

IBP-Bericht WB 183/2015

Messtechnische und energetische Validierung des BMUB–Effizienzhauses Plus in Berlin - Messphase 2

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

Hans Erhorn
Antje Bergmann
Johann Reiß
Michael Beckert

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

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

IBP-Bericht WB 183/2015

Messtechnische und energetische Validierung des BMUB–Effizienzhauses Plus in Berlin - Messphase 2

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

Der Bericht umfasst

49 Seiten Text

13 Tabellen

57 Abbildungen

3 Anhänge

Hans Erhorn
Antje Bergmann
Johann Reiß
Michael Beckert

Stuttgart, 1. Dezember 2015

Institutsleiter



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

Abteilungsleiter



Dipl.-Ing.
Hans Erhorn

Bearbeiter



Dipl.-Ing.
Antje Bergmann

Inhalt

1	Kurzfassung	4
	Summary	4
2	Ausgangslage	5
3	Projektdurchführung	6
3.1	Beratung, Koordination und Kommunikation	6
3.2	Überprüfung und ggf. Anpassung der Messeinrichtung	6
4	Auswertung der Messdaten	9
4.1	Meteorologische Randbedingungen	10
4.1.1	Solarstrahlung	11
4.1.2	Außenlufttemperaturen	12
4.1.3	Klimabereinigung	13
4.2	Monatliche Energiebilanzen	14
4.2.1	Energiequelle	14
4.2.2	Energienutzung	18
4.2.3	Kumulierte Endenergie	21
4.2.4	Eigenstromnutzung und Autarkiegrad	23
4.3	Vergleich Messung und Berechnung nach DIN V 18599 einschl. Effizienzhaus Plus-Standard	24
4.3.1	Endenergie Gesamtgebäude	24
4.3.2	Endenergie Wärmebereitung und Hilfsenergie	26
4.3.3	Endenergie gesamter Haushaltsstrom	28
4.3.4	Endenergie Beleuchtung	31
4.3.5	Endenergie Haushaltsgeräte (ohne Kochen und Sonstiges)	32
4.3.6	Endenergie Kochen	33
4.3.7	Endenergie sonstige Haushaltsprozesse	34
4.4	Performance der Anlagentechnik	35
4.4.1	Wärmeerzeuger	35
4.4.2	Lüftungsanlage	39
4.4.3	Hausbatterie	41
4.5	Innenraumtemperaturen Sommer	41
4.6	Raumlufttemperaturen Winter	43
4.7	Raumluftqualität	44
4.8	Behaglichkeit	45
5	Bewertung	48
5.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	48
5.2	Verbesserungspotential	49

6	Literatur	49
	Anhänge	50
	Anhang 1	51
	Anhang 2	57
	Anhang 3	58

1 Kurzfassung

Das ehemalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) hat im Rahmen der „Forschungsinitiative Zukunft Bau“ die Förderung von Modellprojekten im Effizienzhaus Plus Standard initiiert. Diese wird jetzt vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) fortgeführt. Dazu wurde in Berlin ein Modellgebäude als Pilot im Effizienzhaus Plus Standard errichtet. Mit diesem Modellhaus sollen die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Konzeptkomponenten erprobt und Erfahrungen für die Breitenanwendung gesammelt werden. Im Rahmen eines Monitoringprogramms wurde das Gebäude vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik im bewohnten Zustand messtechnisch erfasst und energetisch bewertet. Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse nach Ablauf der 2. Messphase nach dem 3. Messjahr.

Auch im 3. Messjahr hat das Gebäude den Effizienzhaus Plus-Standard erreicht und einen Überschuss von 5.530 kWh/a Strom aus den dach- und fas-sadenintegrierten Photovoltaikanlagen erzeugt. Der vorherberechnete Ertrag der Photovoltaikanlage konnte nicht erreicht werden und wurde aufgrund von meteorologischen Randbedingungen und Verschattungen einzelner Elemente um 19 % unterschritten.

Seit Beginn der Messwerterfassung im März 2012 konnten die Energieverbräuche im Gebäude im Verlauf der Messzeiträume durch bauliche Veränderungen sowie durch Optimierungen an der Anlagen- und Messtechnik kontinuierlich reduziert werden. Nach dem 3. Messjahr waren sie nur noch 15 % höher als vorherberechnet. Die Vorgaben des Effizienzhaus Plus-Standards für Beleuchtung und Haushaltsgeräte und –prozesse wurden während der bewohnten Phase überwiegend eingehalten. Auffällig bleibt der hohe Endenergiebedarf für die Hilfsenergie, wobei die Hausautomation einen Anteil von 15 % ausmacht.

Die Ergebnisse der ersten Betriebsjahre zeigen, dass bei hocheffizienten Gebäuden eine Monitoring- und Einregulierungsphase zwingend eingeplant werden muss, um Verbrauchsdaten zu erhalten und die planerisch ermittelten Kennwerte auch im praktischen Betrieb überprüfen und gegebenenfalls optimieren 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 Fraun-

hofer Institute for Building Physics. The present report describes the results obtained after the third year of monitoring.

Also after the third monitoring period the building reached the Efficiency House Plus Standard and generated an energy surplus of 5.530 kWh from the roof and façade integrated photovoltaic systems. The predicted solar power yield was not reached and failed because of meteorological conditions and the shadowing of single elements to reach the predicted yield about 19 %.

With the beginning of the monitoring in March 2012 the energy consumption of the building was due to constructional changes and improvements of the technical installations and the measurement equipment was in the course of the measuring periods continuously reduced. After the third measuring period the energy consumption was only 15 % above the calculated consumption. The requirements of the Efficiency House Plus Standard concerning lighting and domestic electricity were maintained. Noticeable is the high energy consumption of the auxiliary energy with 15 % for house automation.

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 to collect data of consumption and 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 BMUB 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 die Mobilität.

Das Gebäude wurde 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. Von Mai 2014 bis April 2015 wurde das Effizienzhaus Plus von einer weiteren Testfamilie bewohnt.

Für die messtechnische und energetische Validierung des Gebäudes wurde ein Begleitforschungsvorhaben zur wissenschaftlichen Unterstützung des BMUB 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:

- Beratung, Koordination und Kommunikation
- Überprüfung und ggf. Anpassung der Messeinrichtung
- kontinuierliche Kontrolle der Messdaten
- Auswertung der Messdaten

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 eine Besprechung in Berlin (Februar 2015) sowie diverse Telefonkonferenzen stattgefunden.

3.2 Überprüfung und ggf. Anpassung der Messeinrichtung

In einem Messkonzept wurden vier Messebenen entwickelt, die das Innenraumklima im Erd- und Obergeschoss sowie die Daten für die Elektro- und Wärmeversorgung aufzeichneten. Die Messkonfiguration ist auf den nachfolgenden Skizzen gezeigt. Zur Bestimmung des Innenraumklimas wurden in den einzelnen Räumen des Erd- und Obergeschosses die Parameter Temperatur, relative Luftfeuchte und CO₂-Konzentration der Raumluft, wie in Bild 1 und Bild 2 gezeigt, gemessen.

INNENRAUMKLIMA – ERDGESCHOSS

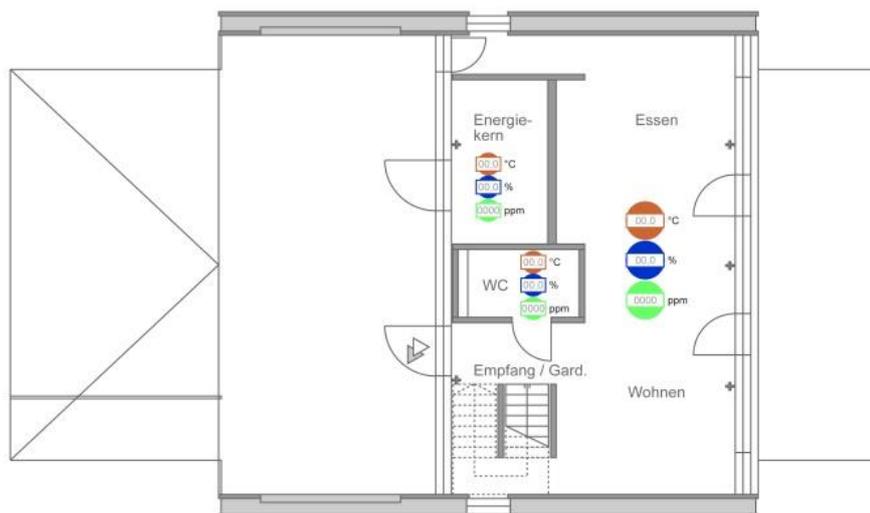


Bild 1:
Darstellung der Messsensorensymbole in den einzelnen Räumen des Erdgeschosses.

INNENRAUMKLIMA – OBERGESCHOSS

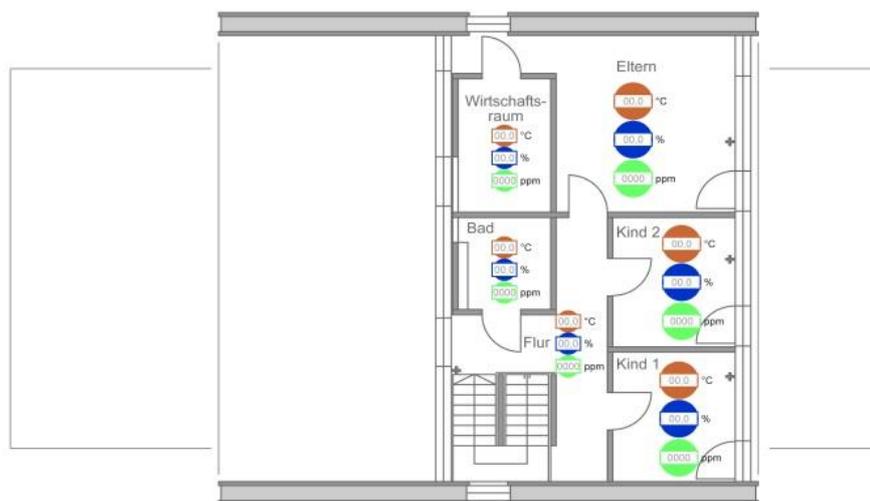


Bild 2:
Darstellung der Messsensorensymbole in den einzelnen Räumen des Obergeschosses.

Die Stromverbräuche für die Elektroversorgung des Hauses wie Heizung, Trinkwarmwasser und Haushaltsstrom sowie die Erträge aus erneuerbaren Energien wurden durch die Messkonfiguration Elektroversorgung erfasst (Bild 3). Hier wurden auch die Wetterdaten des Außenklimas wie Temperatur, rela-

tive Luftfeuchte, Globalstrahlung horizontal und vertikal gemessen. Auf der Grundlage der Messwerte aus dem 1. und 2. Messjahr hat sich gezeigt, dass die PV-Anlage unter anderem aufgrund einer Teilverschattung durch einen Baum weniger Strom erzeugt als prognostiziert war. Im März 2015 fand daher eine Änderung der Verschaltung der Module statt, anstatt der Reihenschaltung wurden die Module parallel verschaltet.

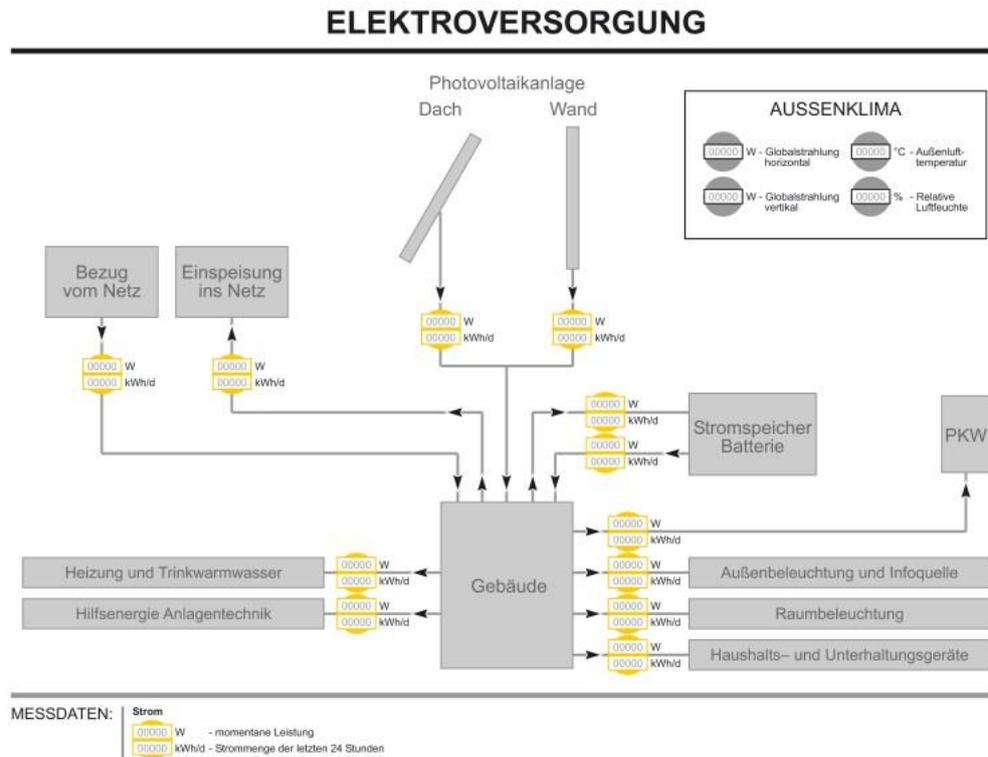


Bild 3: schematische Darstellung der Elektroversorgung und Angabe der Messsensorensymbole für die Erfassung von Elektroenergie und Außenklima.

Die Messkonfiguration der Wärmeversorgung, dargestellt in Bild 4, erfasst die Daten der Wärmeerzeugung für Heizen, Trinkwarmwasserbereitstellung und die Lüftungsanlage. Die im Februar 2014 neu eingebaute modulierende Split-Luft/Wasser-Wärmepumpe ist mit einem integrierten Pufferspeicher und Heizstab versehen. Die Wärmepumpe bedient vier Heizkreise: Heizkreis 1 (Luftwärmer Zuluft), Heizkreis 2 (Fußbodenheizung Obergeschoss), Heizkreis 3 (Trinkwarmwasserbereitung) und Heizkreis 4 (Fußbodenheizung Erdgeschoss). Ein Volumenstrommesser zur Aufzeichnung der zuströmenden Zuluftmenge der Lüftungsanlage an das Gebäude wurde nicht eingebaut.

WÄRMEVERSORGUNG

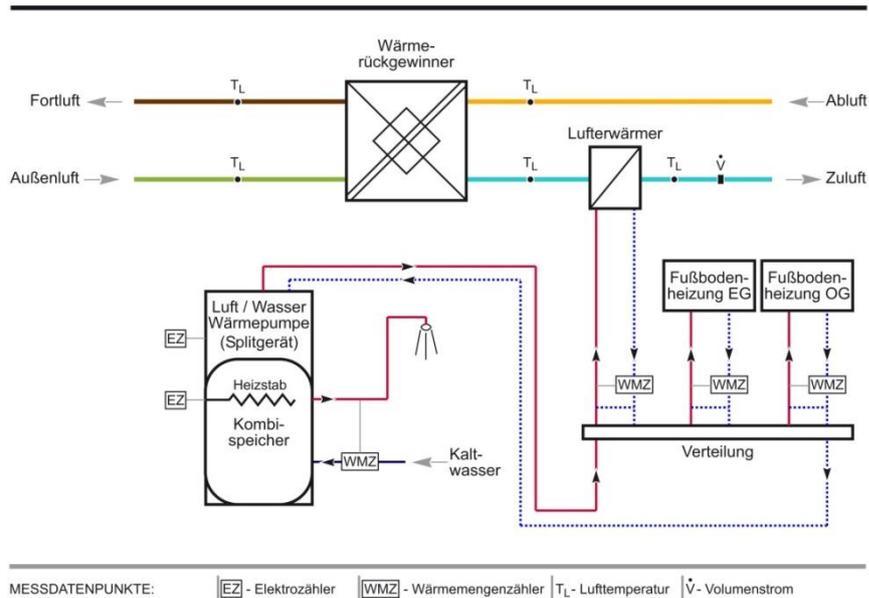


Bild 4:
schematische Darstellung der Wärmeversorgung und Angabe der Messensoren-symbole für die Erfassung von Wärme- und Stromverbräuchen ab Januar 2014.

4 Auswertung der Messdaten

Die Messwerte wurden seit dem Bezug des Hauses im März 2012 kontinuierlich übermittelt. Seit diesem Zeitpunkt wurden auch ausgewählte Ergebnisse online auf der Webseite des ehemaligen BMVBS, jetzt BMUB, aktuell auf www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/, dargestellt. Aus der mehrphasigen Projektlaufzeit (Oktober 2011 bis Juli 2015) und dem Beginn der Messwerterfassung (März 2012) ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten drei Messperioden. Bei der Auswertung der Messdaten werden im Folgenden die Ergebnisse für die 3. Messperiode sowie ein ausgewählter Vergleich der 1. und 3. Messperiode dargestellt.

Tabelle 1:
Messperioden.

Messperiode	Zeit	Nutzung
1	März 2012 - Februar 2013	Testfamilie 1
2	März 2013 - Februar 2014	Testfamilie 1 (bis Juni 2013) Veranstaltungen und Ausstellungen (ab Juli 2013)
3	März 2014 – Februar 2015	Veranstaltungen und Ausstellungen (bis April 2014) Testfamilie 2 (ab Mai 2014)

Zum Vergleich der Messdaten mit den vorherberechneten Werten sind der Endenergiebedarf und die Endenergieerzeugung für das Gebäude in Tabelle 2 gezeigt. Auf Basis der EnEV-Berechnung vom März 2012 [1] nach DIN V 18599 [2] einschließlich der Berücksichtigung des Effizienzhaus Plus-Standards

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 in der Summe 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 16.625 kWh Strom erzeugen. Die Überschüsse stehen für den Betrieb der Elektromobile zur Verfügung und werden darüber hinaus ins öffentliche Netz eingespeist.

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

Bedarf			Deckung		
Komponente	Strombedarf		Komponente	Stromertrag	
	kWh/a	kWh/m ² a*		kWh/a	kWh/m ² a**
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	2.500	12,3	**) bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 98,2 m ² bzw. auf die PV-Modulfläche Fassade 73,0 m ²		
Beleuchtung	2.500	12,3			
Warmwasser	2.217	10,9			
Heizung	2.217	10,9			
*) bezogen auf die Gebäudenutzfläche 203 m ²					
Gesamt	12.992 kWh/a		Gesamt	16.625 kWh/a	

4.1 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 in der Fasanenstraße 87 und Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes in Berlin-Tegel und Potsdam, dem Referenzklima gegenübergestellt.

4.1.1 Solarstrahlung

Der Ertrag der Photovoltaikanlage ist maßgeblich von der Intensität 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 erste und dritte Messperiode in den Bildern 5 und 6 dargestellt. Es zeigen sich Abweichungen zwischen gemessener Strahlung und Referenzklima: in der ersten Messperiode war für die Monate April bis August die mittlere monatliche Strahlungsintensität am Projektstandort geringer als die des Referenzklimas und der naheliegenden Wetterstation des DWD in Potsdam.

