.306	6.751	6.555	3.984	4.224	1.641	3.099	526	2.910	12.400

Tabelle 8: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von März 2012 bis Februar 2013. Der Verbrauch für die Elektromobilität ist in der Tabelle nicht angegeben.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Projekt-spezifisch	Hausverbrauch					Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch		Heizung	TWW	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	
	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Mrz 13	1.828	686	95	590	489	748	207	276	46	217	1.494
Apr 13	896	1.341	702	639	431	264	167	218	34	163	847
Mai 13	521	1.691	705	986	457	90	167	269	19	239	784
Jun 13	200	2.008	1.111	897	483	59	55	295	33	96	537
Jul 13	212	2.231	1.147	1.084	508	50	48	336	28	234	695
Aug 13	71	1.823	705	1.118	544	10	60	314	33	120	537
Sep 13	491	1.041	233	808	589	145	63	294	49	101	652
Okt 13	932	713	83	630	627	364	63	299	55	101	881
Nov 13	1.578	227	10	217	622	446	66	299	55	229	1.096
Dez 13	1.447	152	6	146	580	527	8	227	50	134	946
Jan 14	1.966	138	4	134	604	806	35	235	63	180	1.320
Feb15	927	592	122	469	453	467	5	220	59	94	845
Summe	11.069	12.644	4.926	7.718	6.387	3.975	945	3.282	524	1.907	10.633

Tabelle 9: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von März 2013 bis Februar 2014. Der Verbrauch für die Elektromobilität ist in der Tabelle nicht angegeben.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Projekt-spezifisch	Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch		Heizung+ TWW	Hilfs-energie	Beleuchtung	Haushalts-geräte	
	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Mrz 14	527	1.303	564	740	462	323	252	56	108	739
Apr 14	373	1.656	907	750	491	138	242	46	87	513
Mai 14	381	1.770	931	839	507	116	261	30	143	550
Jun 14	294	2.024	1.184	839	498	39	257	20	135	451
Jul 14	431	2.066	1.382	684	532	25	246	19	113	402

Tabelle 10: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von März 2014 bis Juli 2014.



Anhang 3

Monat	Essen / Wohnen	Bad	Eltern	Kind 1	Kind 2	HWR	Technik
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mrz 12	22,0	22,8	22,3	22,0	21,5	24,6	21,4
Apr 12	22,4	23,4	22,8	22,6	21,9	25,0	22,5
Mai 12	23,1	24,7	23,8	23,7	23,1	26,1	26,2
Jun 12	22,5	24,2	23,5	23,3	22,7	25,6	25,1
Jul 12	24,0	26,1	25,2	25,1	24,6	27,5	27,5
Aug 12	24,4	25,9	24,9	25,0	24,5	27,1	27,8
Sep 12	22,8	24,3	23,3	22,9	22,8	25,5	24,8
Okt 12	21,3	22,7	21,5	21,1	20,6	24,0	21,4
Nov 12	21,9	22,6	21,2	20,7	20,2	23,5	19,3
Dez 12	21,4	22,2	21,7	20,5	20,7	22,2	17,8
Jan 13	20,3	21,7	20,3	19,8	19,7	20,1	17,6
Feb 13	20,6	22,3	20,1	19,7	19,8	21,3	18,2
Mittelwert Heizperiode* (Oktober – März)	21,3	22,4	21,2	20,6	20,4	22,6	19,3

Tabelle 11: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen in den Aufenthaltsräumen von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	Essen/Wohnen	Bad	Eltern	Kind 1	Kind 2	HWR	Technik
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mrz 13	21,3	22,1	20,9	20,4	20,4	20,9	19,0
Apr 13	21,6	22,5	22,3	21,5	21,7	22,4	22,9
Mai 13	21,4	22,7	22,8	21,8	22,0	23,4	25,4
Jun 13	23,9	26,1	25,1	24,8	24,1	28,8	27,6
Jul 13	26,2	28,0	27,6	27,2	26,1	30,6	29,9
Aug 13	24,9	26,5	25,8	25,6	24,7	28,5	27,5
Sep 13	21,6	22,6	22,0	21,9	21,0	24,1	22,1
Okt 13	22,2	22,2	21,6	21,8	20,7	23,5	20,8
Nov 13	20,9	21,2	20,9	21,3	20,2	22,7	18,12
Dez 13	20,0	21,9	21,0	21,4	20,2	22,7	19,3
Jan 14	21,6	22,4	21,4	21,4	20,8	23,0	19,7
Feb 14	21,7	22,8	21,7	21,7	21,1	23,5	20,35
Mittelwert Heizperiode*	21,3	22,1	21,3	21,3	20,6	22,7	19,5

Tabelle 12: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen in den Aufenthaltsräumen von März 2013 bis Februar 2014.

Anhang 4

Monat	Essen/Wohnen	Bad	Kind 1	Kind 2	HWR	Technik
	%	%	%	%	%	%
Mrz 12	31,4	32,6	32,2	33,3	26,6	30,7
Apr 12	30,4	31,6	31,7	32,8	26,3	28,2
Mai 12	37,6	35,6	37,7	38,8	31,2	30,3
Jun 12	46,0	41,8	44,5	46,3	37,8	38,8
Jul 12	51,7	45,8	49,2	50,8	41,4	41,8
Aug 12	50,1	47,1	49,5	51,2	42,4	40,8
Sep 12	30,7	32,0	34,2	34,4	31,9	33,3
Okt 12	30,9	32,1	34,4	34,6	32,2	33,5
Nov 12	30,7	32,0	34,2	34,4	31,9	33,3
Dez 12	32,0	34,2	34,9	34,3	31,4	35,8
Jan 13	31,6	33,7	34,2	34,5	33,8	34,4
Feb 13	30,3	31,6	33,8	34,1	31,3	33,0

Tabelle 13: Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Luftfeuchten in den Aufenthaltsräumen von März 2012 bis Februar 2013.

Monat	Essen/Wohnen	Bad	Kind 1	Kind 2	HWR	Technik
	%	%	%	%	%	%
Mrz 13	26,2	30,5	29,4	29,4	28,8	27,1
Apr 13	35,0	38,6	37,0	36,6	33,9	30,0
Mai 13	47,4	47,6	48,6	47,6	42,7	35,3
Jun 13	46,7	42,3	46,7	47,9	34,8	36,1
Jul 13	43,8	39,1	41,6	44,0	32,9	34,3
Aug 13	44,5	40,3	43,6	45,9	35,7	37,5
Sep 13	48,6	45,3	48,6	51,3	40,8	45,9
Okt 13	41,4	41,7	43,1	46,3	37,6	44,4
Nov 13	35,9	36,5	35,8	38,1	32,1	42,2
Dez 13	36,3	33,8	34,5	36,9	30,9	36,9
Jan 14	32,4	31,9	33,7	34,6	28,9	32,5
Feb 14	30,4	29,9	31,7	32,6	27,4	30,5

Tabelle 14: Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Luftfeuchten in den Aufenthaltsräumen von März 2013 bis Februar 2014.