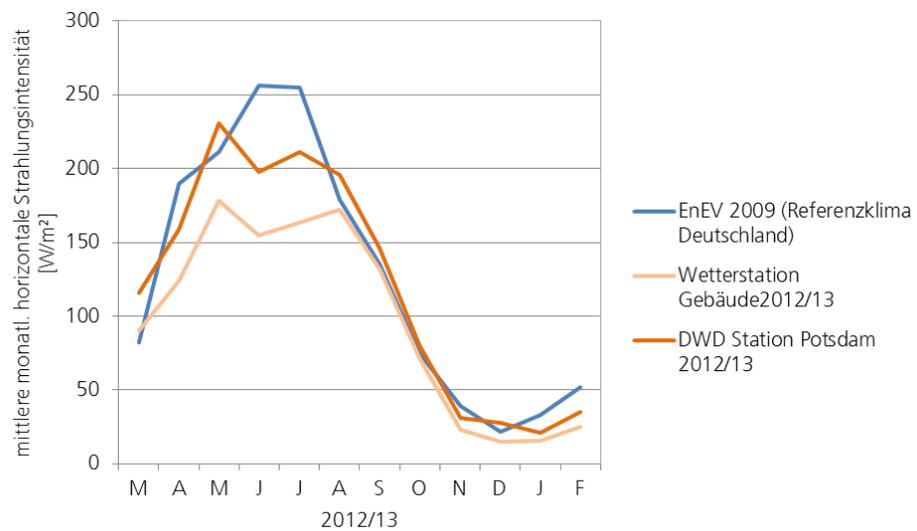


Bild 5: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

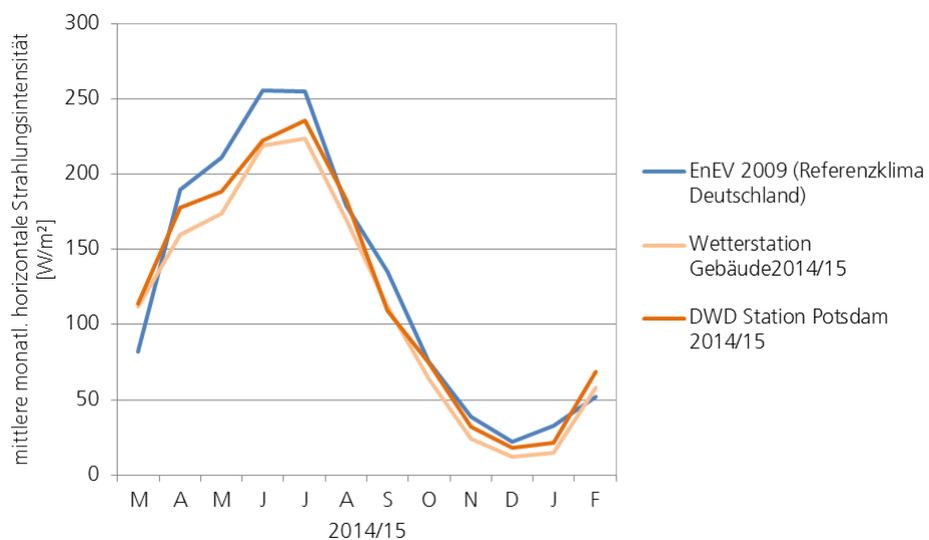


Bild 6: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im Messzeitraum März 2014 bis Februar 2015.

In der dritten Messperiode war die mittlere horizontale Strahlungsintensität von April bis Juli geringer als das Referenzklima. Gegenüber der Wetterstation des DWD in Potsdam waren die Abweichungen nur gering. In den übrigen Monaten ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen Werten und dem Referenzklima.

4.1.2 Außenlufttemperaturen

Den Verlauf der Außenlufttemperatur gemäß dem Referenzklima und den gemessenen Werten der Wetterstation des Gebäudes und des DWD in Berlin-Tegel zeigt für den Messzeitraum 2012 / 2013 Bild 7. Die Außenlufttemperatur am Gebäude ist von März 2012 bis November 2012 und im Januar 2013 höher als die des Referenzklimas.

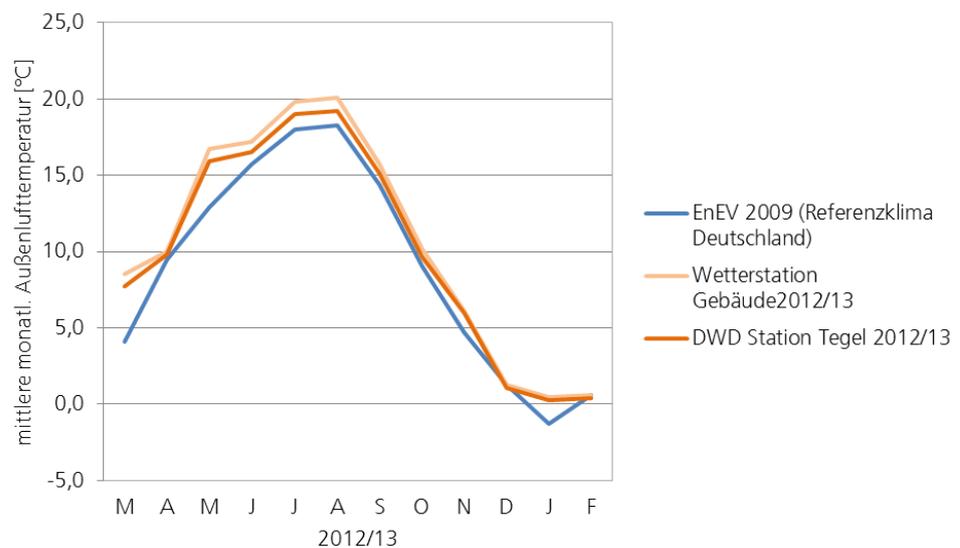


Bild 7: gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2012 bis Februar 2013.

Für den Messzeitraum 2014/2015 sind die gemessenen Außenlufttemperaturen der Wetterstation des Gebäudes und der Station des DWD in Potsdam sowie das Referenzklima in Bild 8 gezeigt. Bis auf den August 2014 war die Außenluft wärmer als im Referenzklima festgelegt.

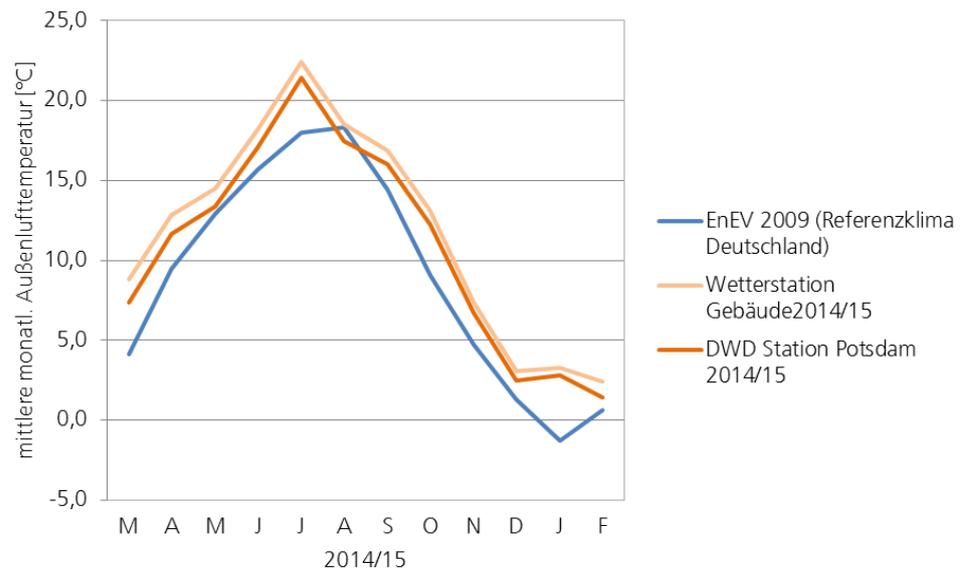


Bild 8:
gemessene und vorgegebene mittlere monatliche Außenlufttemperaturen im Messzeitraum März 2014 bis Februar 2015.

4.1.3 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 3. Messzeitraum ermittelten Gradtagzahlen sind in Tabelle 3 dargestellt. Abweichungen für den 1. Messzeitraum ergeben sich aus der Aktualisierung des langjährigen Mittels.

Tabelle 3:
Gradtagzahlen für den Standort Berlin und Referenzklima Deutschland.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20 / 12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Berlin in der Messperiode März 2012 bis Februar 2013	3.164
Gradtagzahl am Standort Berlin in der Messperiode März 2014 bis Februar 2015	2.659
Gradtagzahl am Standort Berlin für das langjährige Mittel (1970 bis 2014)	3.287
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Sowohl in der ersten Messperiode (März 2012 bis Februar 2013) als auch in der dritten Messperiode (März 2014 bis Februar 2015) 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:

Erste Messperiode:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Berlin: $KF = 3.287 \text{ Kd} / 3.164 \text{ Kd} = 1,04$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima: $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3.164 \text{ Kd} = 1,14$

Dritte Messperiode:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Berlin: $KF = 3.287 \text{ Kd} / 2.659 \text{ Kd} = 1,24$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima: $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.659 \text{ Kd} = 1,35$

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 1,04 bzw. 1,24 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 [3]) müsste der Heizenergieverbrauch mit dem Klimafaktor 1,14 bzw. 1,35 multipliziert werden.

4.2 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.

4.2.1 Energiequelle

Bild 9 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. Für das 3. Messjahr ist die monatliche Gegenüberstellung des Energieertrags und der Energienutzung in Bild 10 gezeigt. Hier wurden von der Photovoltaikanlage 13.490 kWh Strom generiert, wovon 6.974 kWh selbst im Haus genutzt und 6.516 kWh in das öffentliche Netz eingespeist wurden.

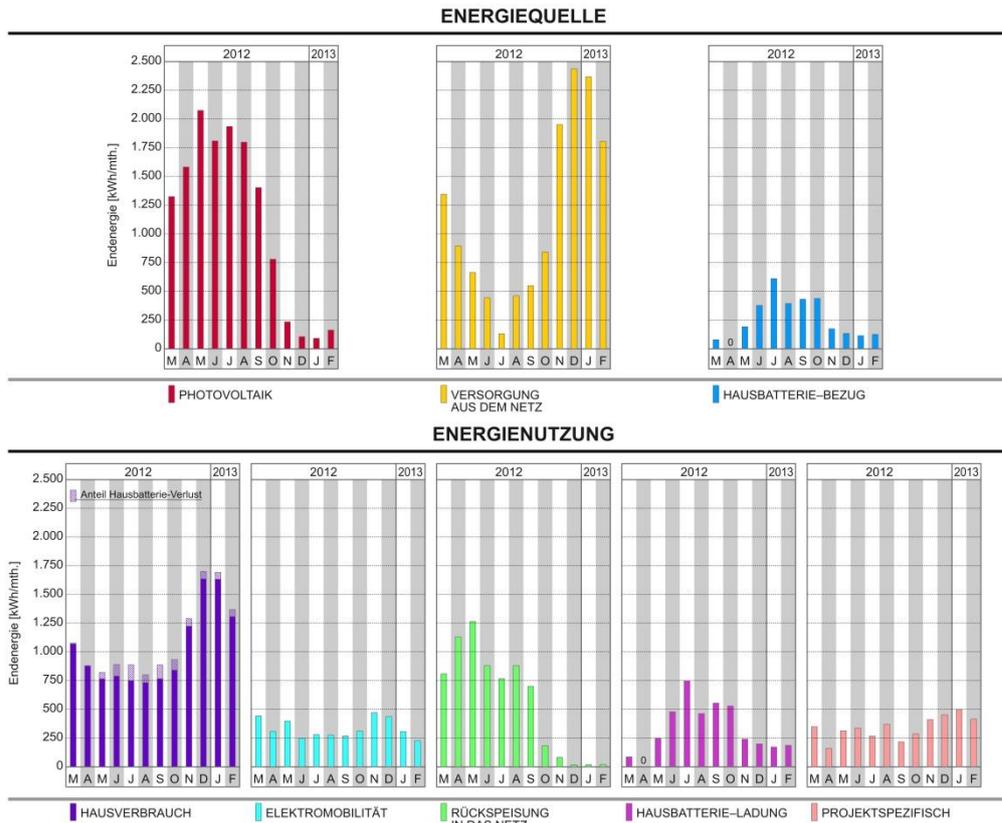


Bild 9:
Energiequelle und Energienutzung für das 1. Messjahr.

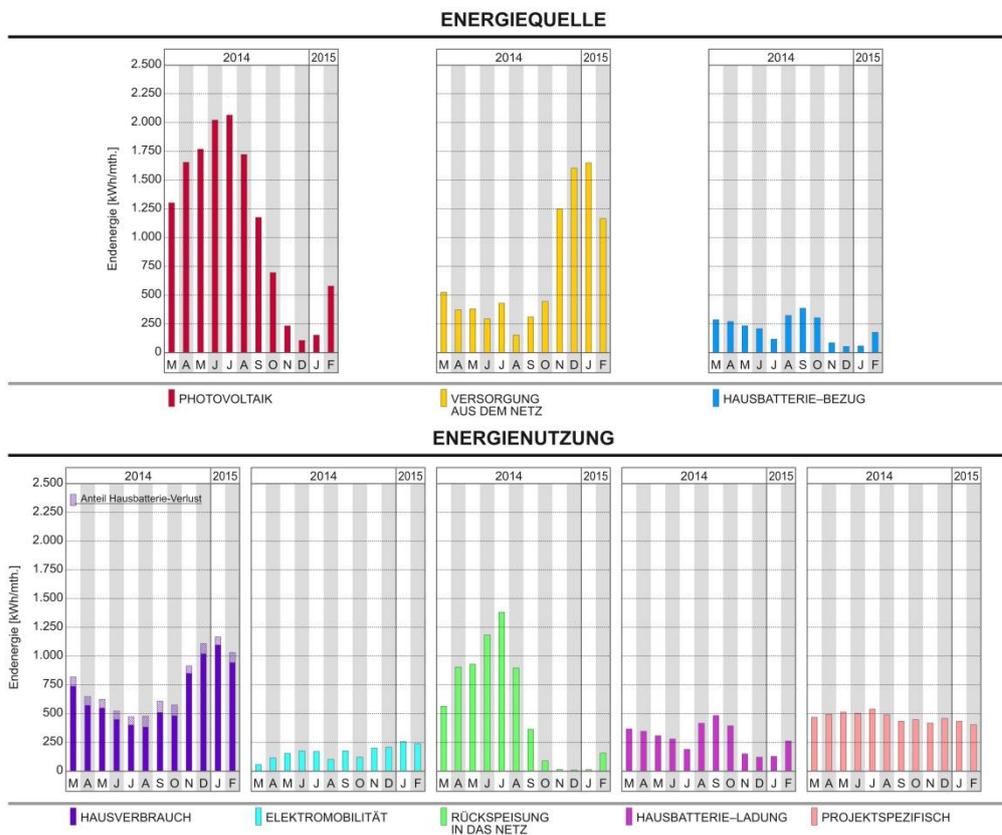


Bild 10:
Energiequelle und Energienutzung für das 3. Messjahr.

Den monatlichen Gesamtertrag der Photovoltaikanlage im Vergleich zu der Berechnung nach DIN V 18599 sowie die mittleren Strahlungsintensitäten der Wetterstation des Gebäudes und die Vorgaben des Referenzklimas zeigt für das Messjahr 2012 / 2013 Bild 11 und für das Jahr 2014 / 2015 Bild 12.

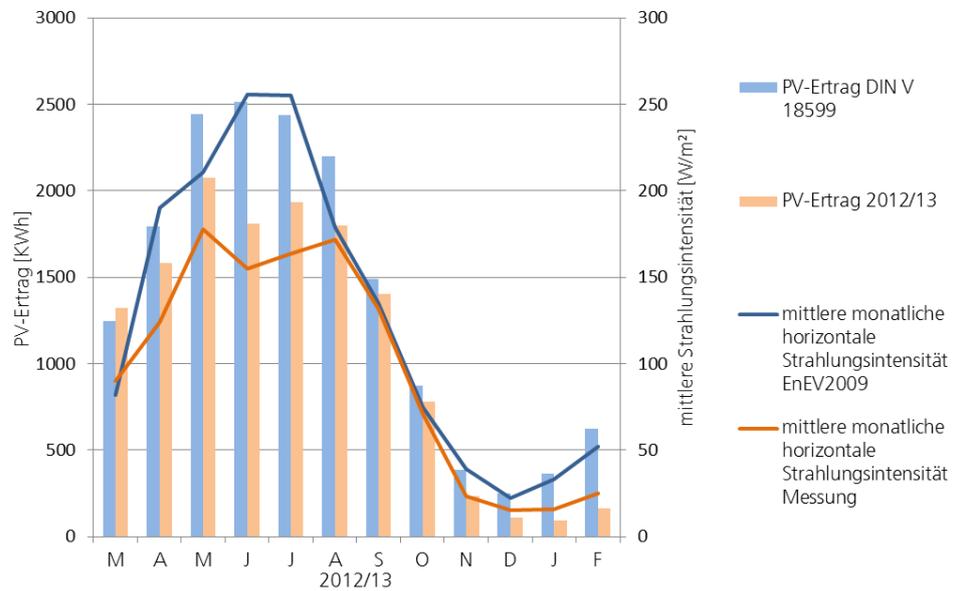


Bild 11: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensität und Stromerträge aus der PV-Anlage für das Jahr 2012 / 2013.

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. Im 3. Messjahr wurde von der PV-Anlage ein Ertrag von 13.490 kWh gewonnen, das sind etwa 19 % weniger als prognostiziert.

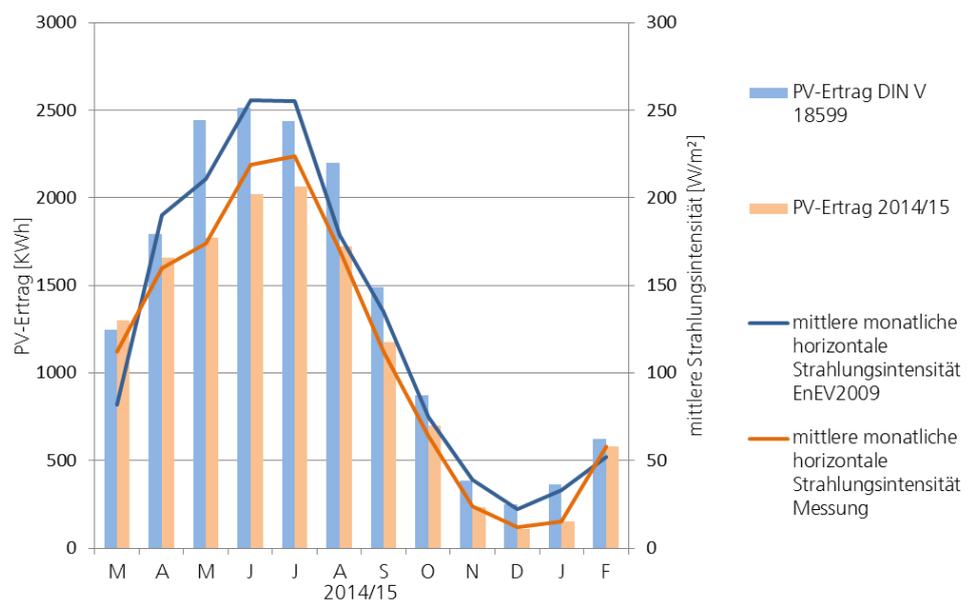


Bild 12: vorherberechnete und gemessene Strahlungsintensität und Stromerträge aus der PV-Anlage für das Jahr 2014 / 2015.

Eine Aufteilung der erzeugten Stromerträge auf die PV-Module im Dach- und Wandbereich war erst ab August 2012 möglich und ist in Bild 13 für das 1. Messjahr und in Bild 14 für das 3. Messjahr gezeigt. Im 1. Messjahr zeigte sich eine relativ gute Übereinstimmung zwischen dem Hauptzähler und der Summe der Einzelzähler. Das 3. Messjahr ist von Messausfällen und Unstimmigkeiten zwischen Einzelzählern und Gesamtzähler geprägt. Die Messsensorik der einzelnen Wechselrichter liefert kein zuverlässiges Ergebnis.

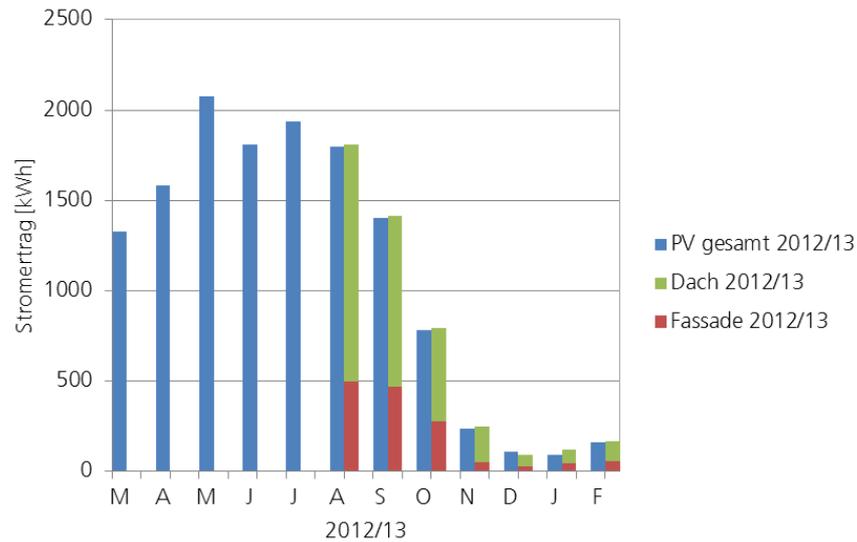


Bild 13: gemessener Gesamtstromertrag sowie die Stromerträge der einzelnen PV-Elemente im Jahr 2012 / 2013.

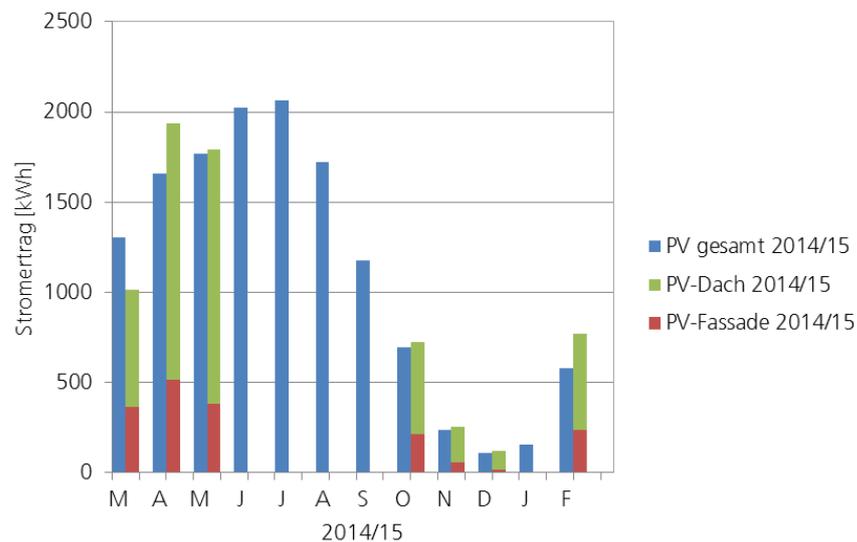


Bild 14: gemessener Gesamtstromertrag sowie die Stromerträge der einzelnen PV-Elemente im Jahr 2014 / 2015.

Anfang März 2015 wurde die Schaltung der Photovoltaikanlage im Dachbereich von einer Reihen- in eine Parallelschaltung verändert. Aufgrund der geringen Datenlage ist hier noch keine aussagekräftige Beurteilung möglich.

4.2.2 Energienutzung

Die Monatsbilanzen des Endenergieverbrauchs aufgeteilt in den reinen Hausverbrauch, einen projektspezifischen Anteil und den Verbrauch für die Elektromobilität für das 1. Messjahr (März 2012 - Februar 2013) sind in Bild 15 dargestellt. Die Messwerte der 3. Messphase (März 2014 – Februar 2015) zeigt Bild 16. Diese Diagramme sind auf der Homepage der Forschungsinitiative Zukunft Bau für jedermann zugänglich. Gemäß der Diagramme lässt sich der reine Hausverbrauch weiter aufteilen in die Verbräuche für Heizung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung, Hilfsenergie der Anlagentechnik und Elektrogeräte (Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges) und hat im 1. bis 3. Messjahr die in Tabelle 4 dargestellten Jahresendenergieverbräuche. Im 3. Messjahr konnte aufgrund der Kompaktheit der neu eingebauten Wärmepumpe messtechnisch keine getrennte Aufzeichnung der Verbräuche für Heizung und Warmwasser erfolgen. Des Weiteren sind die Endenergieverbräuche für den projektspezifischen Anteil und die Elektromobilität aufgeführt. Die monatlichen Zahlenwerte sind den Tabellen 6 bis 11 im Anhang 1 zu entnehmen.

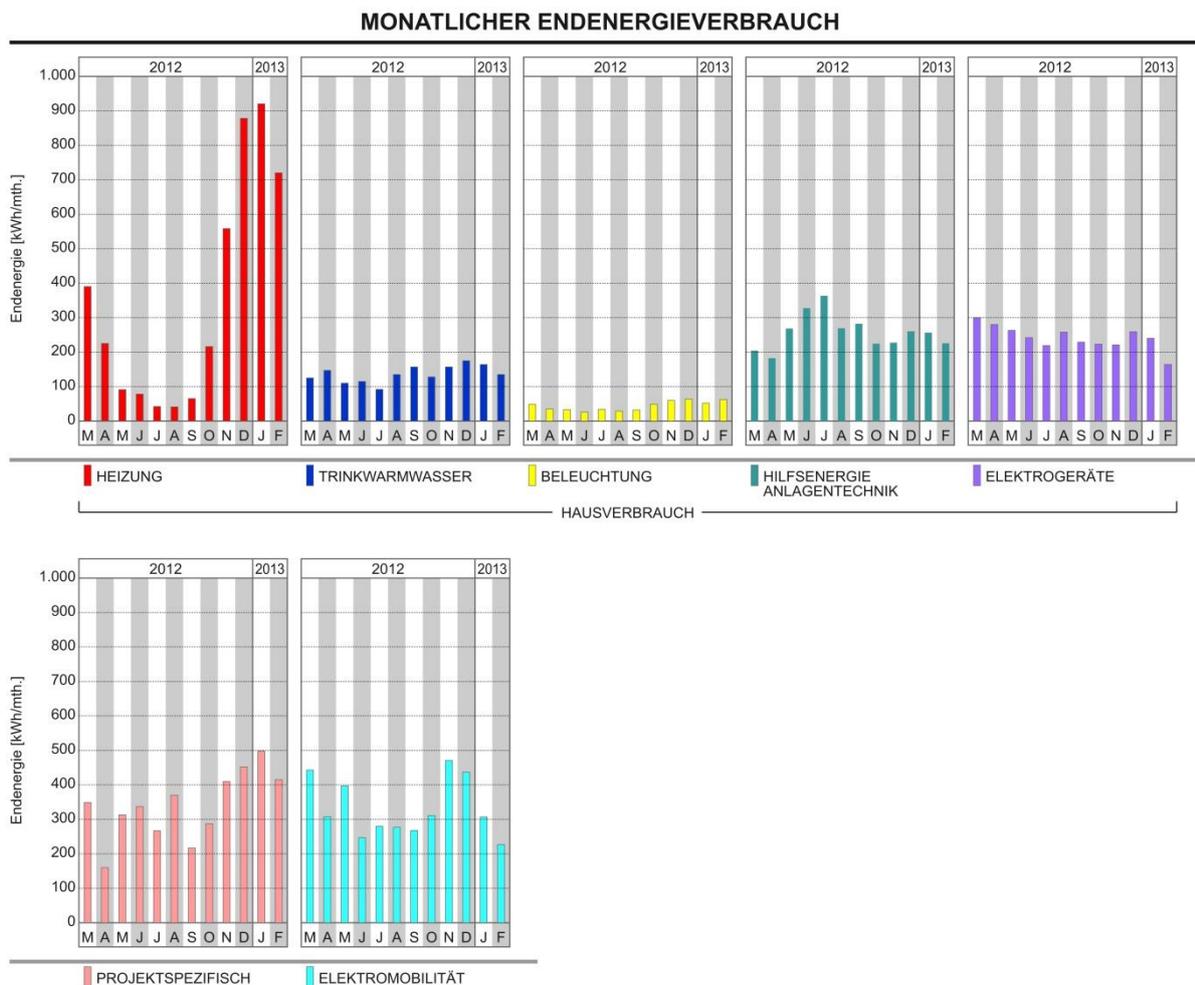


Bild 15:
monatlicher Endenergieverbrauch für das 1. Messjahr.

MONATLICHER ENDEENERGIEVERBRAUCH

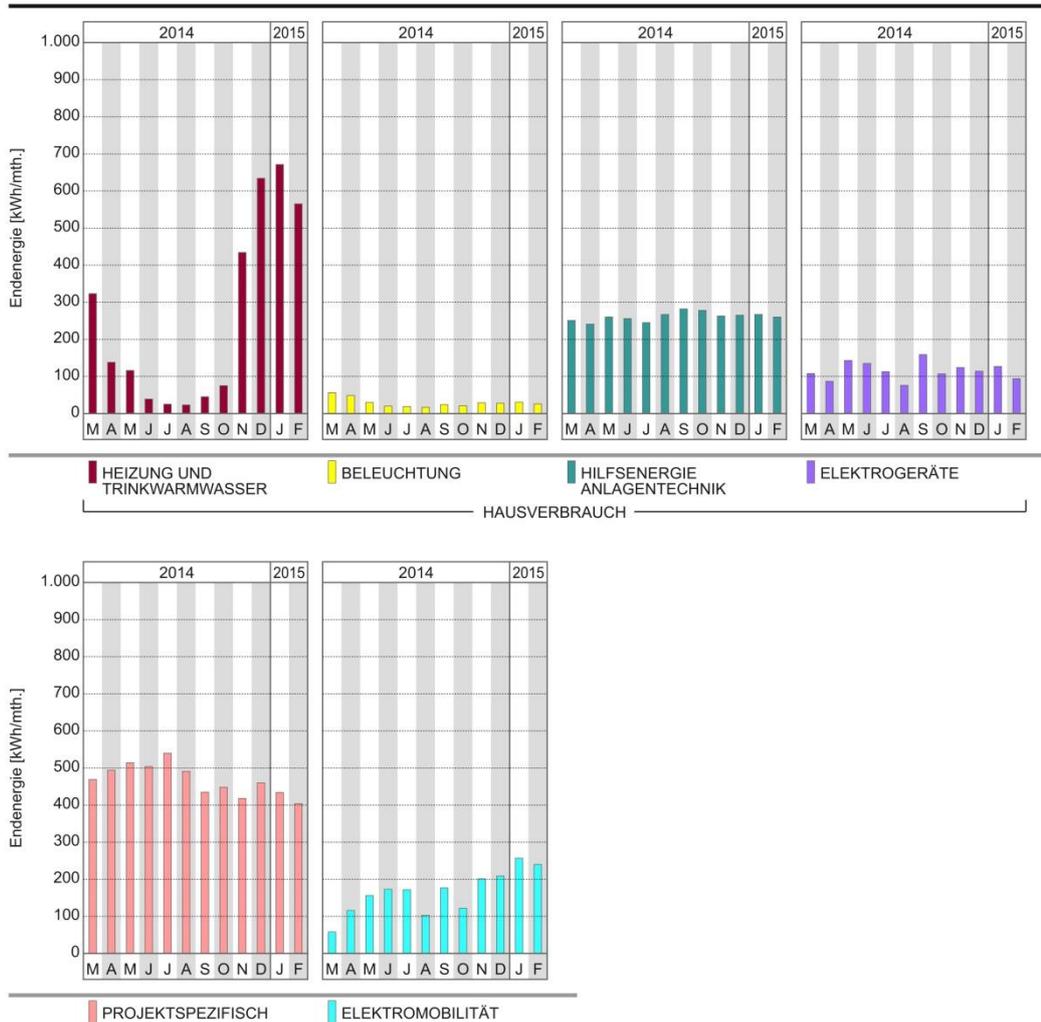


Bild 16:
monatlicher Endenergieverbrauch für das 3. Messjahr.

Tabelle 4:
Energieverbrauch für das 1. bis 3. Messjahr.

Endenergieverbrauch	1. Messjahr 3/2012 – 2/2013	2. Messjahr 3/2013 – 2/2014	3. Messjahr 3/2014 – 2/2015
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Heizwärmebereitstellung Wärmepumpe	4.224	3.975	3.088
Trinkwarmwasserbereitung Wärmepumpe	1.641	945	
Hilfsenergie der Anlagentechnik	3.099	3.282	3.139
Beleuchtung	526	524	348
Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse & Sonstiges	2.910	1.907	1.386
Summe Hausverbrauch	12.400	10.633	7.960
projektspezifisches	4.074	6.594	5.610
Elektromobilität	3.974	1.560	1.988

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

- Batterie Heizung, Batterielüftung
- Rohr-Begleitheizung
- Außenbeleuchtung
- Rigolenpumpe
- Infomonitor
- EDV-Schrank mit PC-Außendarstellung, Videoumschalter
- Zählerdifferenz

Der Messsensor „EDV-Schrank“ registriert sowohl Energieverbräuche, die dem Hausverbrauch zuzuordnen sind, als auch solche, die projektspezifisch sind, daher wurden 50 % des Verbrauchs dem projektspezifischen Anteil und 50 % dem Hausverbrauch (Hilfsenergie) zugeordnet. Im ersten Monitoringjahr betrug der projektspezifische Energieverbrauch 4.074 kWh/a und teilte sich prozentual gemäß Bild 17 auf die einzelnen Verbraucher auf.

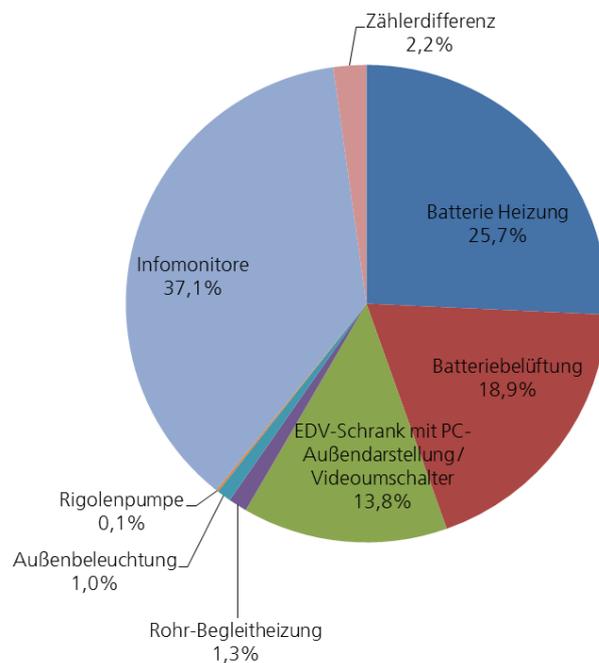


Bild 17: Aufteilung des projektspezifischen Anteils im 1. Messjahr (März 2012 bis Februar 2013).

Im dritten Monitoringjahr betrug der projektspezifische Energieverbrauch 5.610 kWh/a und teilte sich gemäß Bild 18 auf die einzelnen Verbraucher auf. Die Erhöhung des Anteils „projektspezifisch“ im dritten Messjahr resultiert zum einen aus der Optimierung der Messwerterfassung, zum anderen aus einem verstärkten Gebrauch der Infomonitor und der Außenbeleuchtung. Durch zusätzliche Messsensoren, die ab Dezember 2012 in Betrieb gingen war eine detailliertere Zuordnung der Energieverbräuche möglich.

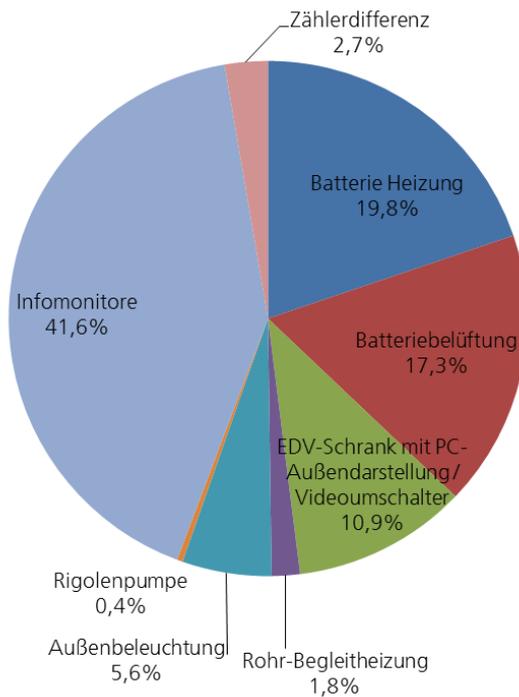


Bild 18: Aufteilung des projektspezifischen Stromanteils im 3. Messjahr (März 2014 bis Februar 2015).

Die Möglichkeit der Nutzung der E-Mobilität in Form von elektrisch angetriebenen Fahrrädern und Autos wurden in der 1. und 3. Messperiode häufig genutzt. Gemäß den Bildern 15 und 16 wurden im 1. Messzeitraum Elektroverbräuche für die Elektromobilität von 3.974 kWh und im 3. Messzeitraum von 1.988 kWh verzeichnet.

4.2.3 Kumulierte Endenergie

Der Verlauf der kumulierten (aufsummierten) Endenergie für den Stromverbrauch des Hauses und der produzierten Energie der Photovoltaik ist für das 1. Messjahr in Bild 19 und für das 3. Messjahr in Bild 20 gezeigt. Im ersten Messjahr wurde ein Überschuss von 906 kWh/a erzeugt und im 3. Messjahr betrug er 5.530 kWh/a.

KUMULIERTE ENDENERGIE

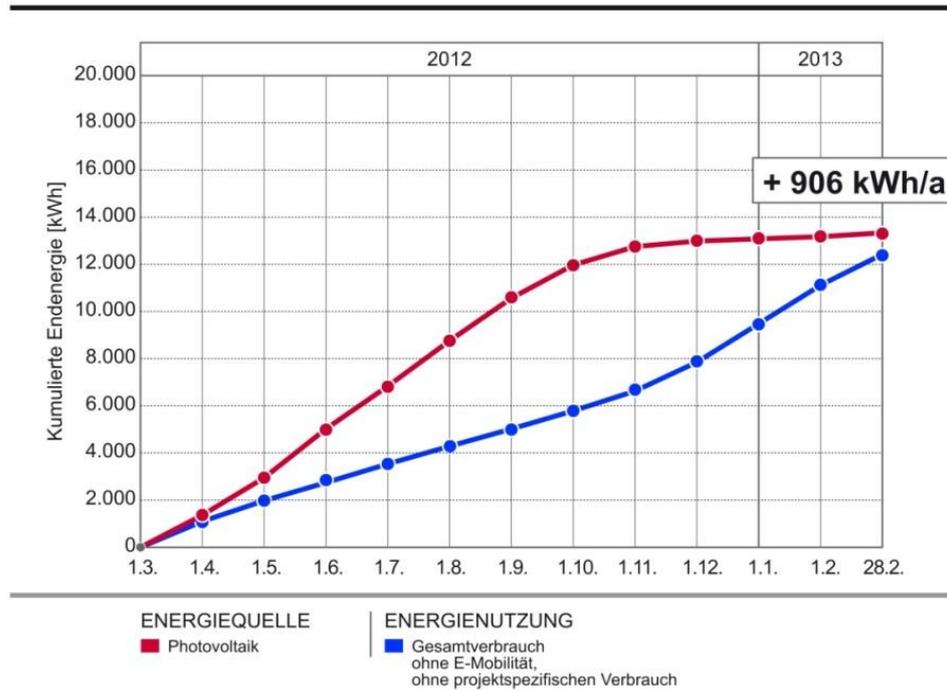


Bild 19:
kumulierter Stromverbrauch und kumulierter Stromgewinn durch die PV-Anlage im 1. Messjahr.

KUMULIERTE ENDENERGIE

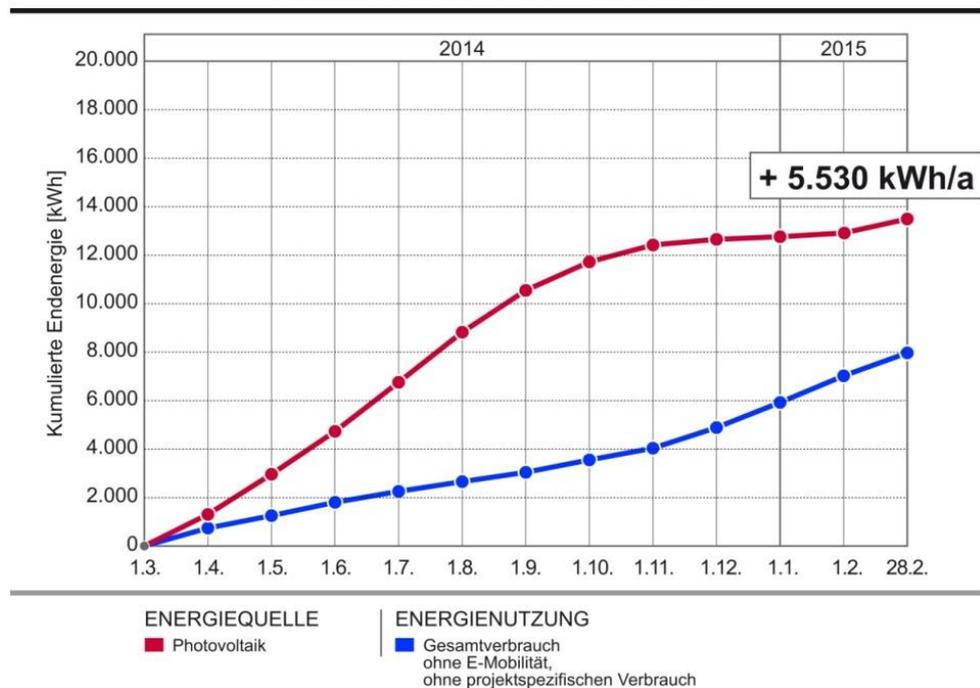


Bild 20:
kumulierter Stromverbrauch und kumulierter Stromgewinn durch die PV-Anlage im 3. Messjahr.

4.2.4 Eigenstromnutzung und Autarkiegrad

Auf Basis der Definition des Effizienzhaus Plus-Standards ist als Zusatzinformation der Eigennutzungsgrad der generierten erneuerbaren Energien auszuweisen. Der Eigennutzungsgrad beschreibt das Verhältnis aus eigenverbraucht PV-Strom zum PV-Ertrag. Eine Gegenüberstellung der Monatsbilanzen für den Eigenverbrauch aus dem Photovoltaikstrom und der Rückspeisung in das öffentliche Stromnetz zeigen Bild 21 für das 1. Messjahr und Bild 22 für das 3. Messjahr. Im 1. Messjahr werden ca. 50 % und im 3. Messjahr 52 % des Photovoltaikstroms selbst genutzt.

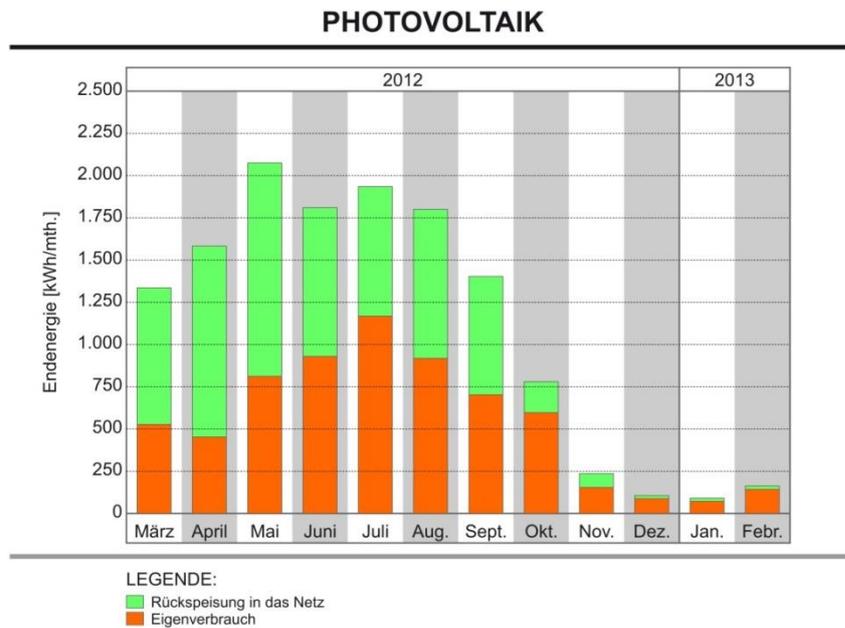


Bild 21: Photovoltaik-Eigenverbrauch und Rückspeisung im 1. Messjahr.

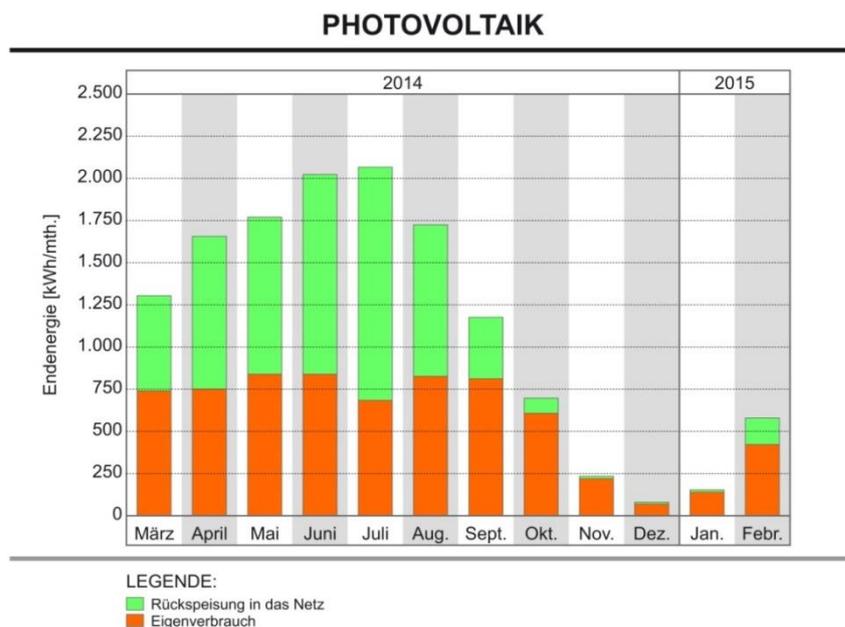


Bild 22: Photovoltaik-Eigenverbrauch und Rückspeisung im 3. Messjahr.

Eine weitere Größe zur Bewertung einer Photovoltaikanlage ist der Autarkiegrad. Dieser beschreibt das Verhältnis des eigenverbrauchten Photovoltaikstroms am Gesamtstromverbrauch des Gebäudes. Der Autarkiegrad ist für das 1. und 3. Messjahr in Bild 23 dargestellt. Er schwankt im 1. Messjahr zwischen 3 % und 89 % und beträgt im Mittel 32 % und liegt im 3. Messjahr zwischen 6 % und 85 % und beträgt im Mittel 45 %.

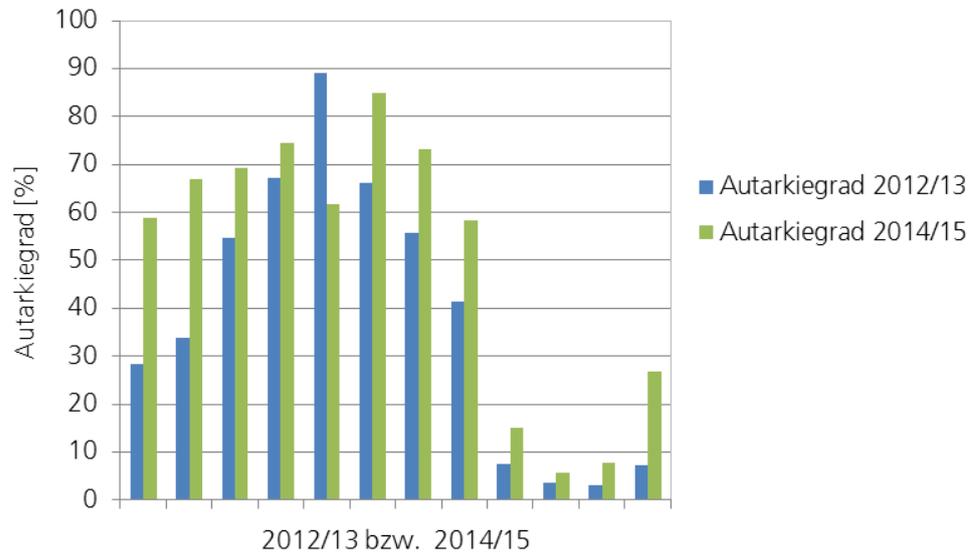


Bild 23:
Photovoltaik-Eigenverbrauch und Rückspeisung im 1. und 3. Messjahr.

4.3 Vergleich Messung und Berechnung nach DIN V 18599 einschl. Effizienzhaus Plus-Standard

4.3.1 Endenergie Gesamtgebäude

Das Gebäude hat im Laufe des 1. Messjahres unter Berücksichtigung aller Verbräuche einschließlich E-Mobilität und projektspezifischer Energieverbräuche 20.448 kWh Strom verbraucht. Bei Betrachtung des „reinen“ Gebäudes, das bedeutet ohne E-Mobilität (3.974 kWh) und projektspezifische Verbräuche (4.074 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 Bild 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 Bild 24 Mindererträge (13.306 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 20 % im Vergleich der gemessenen Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen mit den vorherberechneten Ertragswerten.

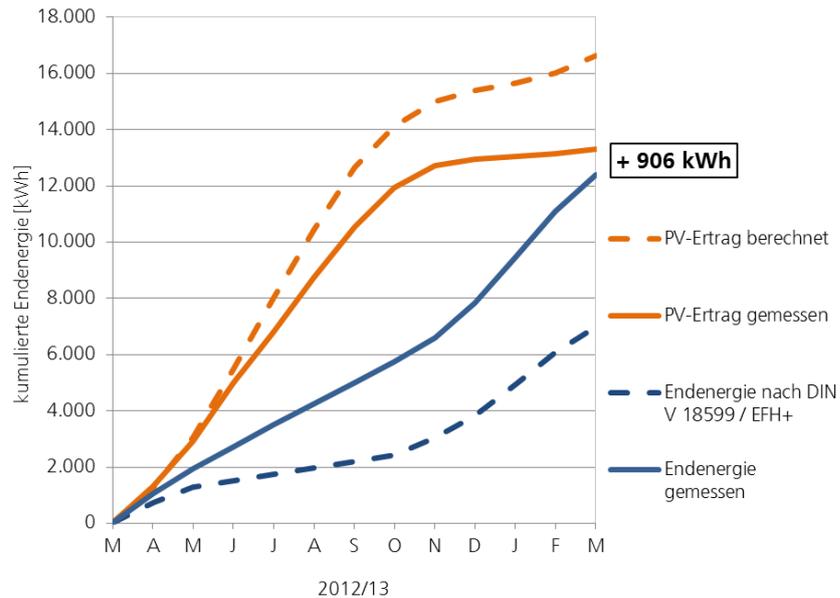


Bild 24:
Vergleich kumulierte Endenergie: Messung für das 1. Messjahr und Vorherberechnung nach DIN V 18599.

Im Laufe der weiteren Messperioden konnte der Verbrauch reduziert werden und beträgt am Ende des 3. Messjahres unter Berücksichtigung aller Verbräuche einschließlich E-Mobilität und projektspezifischer Energieverbräuche 15.558 kWh. Bei Betrachtung des „reinen“ Gebäudes ohne E-Mobilität (1.988 kWh) und der projektspezifischen Verbräuche (5.610 kWh) lag der Hausverbrauch bei 7.960 kWh. Mit der Photovoltaikanlage wurden 13.490 kWh Strom erzeugt, so dass ein Überschuss, wie Bild 25 zeigt, von 5.530 kWh in einem Jahr erwirtschaftet werden konnte.

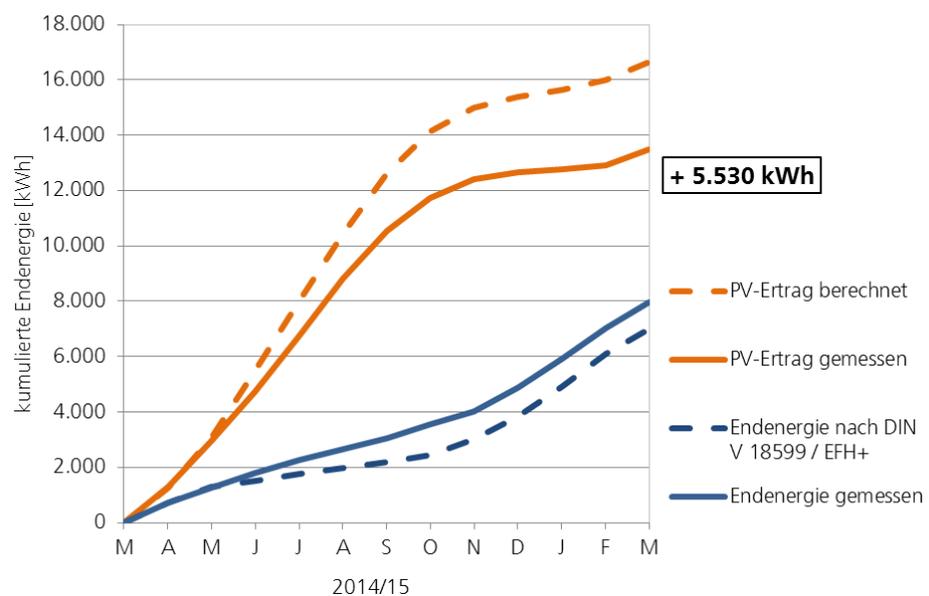


Bild 25:
Vergleich kumulierte Endenergie Messung für das 3. Messjahr und Vorherberechnung nach DIN V 18599.

Da der Hausverbrauch um ca. 15 % höher war als durch die Berechnung nach DIN V 18599 prognostiziert wurde und der gemessene Stromertrag aus den Photovoltaikanlagen gegenüber den vorherberechneten Ertragswerten Mindererträge (13.490 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 19 % lieferten, fiel der Überschuss um ca. 42 % geringer aus als prognostiziert.

4.3.2 Endenergie Wärmebereitung und Hilfsenergie

Ein Vergleich der Vorherberechnung nach DIN V 18599 mit den Messwerten für die Wärmebereitung für Heizen, Lüften und Trinkwarmwasserbereitung einschließlich Heizstab und Hilfsenergie für den Heizkreisverteiler ist in Bild 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 Erdgeschossfußbodenheizung durch eine höhere Vorlauftemperatur und liefert eine Minderung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Die Folge davon ist ein höherer Endenergieverbrauch für die Beheizung des Hauses.

Die gemessenen Hilfsenergien des Gebäudes betragen im 1. Messjahr insgesamt 3.099 kWh, davon entfallen auf die Hausautomation und Regelungstechnik 878 kWh; das sind 28 % der Hilfsenergien und 7 % des gesamten Endenergiebedarf des Hauses.

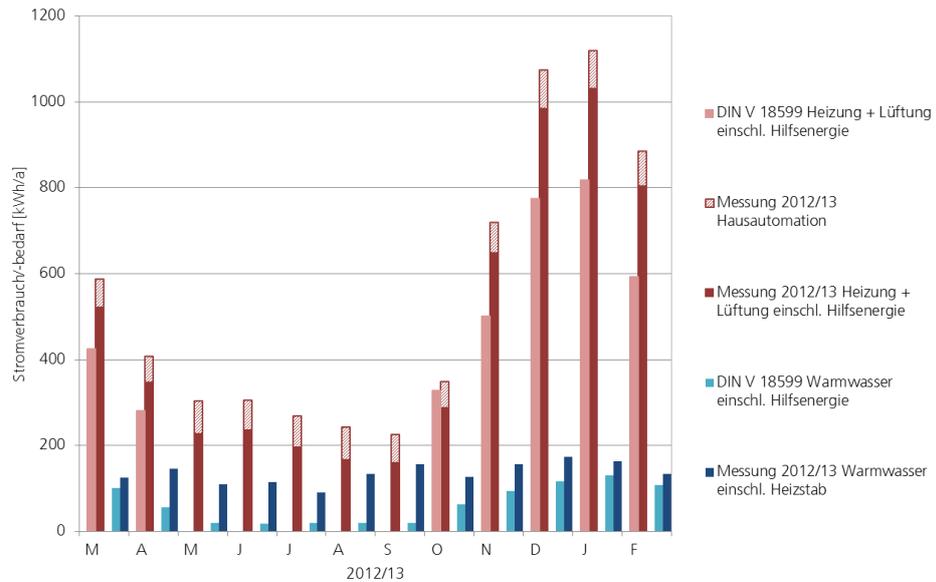


Bild 26: Gegenüberstellung des Endenergiebedarfs und –verbrauchs für die Wärmeversorgung und Trinkwarmwassererwärmung im Jahr 2012 / 2013.

Für das Messjahr 2014 / 2015 konnte messtechnisch keine getrennte Erfassung des Endenergieverbrauchs für den Betrieb der Heizung und die Trinkwarmwasserbereitung erfolgen. Auf Basis der eingebauten Strom- und Wärmemengenzähler werden die Verbrauchsanteile für Heizung einschließlich Lüftung sowie für das Trinkwarmwasser bestimmt. Dabei werden die Hilfsenergien für den Betrieb der Lüftungsanlage und des Heizkreisverteilers der Heizung zugeordnet. Der Endenergieverbrauch der Wärmepumpe und des Heizstabes wird damit näherungsweise anteilmäßig auf die Prozesse Heizen und Trinkwarmwasserbereitung aufgeteilt und ist in seinem monatweisen Verlauf in Bild 27 gezeigt. Während der Heizperiode ergeben sich relativ gute Übereinstimmungen zwischen Messung und Berechnung der Endenergie für Heizen, Lüftung einschließlich Hilfsenergie und Hausautomation. Außerhalb der Heizperiode, von Mai bis September liegt keine Übereinstimmung vor, da in der Vorherberechnung kein ganzjähriger Betrieb der Lüftungsanlage vorgesehen war und daher kein Endenergiebedarf angesetzt wurde. Für den Warmwasserbedarf zeigt sich außerhalb der Heizperiode eine gute Übereinstimmung zwischen Vorherberechnung und Messung, während der Heizperiode war der angesetzte Warmwasserbedarf höher als die Werte der Messung.

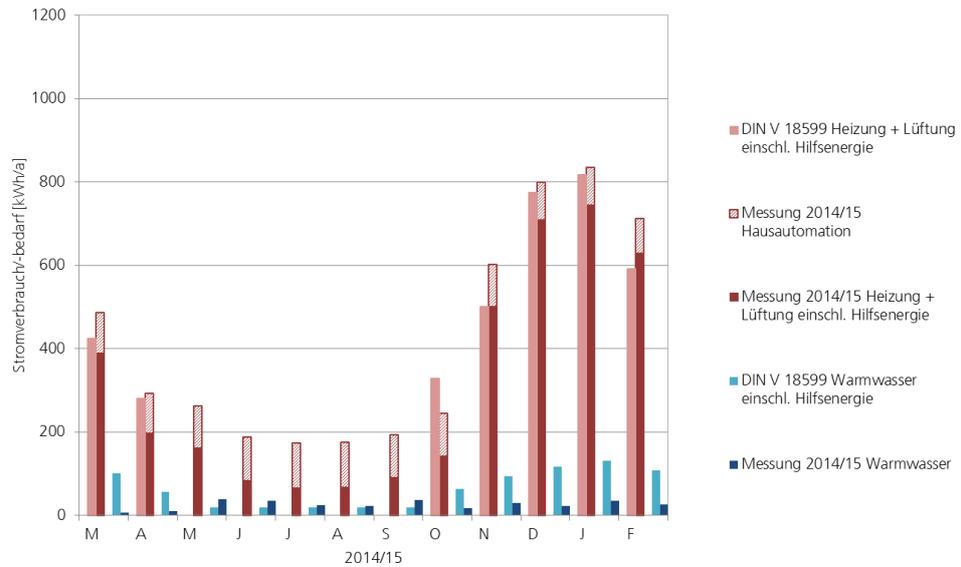


Bild 27:
Gegenüberstellung des Endenergiebedarfs und –verbrauchs für die Wärmeversorgung und Trinkwarmwassererwärmung im Jahr 2014 / 2015.

Im 3. Messjahr betragen die gemessenen Hilfsenergien des Gebäudes insgesamt 3.139 kWh, davon entfallen auf die Hausautomation und Regelungstechnik 1.185 kWh; das sind 38 % der Hilfsenergien und 15 % des gesamten Endenergiebedarfs des Hauses.

Es ist bei dem Vergleich der Vorherberechnung nach DIN V 18599 mit den Messwerten zu berücksichtigen, dass der elektrische Aufwand für den Betrieb der Automationsgeräte teilweise Berücksichtigung in der Hilfsenergie für die Steuer- und Regelmechanismen der einzelnen haustechnischen Anlage findet. Der Endenergiebedarf für das Energiemanagement (Stand-by-Bedarf, Bedieneinrichtungen) des Gesamtgebäudes als übergeordnete Größe wird in der Berechnung nach DIN V 18599 bisher nicht berücksichtigt.

4.3.3 Endenergie gesamter 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/m²a, davon 3 kWh/m²a (bzw. 375 kWh/Wohneinheit) für Beleuchtung, 10 kWh/m²a (bzw. 1.250 kWh/Wohneinheit) für Haushaltsgeräte, 3 kWh/m²a (bzw. 375 kWh/Wohneinheit) für Kochen und 4 kWh/m²a (bzw. 500 kWh/Wohneinheit) für Sonstiges angesetzt. Im Folgenden ist ein Vergleich der Messwerte mit den Vorgaben des Effizienzhaus Plus-Standards sowie mit dem 1. Messjahr dargestellt.

Der gemessene Stromverbrauch für die Beleuchtung, alle Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse (erfasst als Sonstiges) im 1. und 3. Messjahr ist monatsweise in Bild 28 gezeigt. Es ist ersichtlich, dass der Grenzwert bei Summation aller Einzelgrößen im 1. Messjahr hauptsächlich durch den Anteil sonstige Haushaltsprozesse überschritten wird. Im 3. Messjahr werden für den Haushalts-

strom einschließlich Sonstiges und die Beleuchtung 1.734 kWh/a verbraucht und somit der Grenzwert (2.500 kWh/a je Wohneinheit) um gut 30 % unterschritten.

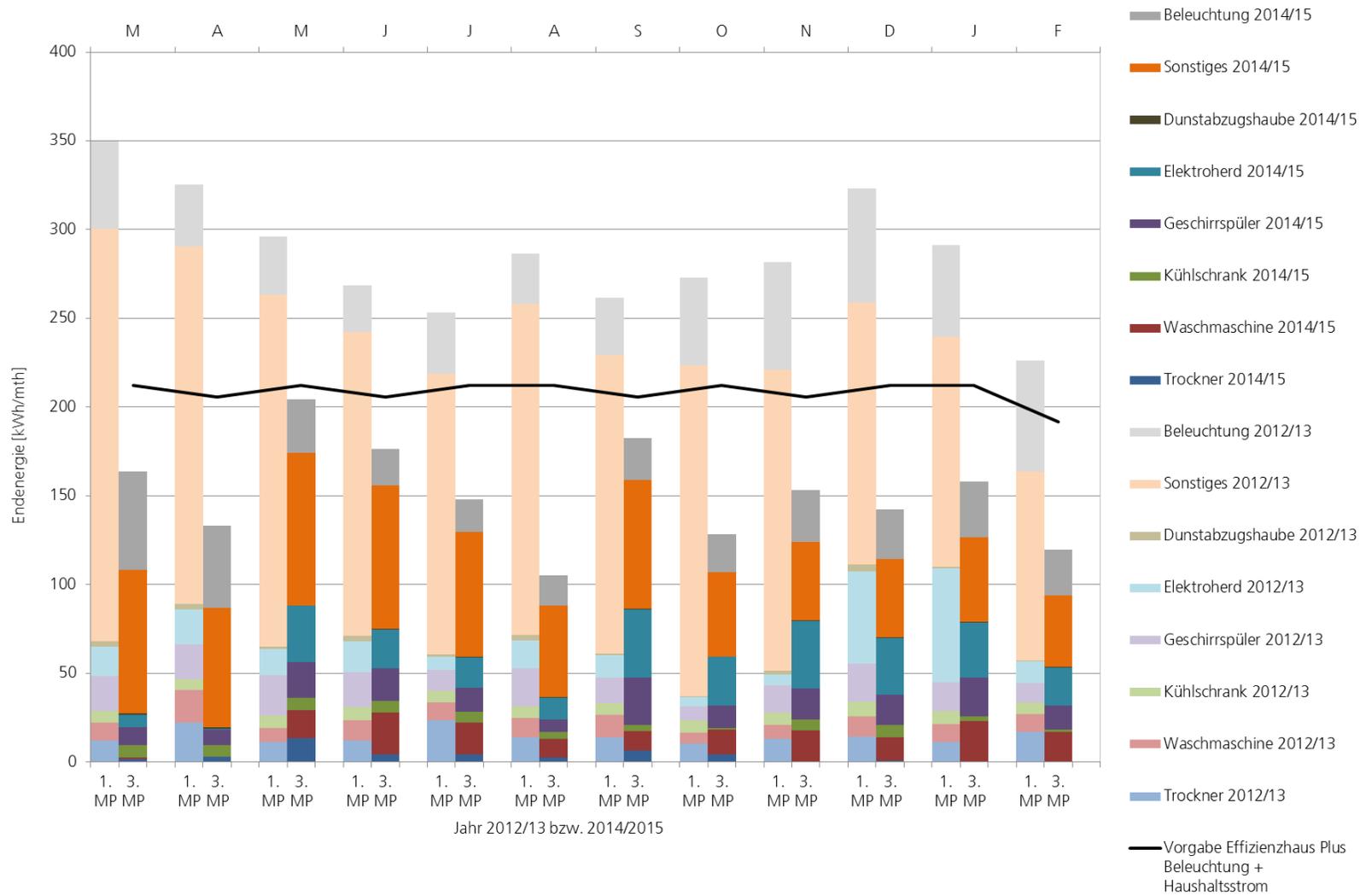


Bild 28: Endenergieverbrauch der Beleuchtung und Haushaltsgeräte und -prozesse im 1. und 3. Messjahr.

4.3.4 Endenergie Beleuchtung

Bild 29 zeigt den monatlichen Endenergieverbrauch für die Beleuchtung für das 3. Messjahr. Dabei ist der Grenzwert des vorgegebenen Effizienzhaus Plus-Standards ab Mai 2014 mit Einzug der 2. Testfamilie eingehalten. In der Jahresbilanz wurden im Messjahr 2014 / 2015 für die Beleuchtung 348 kWh Strom verbraucht, das sind 2 kWh weniger als die Vorgabe für Beleuchtung nach Effizienzhaus Plus.

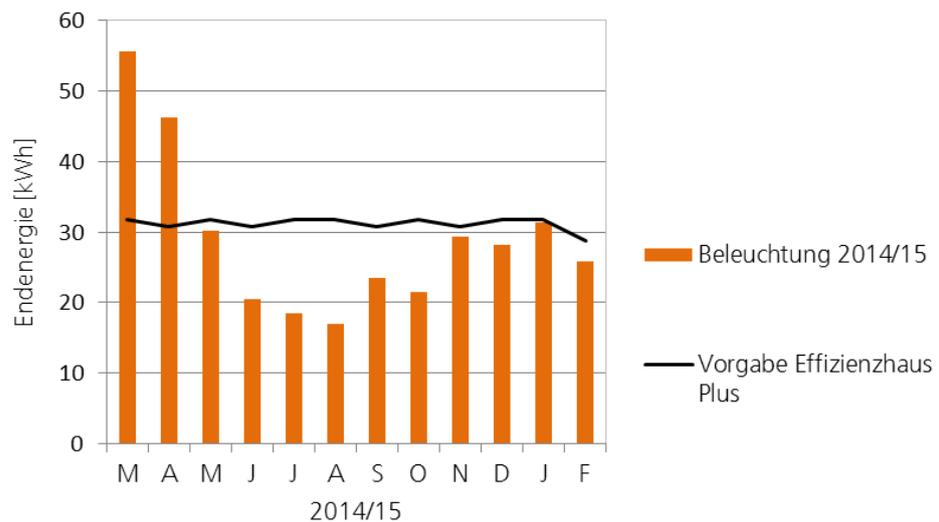


Bild 29:
Endenergie Beleuchtung für das 3. Messjahr.

Im Vergleich zum 1. Messjahr, das in Bild 30 gezeigt ist, wurden 34 % weniger Energie für die Beleuchtung benutzt.

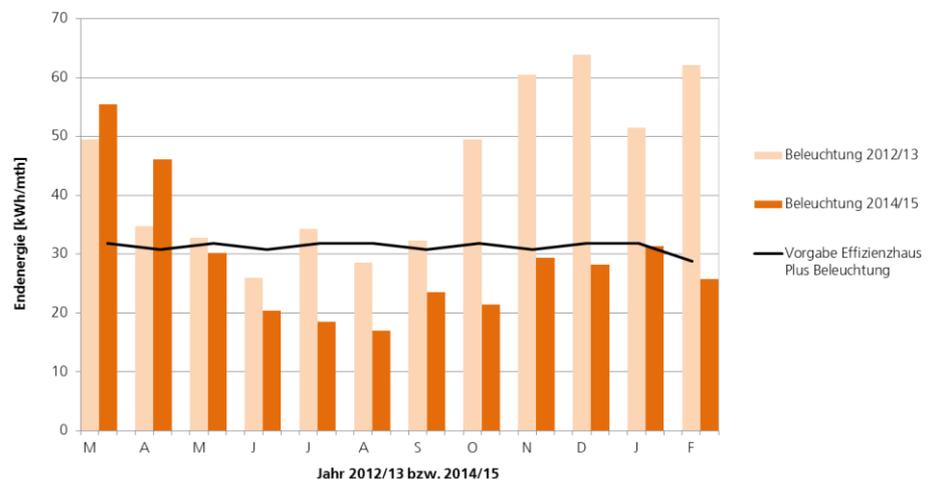


Bild 30:
Endenergie Beleuchtung für das 1. Messjahr und 3. Messjahr.

4.3.5 Endenergie Haushaltsgeräte (ohne Kochen und Sonstiges)

In Bild 31 ist der monatliche Endenergieverbrauch der einzelnen Haushaltsgeräte für das Jahr 2014/15 dargestellt. Bei monatlicher Summierung aller Haushaltsgeräte ergibt sich eine Größe von 456 kWh/a, die unterhalb des Grenzwerts für das Effizienzhaus Plus von 1.250 kWh/a liegt.

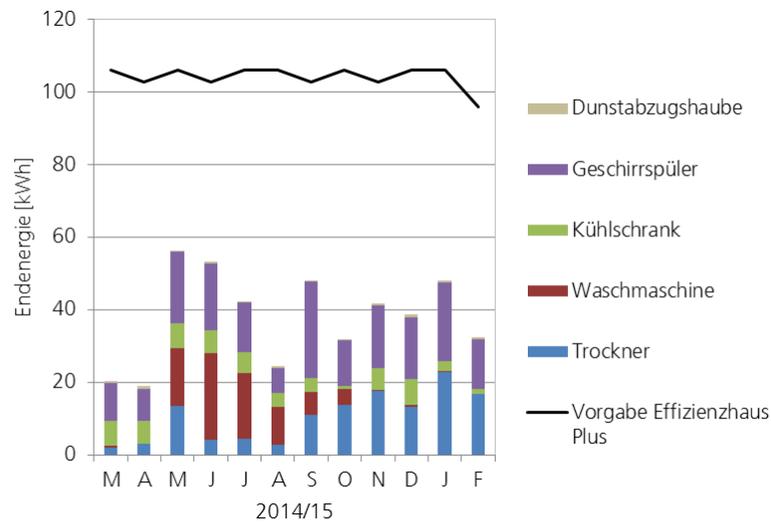


Bild 31:
Endenergie Haushaltsgeräte für das 3. Messjahr.

Im Vergleich zum 1. Messjahr wurden während des Zeitraums der Bewohnung von Mai 2014 bis Februar 2015, wie in Bild 32 zu sehen, 15 % weniger Energie für die Haushaltsprozesse verbraucht. Ob die 2. Testfamilie sparsamer war, kann nicht beurteilt werden, da das Gebäude erst ab Mai 2014 von der Familie bewohnt wurde und in den Monaten August 2014, Oktober 2014 und Dezember 2014 Abwesenheiten registriert wurden.

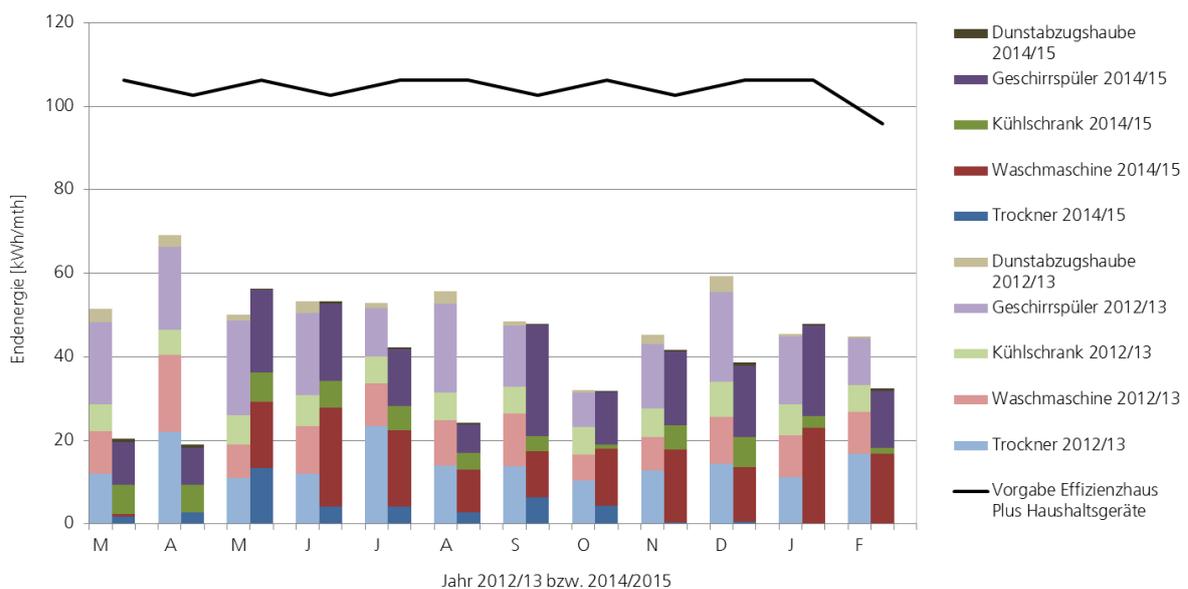


Bild 32:
Endenergie Haushaltsgeräte für das 1. und 3. Messjahr.

4.3.6 Endenergie Kochen

Die monatlich verbrauchte Endenergie für den Herd ist für das 3. Messjahr in Bild 33 dargestellt.

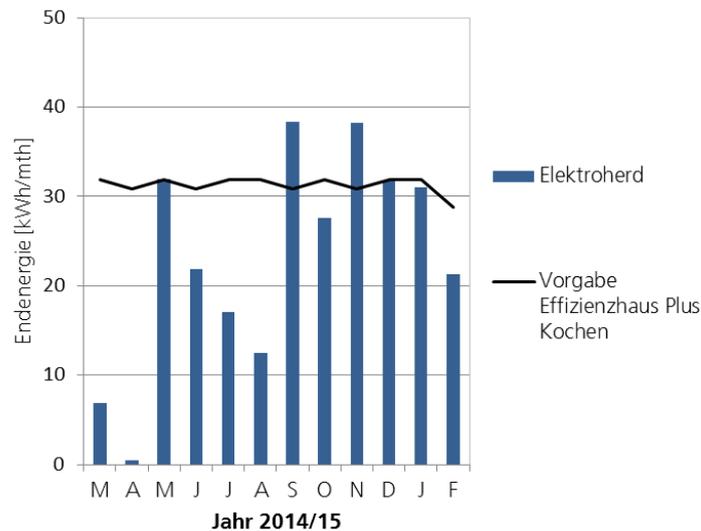


Bild 33:
Endenergie Kochen für das 3. Messjahr.

In der Jahresbilanz werden 279 kWh Strom für den Herd verbraucht. Dabei wurde der jahresbezogene Grenzwert (275 kWh/a) des Effizienzhaus Plus-Standards eingehalten. Bei der monatsweisen Betrachtung wird der Grenzwert im September und November überschritten und in allen übrigen Monaten zum Teil deutlich unterschritten.

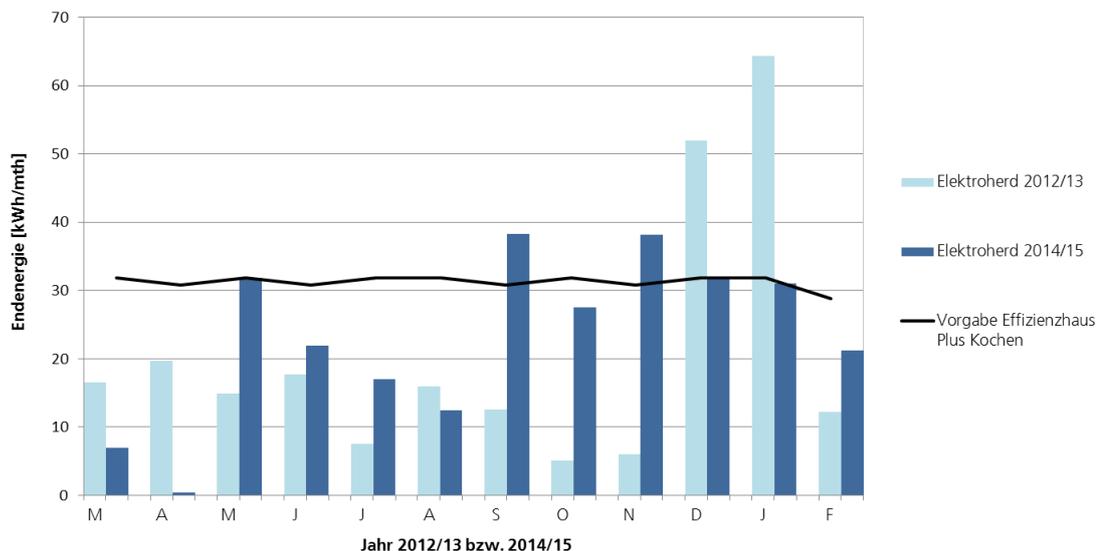


Bild 34:
Endenergie Kochen für das 1. und 3. Messjahr.

Im Vergleich zum 1. Messjahr, wie in Bild 34 dargestellt, wurde während der Zeit der Nutzung durch die 2. Testfamilie von Mai 2014 bis Februar 2015 in der 3. Messperiode 30 % mehr Energie verbraucht als in der 1. Messperiode.

Wird noch berücksichtigt, dass in der 1. Messperiode die hohen Endenergieverbräuche im Dezember und Januar nicht zum Kochen, sondern zum Heizen verbraucht wurden, fällt der Mehrverbrauch noch höher aus.

4.3.7 Endenergie sonstige Haushaltsprozesse

Die „sonstigen Haushaltsprozesse“ erfassen alle übrigen Steckdosen, die nicht explizit als Haushaltsgeräte (wie unter 4.3.5. und 4.3.6. aufgeführt) tituliert wurden. Der Anteil „Sonstiges“ teilt sich auf in Energieverbräuche von Steckdosen, die mit Kleingeräten belegt sind und Energieverbräuche, die keinem Verbraucher zugeordnet werden können. Im 3. Messjahr beträgt der Gesamtverbrauch „Sonstiges“, wie in Bild 35 zu sehen, 732 kWh/a, damit ist der Grenzwert (500 kWh/a) nach Effizienzhaus Plus-Standard um 46 % überschritten.

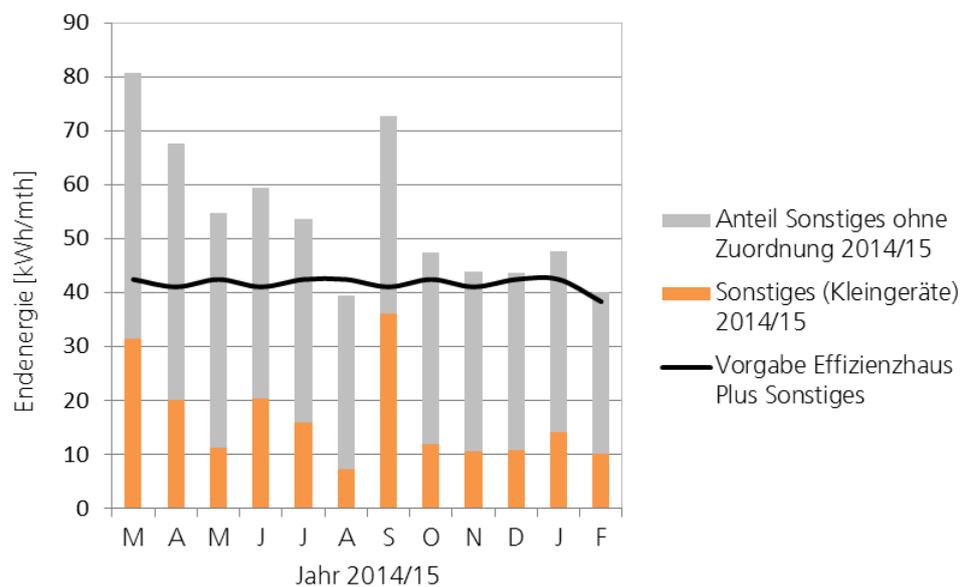


Bild 35: Darstellung der Endenergie „Sonstiges ohne Zuordnung“ und „Sonstiges“ (Kleingeräte) im 3. Messjahr.

Einen Vergleich der Messwerte „Sonstiges“ für das 1. und 3. Messjahr zeigt Bild 36. Im 3. Messjahr wurde der Energieverbrauch für „Sonstiges“ von 170 kWh/Monat auf 61 kWh/Monat reduziert. Durch die Optimierung der Messwerterfassung, wie unter 4.2.2 beschrieben, reduzierte sich der Anteil „Sonstiges ohne Zuordnung“ im 3. Messjahr erheblich.

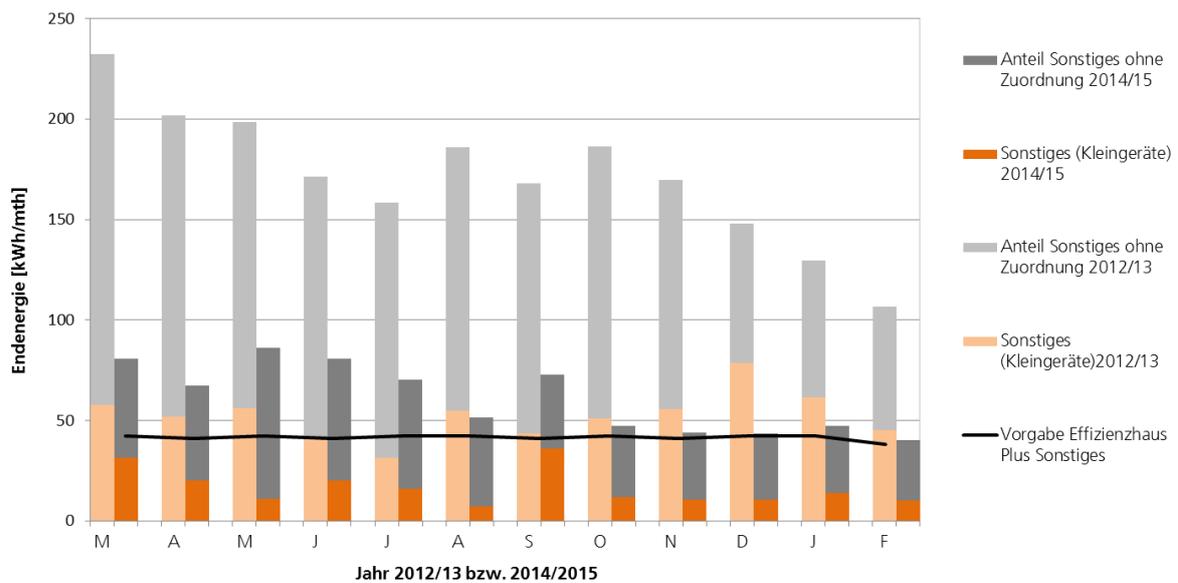


Bild 36:
Darstellung der Endenergie „Sonstiges ohne Zuordnung“ und „Sonstiges“ (Kleingeräte) für das 1. und 3. Messjahr.

4.4 Performance der Anlagentechnik

4.4.1 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 kann für verschiedene Bilanzbereiche der Anlagentechnik, dargestellt in Bild 37 für das Messjahr 2012/13 und in Bild 38 für das Messjahr 2014/15, ermittelt werden. Dabei charakterisiert die Bilanzgrenze 1 die Leistungszahl der eigentlichen Wärmepumpe unter Berücksichtigung der aufgewandten Energie für den Verdichter, die Pumpe und die Steuerung mit zugehöriger Wärmebereitstellung an das Heiz- bzw. Trinkwarmwassersystem. Diese Größe kann bedingt durch die Kompaktheit der Anlage für das Messjahr 2014/15 nicht bestimmt werden, da der Einbau von Wärmemengenzählern direkt hinter dem Kompressor einen Eingriff im Gerät erfordert hätte, wodurch die Gewährleistung des Herstellers verloren gegangen wäre. Die Bilanzgrenze 2 beschreibt daher die Arbeitszahl des Gesamtheizsystems unter Berücksichtigung der Bereitstellung von Heiz- und Trinkwarmwasser nach dem Speicher bzw. nach dem Heizkreisverteiler einschließlich des Einsatzes des Heizstabes. Es ist dabei zu beachten, dass die Summe dieser Wärmemengen infolge der Leitungsverluste zwischen Kompressor und Wärmemengenzählern sowie der Trinkwarmwasserspeicherverluste kleiner als die direkt von der Wärmepumpe abgegebene Wärmemenge ist. Das wirkt ungünstig auf die Arbeitszahl. Die aufgenommene elektrische Energie beinhaltet den Stromverbrauch für den Kompressor, die Pumpe und die Steuerung einschließlich der Datenerfassung und Datenspeicherung der Wärmepumpe.

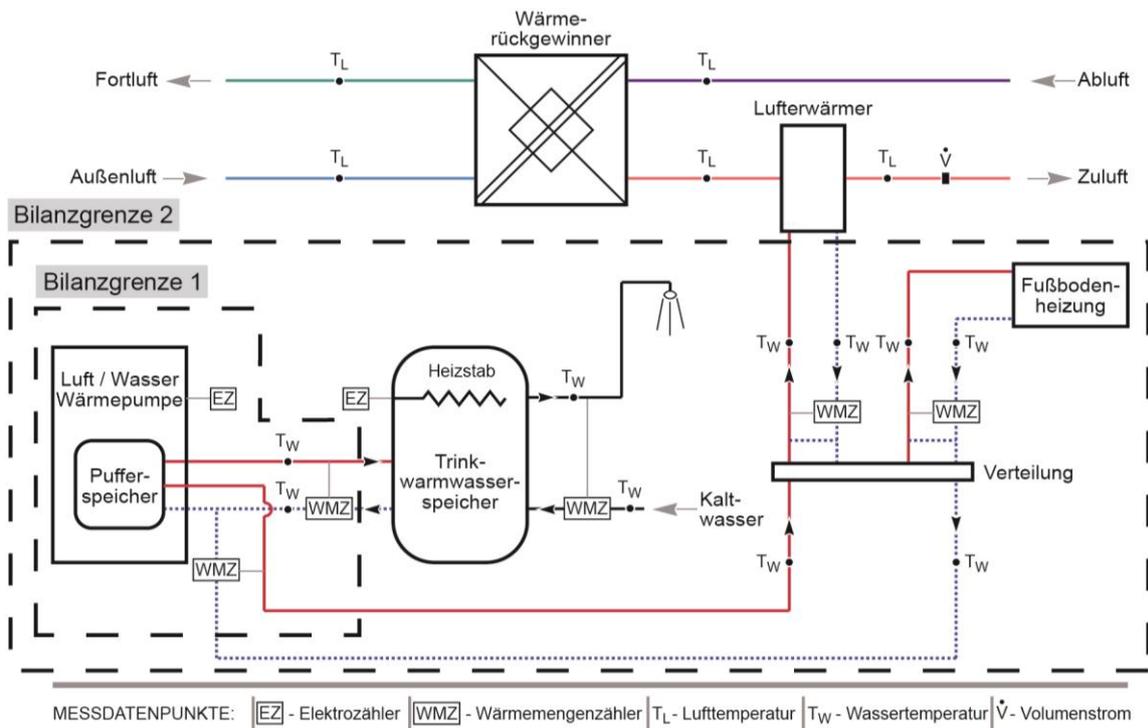


Bild 37:
Darstellung der Bilanzgrenzen 1 und 2 für die Ermittlung der Arbeitszahl im Messjahr 2012/13.

WÄRMEVERSORGUNG

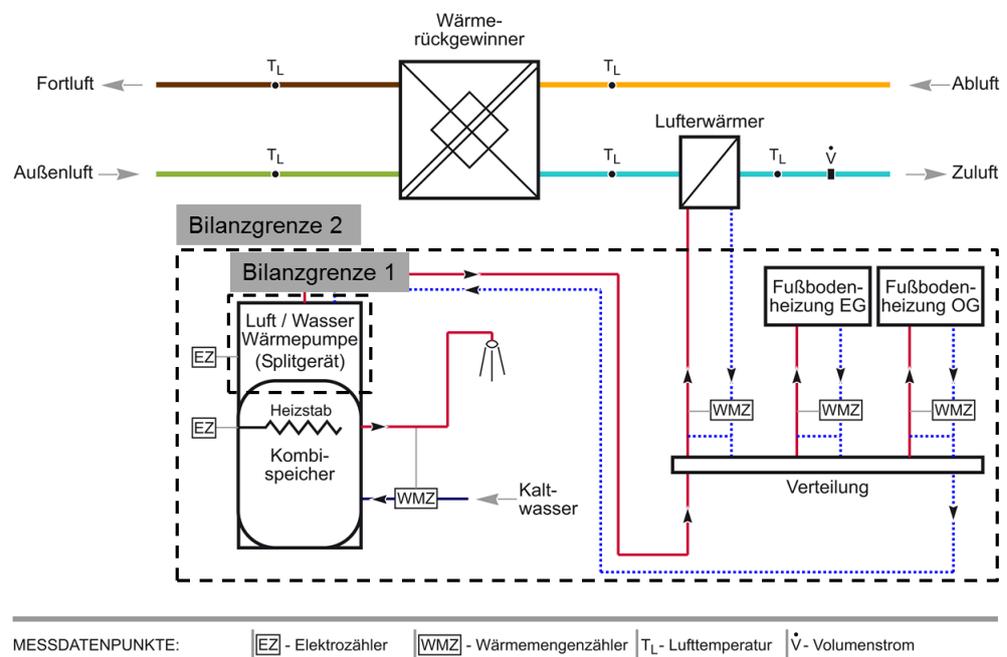


Bild 38:
Darstellung der Bilanzgrenzen 1 und 2 für die Ermittlung der Arbeitszahl im Messjahr 2014/15.

Für die Bilanzgrenze 2 schwankt die monatliche Arbeitszahl im 3. Messjahr zwischen 1,1 und 2,5 und beträgt als Jahreswert, wie Bild 39 zeigt, 2,3. Wäh-

rend des reinen Warmwasserbetriebs in den Sommermonaten von Juni bis September arbeitet die Wärmepumpe weniger effektiv.

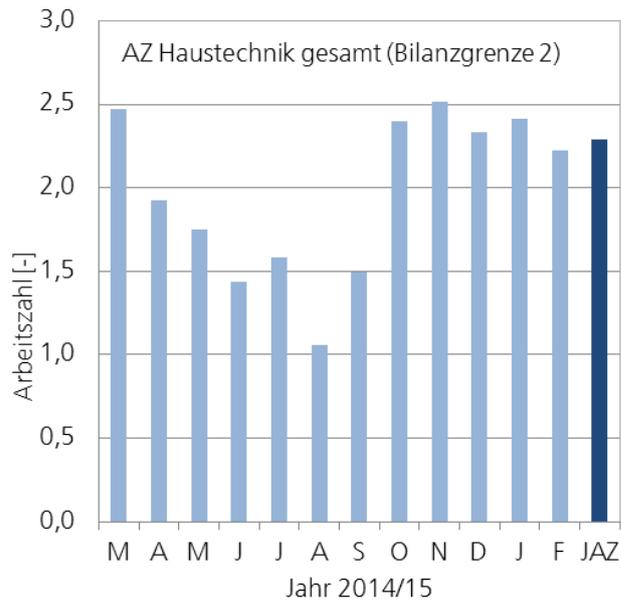


Bild 39: monatliche Arbeitszahl der gesamten Wärmebereitstellung von März 2014 bis Februar 2015.

Ein Vergleich der monatlichen Arbeitszahlen der Wärmepumpen der beiden Messjahre 2012/13 und 2014/15 ist in Bild 40 dargestellt. Im Vergleich zum ersten Messjahr konnte die Performance der Wärmepumpe gesteigert werden, liefert jedoch noch Optimierungspotential für die Sommermonate.

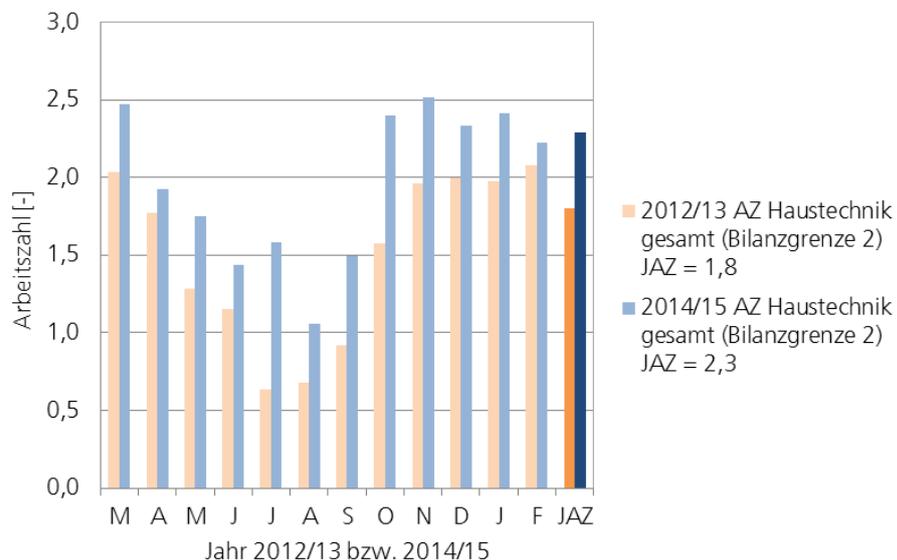


Bild 40: monatliche Arbeitszahl der gesamten Wärmebereitstellung im 1. und 3. Messjahr.

Die Wärmeabgabe der Wärmepumpe an die vier Heizkreise, RLT, Fußbodenheizung EG und OG sowie Trinkwarmwasser ist in Bild 41 gezeigt. Die Heizkreise im EG und OG werden zu ungefähr gleichen Teilen bedient. Eine er-

gänzende Luftherwärmung der Zuluft tritt nur in den Wintermonaten von November bis Februar auf.

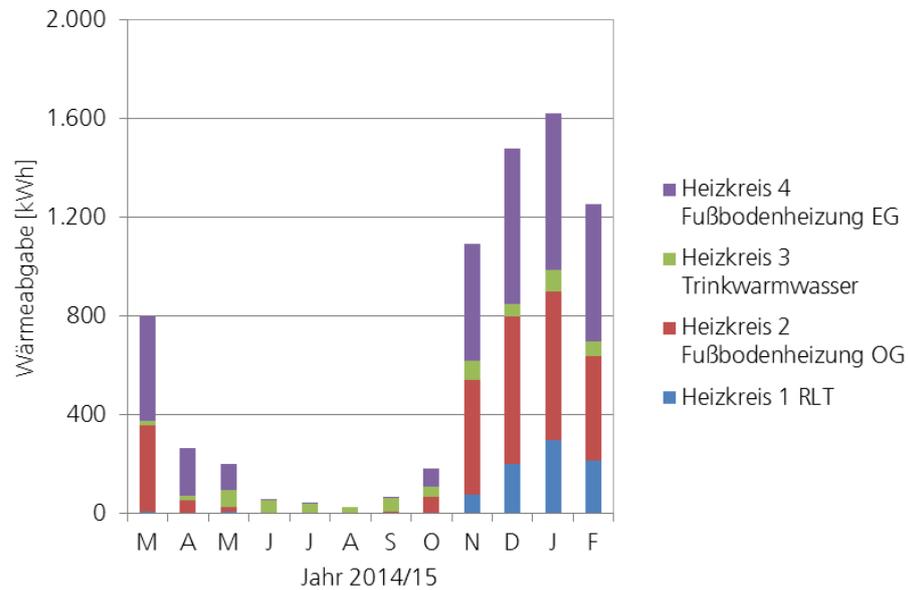


Bild 41: Wärmeabgabe der Wärmepumpe an die Heizkreise 1 bis 4 im Jahr 2014 / 2015.

Die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe für die Fußbodenheizung (FBH Vorlauftemperatur) und den Trinkwarmwasserkreislauf (WWB Entnahme Vorlauf) in der Winterperiode ist für zwei Tage im Januar 2015 in Bild 42 gezeigt. Des Weiteren sind die Außentemperatur und die Sollwerttemperatur zur Regelung der Wärmepumpe in das Bild eingetragen. Nach Herstellerangabe ist werksseitig eine Spreizung vom Sollwert von 7 K eingestellt. Diese Spreizung kann unter Umständen durch eine zu gewährleistende Mindestdurchflussmenge oder beim Abtauen des Außengeräts zeitweise variieren. Die Sollwertspreizung von 7 K für den Betrieb der Wärmepumpe, das entspricht einem Bereich von 28 °C bis 42 °C, wird überwiegend eingehalten. Für die Trinkwarmwasserbereitung schwankt die Vorlauftemperatur um 40 °C, bei Wasserentnahmen werden Temperaturen von 45 °C bis 50 °C angefordert.

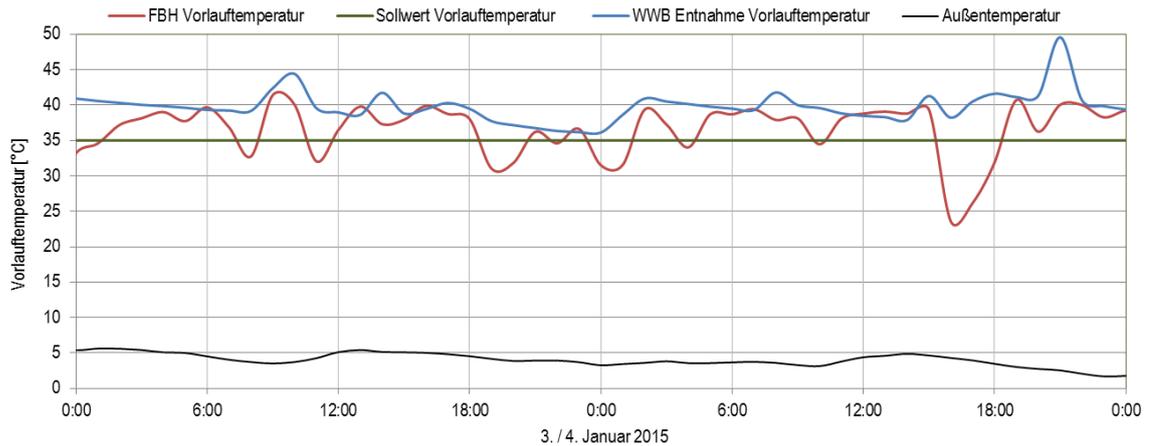


Bild 42:
Verlauf der Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung und Warmwasserbereitung am 3. und 4. Januar 2015.

Für den Sommerfall ist die Vorlauftemperatur für die Warmwasserbereitung in Bild 43 gezeigt. Sie liegt relativ konstant bei 40 °C und steigt bei Warmwasserzapfungen um ca. 2 K bis 4 K an.

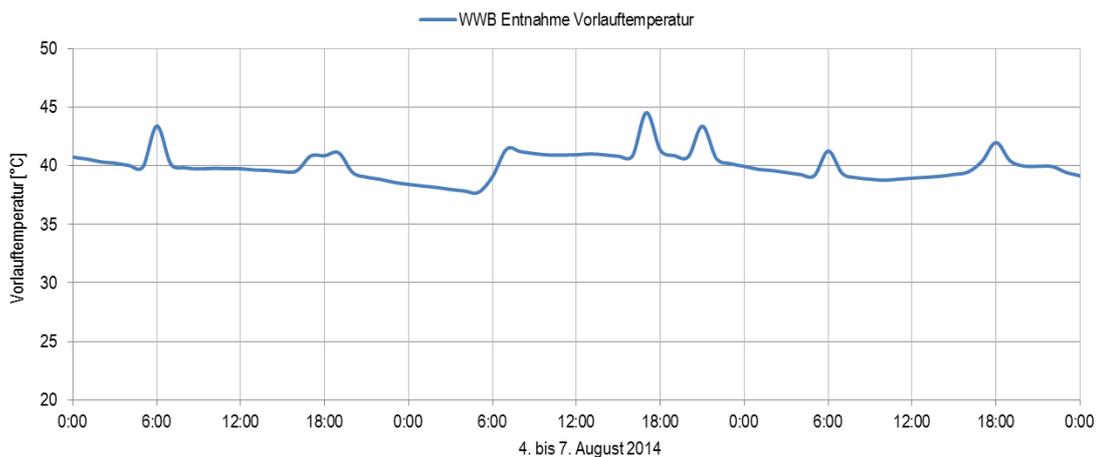


Bild 43:
Verlauf der Vorlauftemperatur Warmwasserbereitung vom 4. bis 7 August 2014.

4.4.2 Lüftungsanlage

Die mechanisch betriebene Zu- und Abluftanlage kann einen Luftvolumenstrom von 400 m³/h fördern. Die tatsächlich während des Monitoringzeitraums zugeführten Luftvolumenströme können aufgrund fehlender Messsensoren nicht dargestellt werden. Ab Oktober 2012 wird die Anlage CO₂-gesteuert betrieben und schaltet sich ab einem Grenzwert von 1.000 ppm ein. Der Endenergieverbrauch ist für das 1. Messjahr (1.316 kWh) und das 3. Messjahr (763 kWh) in Bild 44 gezeigt und beträgt im 1. Messjahr im Mittel 110 kWh/Monat und im 3. Messjahr 64 kWh/Monat.

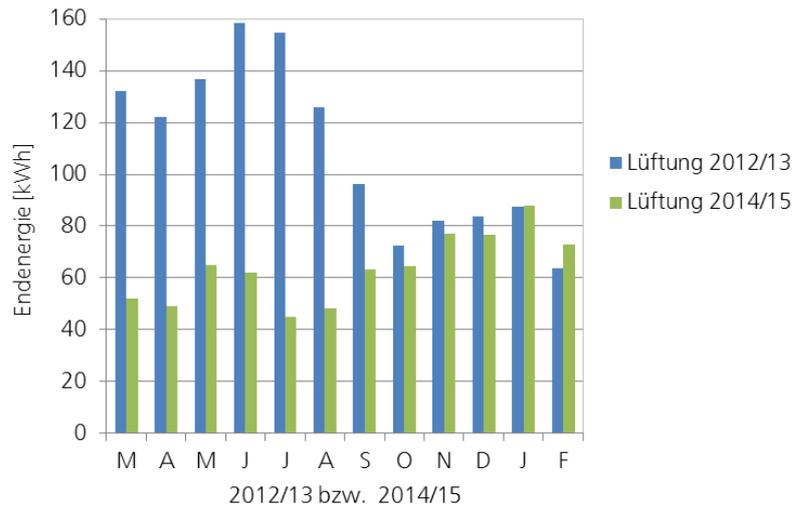


Bild 44:
Endenergieverbrauch der Lüftungsanlage im Jahr 2012/13 und im Jahr 2014/15.

In den Sommermonaten, beispielhaft für den Juli 2014 in Bild 45 dargestellt, wird die Lüftung aufgrund der CO₂-Überschreitung ca. 148-mal im Monat bei einer 15-minütigen Messreihe (insgesamt 2.976 Messsignale) angefordert. Diese Regelung erfordert einen konstanten Stand-by-Betrieb der Lüftungsanlage für den gesamten Monat und benötigt einen kumulierten Endenergieverbrauch von 45 kWh im Monat Juli 2014. Zur Effizienzsteigerung kann in Erwägung gezogen werden, während der Sommermonate das Gebäude über die Fenster zu belüften.

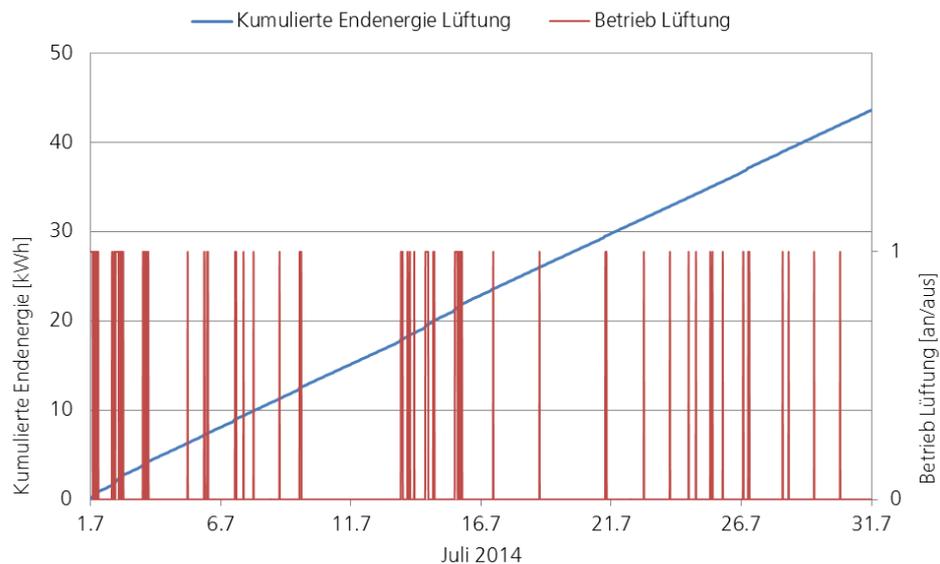


Bild 45:
Endenergieverbrauch und Betrieb der Lüftungsanlage im Juli 2014.

Die in der Abluft enthaltene Wärme soll auf Basis der Planung zu 80 % zurückgewonnen werden. Der Wärmerückgewinnungsgrad (WRG) lässt sich nach Gleichung

$$WRG = \frac{\vartheta_{Zuluft \text{ nach WRG}} - \vartheta_{Außenluft}}{\vartheta_{Abluft} - \vartheta_{Außenluft}}$$

bestimmen. Dabei ist $\vartheta_{Zuluft \text{ nach WRG}}$ die gemessene Zulufttemperatur nach dem Wärmeübertrager, $\vartheta_{Außenluft}$ die Außenlufttemperatur der Wetterstation am Gebäude und ϑ_{Abluft} die gemessene Ablufttemperatur vor dem Wärmeübertrager. Für das Messjahr 2014 / 2015 schwankt der aus den Messwerten bestimmte WRG in der Heizperiode (März 2014 und Oktober 2014 bis Februar 2015) zwischen 64 % und 82 % und liegt im Mittel bei 69 %.

4.4.3 Hausbatterie

Neben dem Gebäude wurde in einem Batterieschrank eine Hausbatterie, bestehend aus 70 Modulen mit je 106 Lithium-Ionen-Zellen, aufgestellt. Die nutzbare Kapazität der Batterie beträgt 40 kWh. Aufgrund der Anordnung der Batterie außerhalb des Gebäudes wird diese gekühlt bzw. belüftet. Eine genaue Beschreibung des Aufbaus sowie eine Evaluation des Stromspeichers wird nach Ablauf der Durchführungsphase durch den Hersteller (Lion Smart) erfolgen.

Die Batterie wird im 3. Messjahr mit 3.455 kWh Strom beladen und entlädt 2.507 kWh. Damit beträgt der Verlust 948 kWh. In Bild 46 ist die monatliche Ladung und Entladung der Batterie für das Jahr 2014 /2015 dargestellt. Dabei wird die Batterie monatlich mit durchschnittlich 288 kWh Strom beladen und entlädt durchschnittlich 209 kWh/Monat. Der Verlust für den Betrieb des Stromspeichers beträgt im Mittel 79 kWh/Monat.

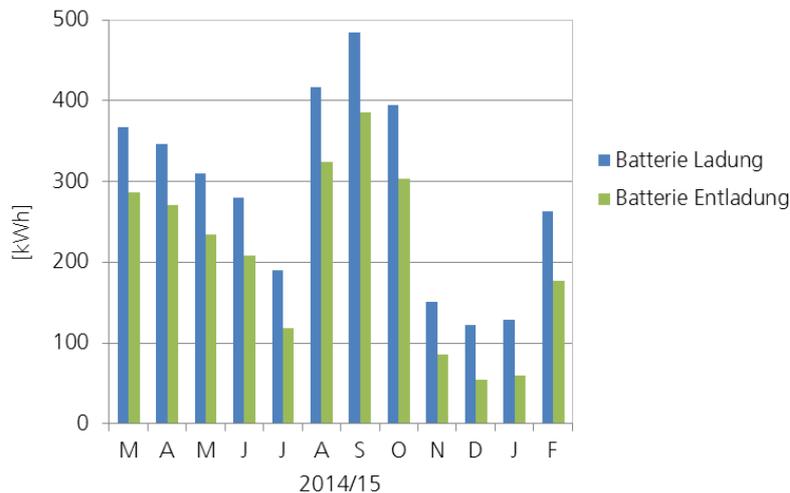


Bild 46: Ladung und Entladung elektrischer Speicher im Jahr 2014/15.

4.5 Innenraumtemperaturen Sommer

In allen Räumen des Erd- und Obergeschosses wurden die Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten gemessen. Einen Überblick über die sommerliche Lufttemperaturentwicklung in den Aufenthaltsräumen für die Monate Juni,

Juli und August für das Jahr 2014 bieten die Bilder 47 bis 49. 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 12 im Anhang 2 zu entnehmen.

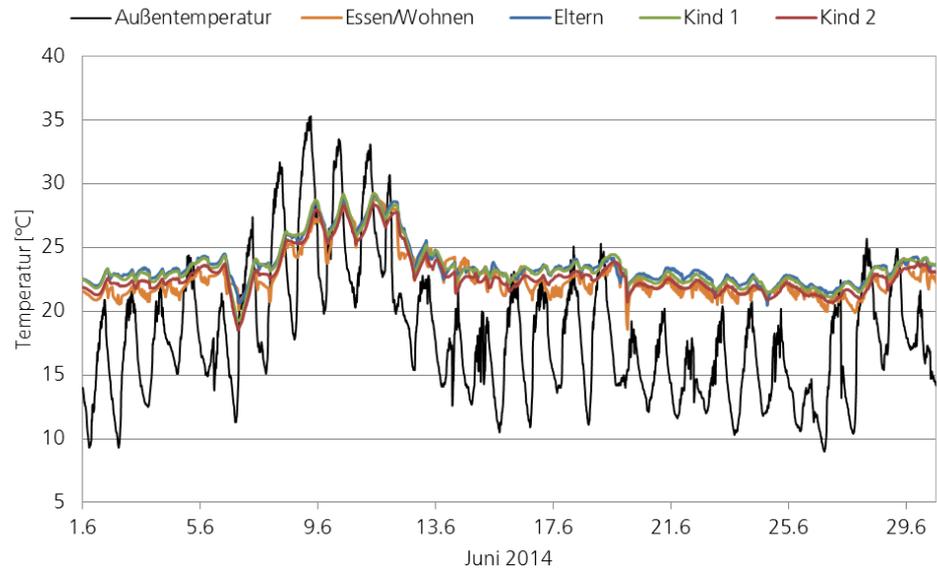


Bild 47:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Juni 2014.

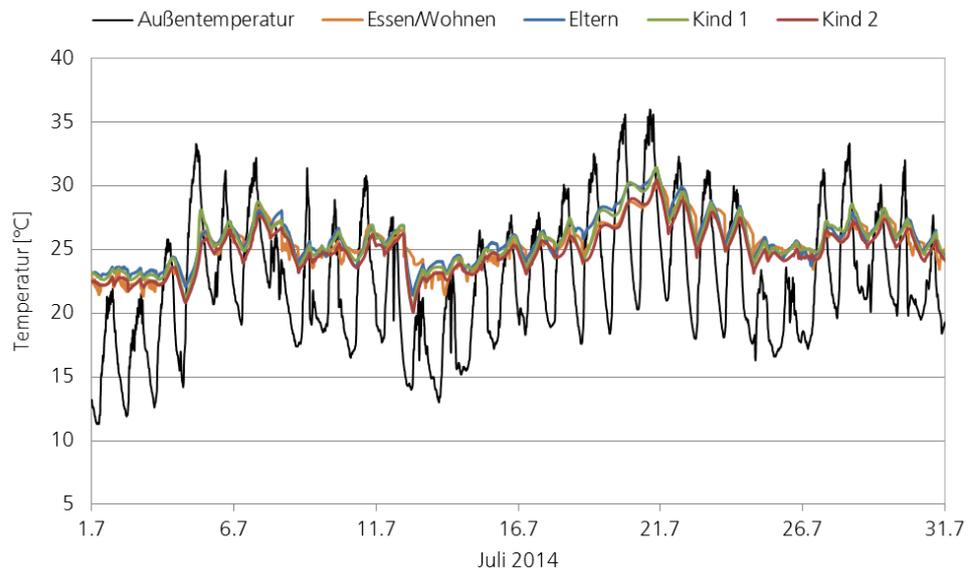


Bild 48:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Juli 2014.

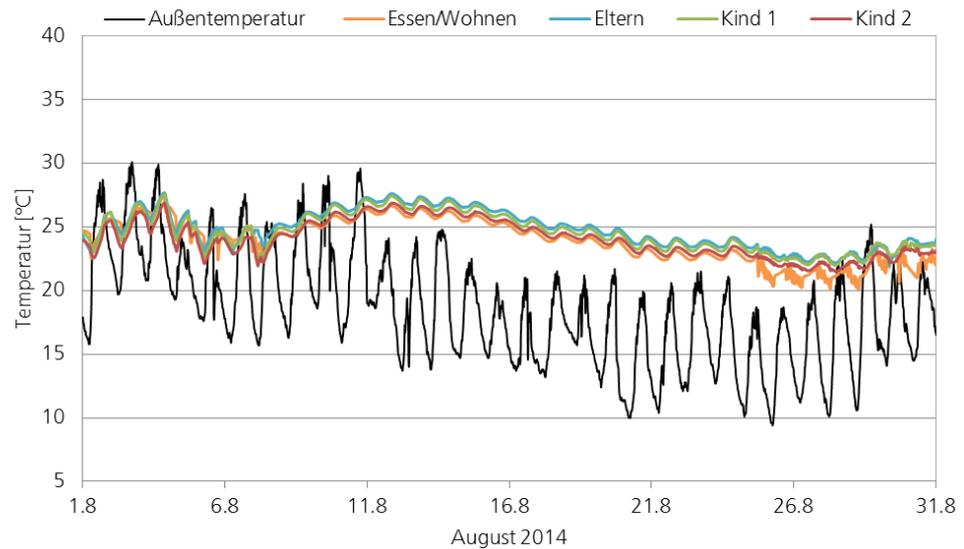


Bild 49:
Verlauf der Stundenmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat August 2014.

Die Raumlufttemperatur in den Aufenthaltsräumen beträgt im Jahr 2014 in den Monaten Juni bis August minimal 18,5 °C und maximal 31 °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 5 dargestellt, die Anzahl der Stunden ermittelt, während der die stündliche Raumlufttemperatur über 26 °C lag. In Anlehnung an die technischen Regeln für Arbeitsstätten [4] sollte die Raumluft 26 °C nicht überschreiten. Die maximale Überschreitungsdauer in 2014 betrug im Juli im Elternschlafzimmer 311 Stunden (ca. 13 Tage).

Tabelle 5:
Anzahl der Überschreitungsstunden der Raumlufttemperatur über 26 °C.

Monat	Essen/Wohnen	Eltern	Kind 1	Kind 2
Juni 2014	64	86	92	63
Juli 2014	273	311	287	191
August 2014	90	165	111	203

4.6 Raumlufttemperaturen Winter

Der winterliche Temperaturverlauf ist in den Aufenthaltsräumen für den Dezember 2014 in Bild 50 und den Januar 2015 in Bild 51 dargestellt. Die Tagesmitteltemperatur der Innenraumluft liegt nahezu konstant bei 20 °C. Eine Ausnahme bilden die Tage vom 21. bis 30. Dezember, an denen die Temperatur aufgrund von Abwesenheit abgesenkt wurde.

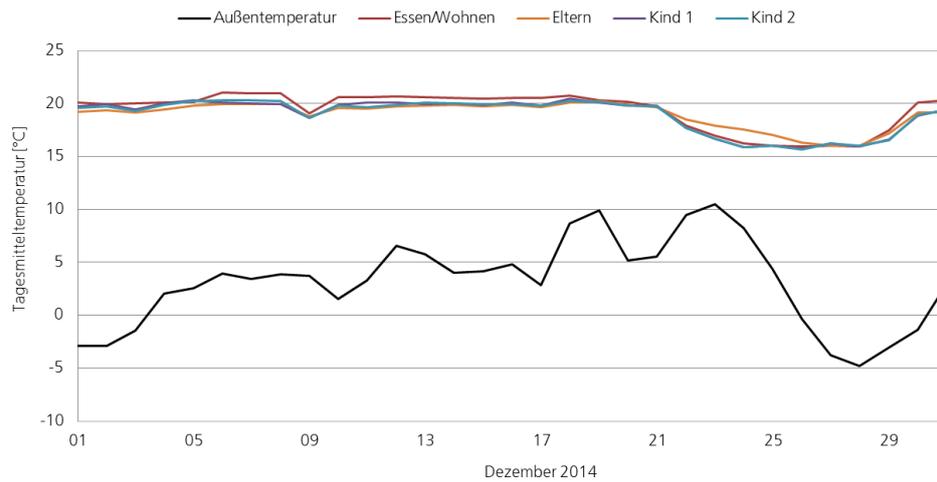


Bild 50:
Verlauf der Tagesmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Dezember 2014.

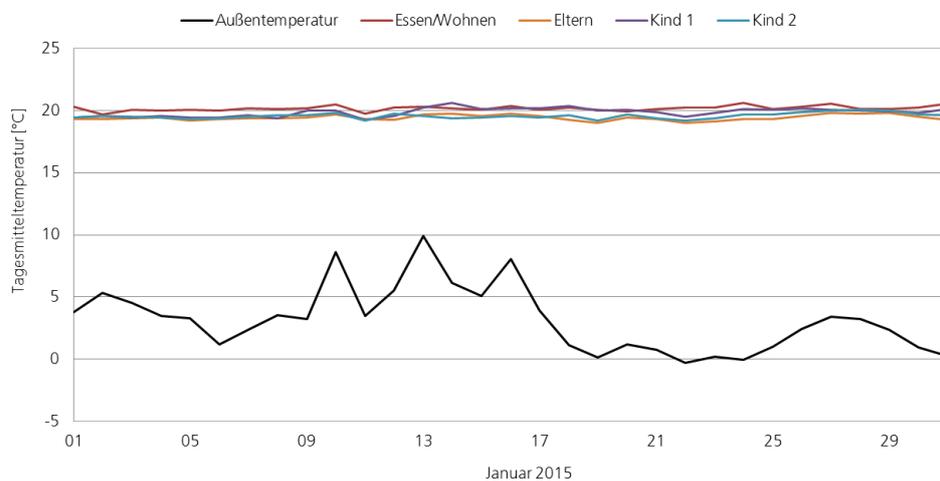


Bild 51:
Verlauf der Tagesmittelwerte der Außen- und Innenraumlufttemperaturen im Monat Januar 2015.

4.7 Raumlufqualität

Die Raumlufqualität hängt vom Sauerstoffgehalt, der Geruchsneutralität und dem Schadstoffgehalt der Luft ab. Ein repräsentativer Kennwert ist der CO₂-Gehalt der Raumluf. Als Grenzwert zur Beurteilung der Raumlufqualität kann 1.500 ppm angenommen werden, das entspricht einer CO₂-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 Bildern 52 und 53 ist der Verlauf der CO₂-Konzentration für die Aufenthaltsräume für die Monate März 2014 und Januar 2015 gezeigt. Die CO₂-gesteuerte Regelung ist in Betrieb und der Grenzwert von 1.000 ppm wird eingehalten.

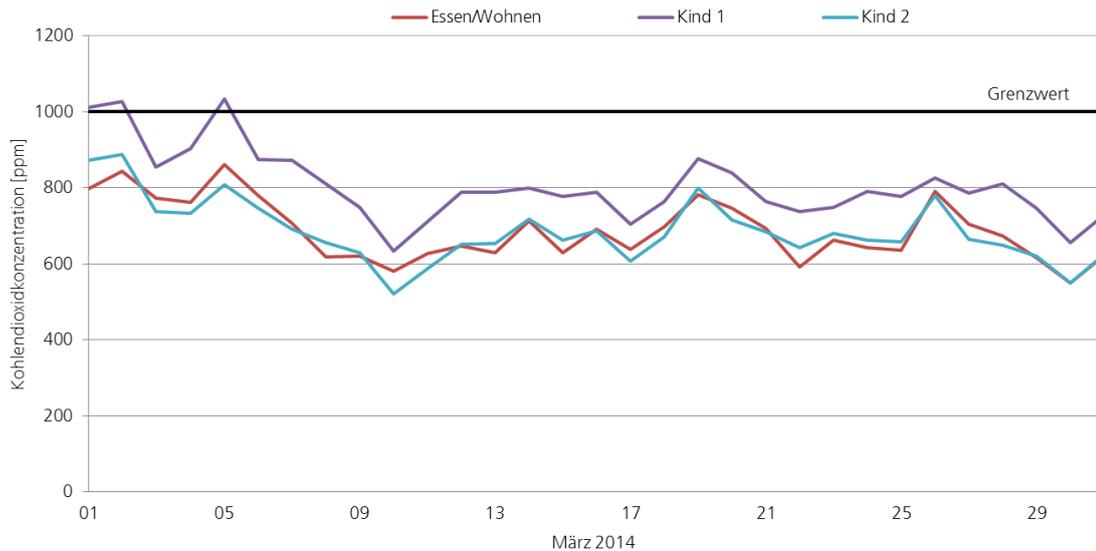


Bild 52:
Kohlendioxidkonzentration in den Aufenthaltsräumen im März 2014.

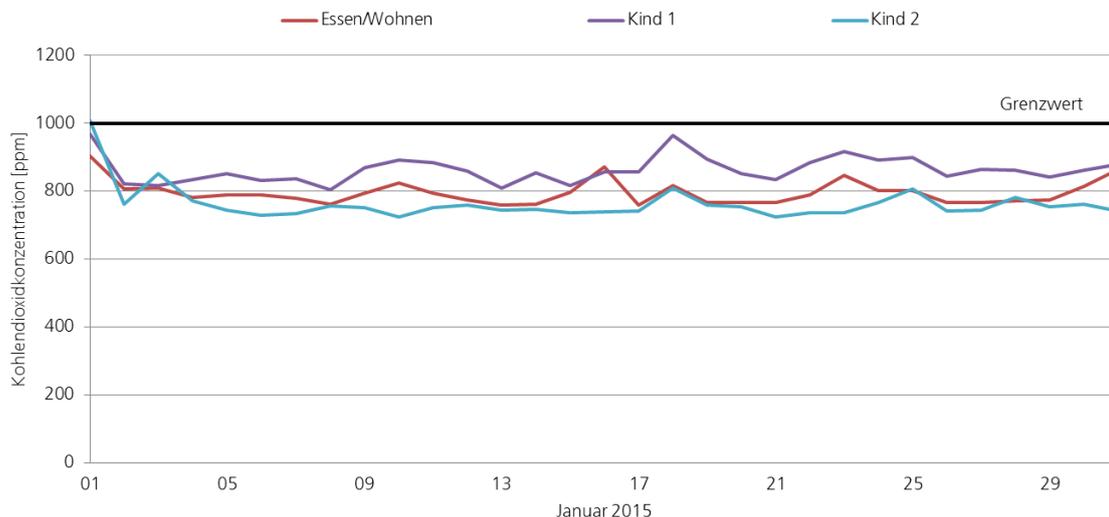


Bild 53:
Kohlendioxidkonzentration in den Aufenthaltsräumen im Januar 2015.

4.8 Behaglichkeit

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

Im Folgenden sind die Messwerte für zwei Räume im Gebäude, den Wohn-/ Essbereich im EG und das Kinderzimmer im OG, für einen Monat innerhalb der 3. Heizperiode, Januar 2015 (Bild 54 und 55), und für einen Sommermonat, August 2014 (Bild 56 und 57) dargestellt. Die numerischen Werte können der Tabelle 13 im Anhang 3 entnommen werden.

Im Januar 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.

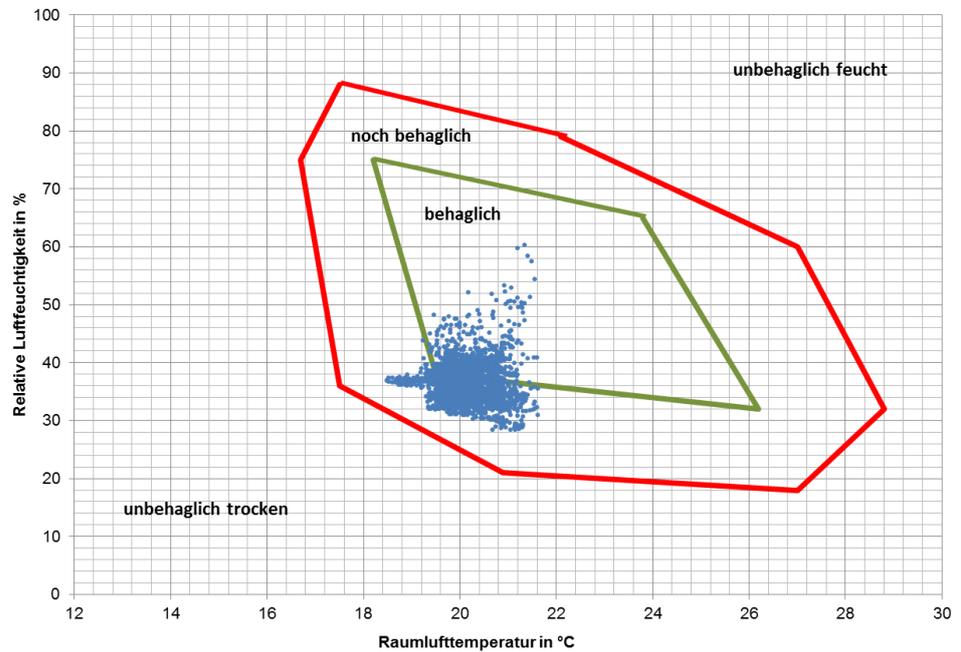


Bild 54: Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Wohnen / Essen EG Januar 2015.

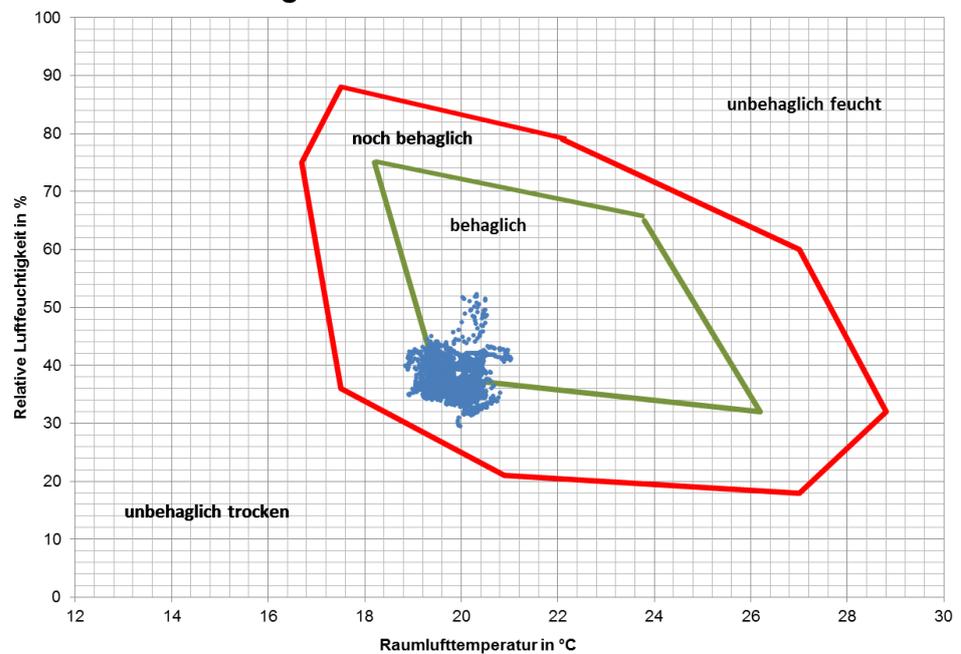


Bild 55: Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Kind 1 OG Januar 2015.

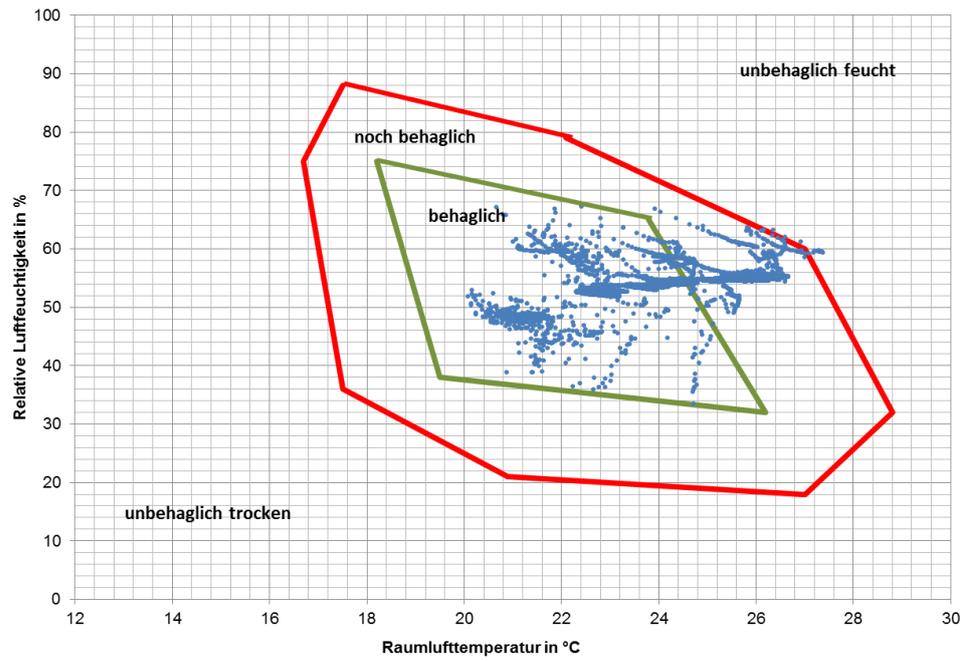


Bild 56:
Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Wohnen / Essen EG im August 2014.

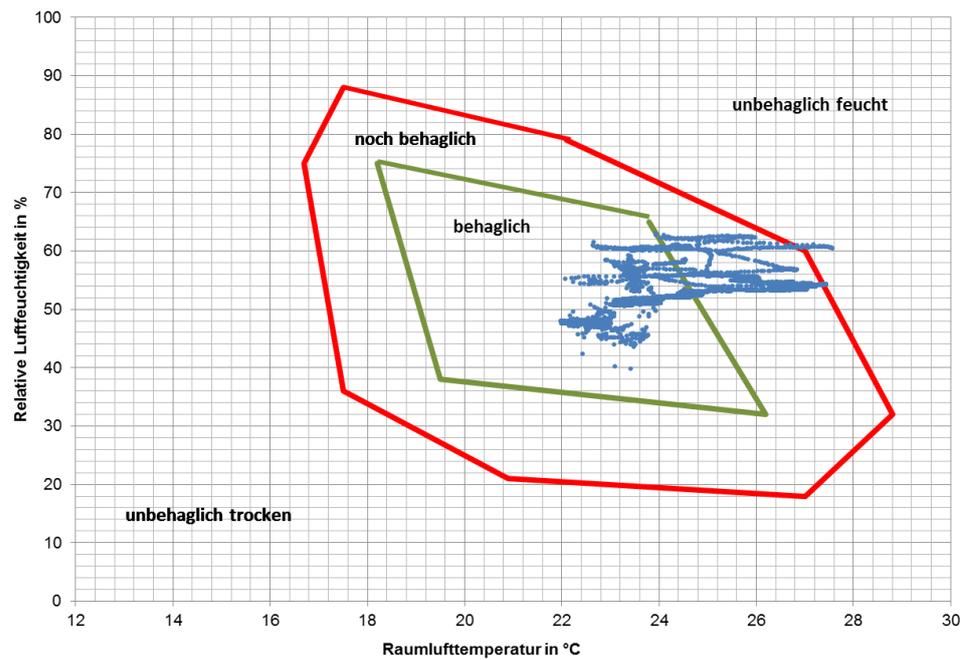


Bild 57:
Behaglichkeitsdiagramm für den Bereich Kind 1 OG im August 2014.

5 Bewertung

5.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

Das Gebäude erreicht in allen Messphasen den Effizienzhaus Plus-Standard. Es zeigen sich jedoch beim Vergleich der gemessenen hausbezogenen Verbrauchswerte (gemäß Kapitel 4.2.2) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (gemäß Kapitel 4) im 1. Messjahr deutliche Abweichungen bei den Stromverbräuchen. Durch Optimierungen an der Anlagentechnik und Messtechnik sowie ein milderer Klima konnten die Abweichungen zwischen Vorherberechnung und Messung im 3. Messjahr reduziert werden. Der vorausberechnete Photovoltaikertrag konnte während der gesamten Messzeit nicht erreicht werden.

Im 1. Messjahr (März 2012 bis Februar 2013) lagen die Abweichungen 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 77 % erhöhten Energieverbrauch: 12.400 kWh (Messung) anstelle 6.992 kWh (Planung). Gleichzeitig zeigt der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen (gemäß Kapitel 4.1.1) mit den vorherberechneten Ertragswerten (gemäß Kapitel 4) witterungs- und verschattungsbedingte Mindererträge (13.306 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 20 %. Die beiden gegenläufigen Effekte führten dazu, dass in der Messperiode nur 906 kWh Energieüberschuss anstelle der prognostizierten 9.633 kWh erzielt werden konnten.

Im 3. Messjahr (März 2014 bis Februar 2015) ergaben sich nachfolgende Abweichungen:

- Wärmepumpe: 3.088 kWh (Messung) anstelle 2.217 kWh (Planung)
- Hilfsenergien: 3.139 kWh (Messung) anstelle 2.275 kWh (Planung)
- Beleuchtung: 348 kWh (Messung) anstelle 375 kWh (Planung)
- Haushalt: 1.386 kWh (Messung) anstelle 2.125 kWh (Planung)

Dies führt in Summe zu einem etwa 15 % erhöhten Energieverbrauch: 7.960 kWh (Messung) anstelle 6.992 kWh (Planung). Gleichzeitig zeigt der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus den Photovoltaikanlagen (gemäß Kapitel 4.1.1) mit den vorherberechneten Ertragswerten (gemäß Kapitel 4) verschattungsbedingte Mindererträge (13.490 kWh/a anstelle der prognostizierten 16.625 kWh/a) von etwa 19 %. Die beiden gegenläufigen Effekte führten dazu, dass in der Messperiode 5.530 kWh Energieüberschuss anstelle der prognostizierten 9.633 kWh erzielt werden konnten.

5.2 Verbesserungspotential

Gegenüber dem 1. Messjahr, mit den durchgeführten Optimierungen im Bereich der Baukonstruktion (Trennung der Geschosse durch Glastür), der Haus- und Messtechnik konnte der Endenergieverbrauch des Gebäudes maßgeblich reduziert werden. Die vorherberechneten Werte sowohl für den Endenergiebedarf als auch für den Photovoltaikertrag konnten jedoch noch nicht erzielt werden. Daraus ergeben sich nachfolgende Optimierungspotentiale:

- Die Lüftungsanlage benötigt während der Sommermonate für ihren Stand-by-Betrieb einen konstanten Energiebedarf. Im Sommer sollte die Lüftungsanlage komplett abgeschaltet und über Fenster gelüftet werden.
- Ein signifikanter Anteil im Bereich Hilfsenergien fällt auf die Hausautomation. Es ist zu prüfen, ob diese Systeme gesamtenergetisch zu einer Effizienzsteigerung, trotz ihrer Eigenstromverbräuche führen können.
- Die Messwerterfassung der Wechselrichter der einzelnen PV-Anlagen sollte geprüft und falls erforderlich instandgesetzt werden.
- Die Effizienz der Wärmepumpe sollte vor allem in den Monaten von April bis September gesteigert werden.
- Der elektrochemische Speicher zeigt weiteren Optimierungsbedarf.

6 Literatur

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

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

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

[4] ASTA: Technische Regeln für Arbeitsstätten, ASR A3.5 Ausgabe Juni 2010.

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

Anhänge

Anhang 1

Tabelle 6:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch März 2012 bis Februar 2013.

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

Tabelle 7:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges März 2012 bis Februar 2013.

Monat	E-Mobilität	Projektspezifisch	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse & sonstiges			
			Haushaltsgeräte	Kochen	Sonstige Kleingeräte	Sonstiges ohne Zuordnung
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
März 12	443	349	52	16	58	175
Apr. 12	308	160	69	20	52	150
Mai 12	397	313	50	15	56	142
Juni 12	247	337	53	18	41	130
Juli 12	280	266	53	8	31	127
Aug. 12	277	370	56	16	55	131
Sep. 12	268	217	48	13	44	125
Okt. 12	311	287	32	5	51	135
Nov. 12	471	410	45	6	56	114
Dez. 12	437	452	59	52	79	69
Jan. 13	307	498	46	64	61	68
Feb. 13	228	415	45	12	45	61
Summe	3.974	4.074	608	245	630	1.427

Tabelle 8:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch März 2013 bis Februar 2014.

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

Tabelle 9:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges März 2013 bis Februar 2014.

Monat	E-Mobilität	Projektspezifisch	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse & sonstiges			
			Haushaltsgeräte	Kochen	Sonstige Kleingeräte	Sonstiges ohne Zuordnung
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
März 13	417	507	62	37	48	70
Apr. 13	243	445	43	12	41	67
Mai 13	243	480	101	34	37	67
Juni 13	69	490	20	5	31	40
Juli 13	84	517	24	1	158	51
Aug. 13	97	554	19	4	53	44
Sep. 13	48	599	25	2	24	51
Okt. 13	39	642	22	3	30	47
Nov. 13	49	651	16	3	165	44
Dez. 13	33	615	17	7	58	51
Jan. 14	150	629	23	7	98	52
Feb. 14	88	464	20	0	28	46
Summe	1.560	6.594	391	116	770	630

Tabelle 10
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch März 2014 bis Februar 2015.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch				Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV- Ertrag	PV- Einspeisung	PV- Eigenverbrauch	Heizung+ TWW	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse & sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
März 14	527	1.303	564	740	323	252	56	108	739
Apr. 14	373	1.656	907	750	138	242	46	87	513
Mai 14	381	1.770	931	839	116	261	30	143	550
Juni 14	294	2.024	1.184	839	39	257	20	135	451
Juli 14	431	2.066	1.382	684	25	246	19	113	402
Aug. 14	153	1.724	898	826	23	268	17	76	385
Sep. 14	310	1.176	364	812	45	283	24	159	511
Okt. 14	446	697	90	607	75	279	22	107	483
Nov. 14	1.251	234	15	219	434	264	29	124	851
Dez. 14	1.605	107	11	96	634	256	28	114	1.032
Jan. 15	1.650	153	14	139	671	269	31	127	1.098
Feb. 15	1.166	580	157	423	565	261	26	93	945
Summe	8.584	13.490	6.516	6.974	3.088	3.139	348	1.386	7.960

Tabelle 11:
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges März 2014 bis Februar 2015.

Monat	E-Mobilität	Projektspezifisch	Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse & sonstiges			
			Haushaltsgeräte	Kochen	Sonstige Kleingeräte	Sonstiges ohne Zuordnung
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
März 14	58	469	21	7	32	49
Apr. 14	116	494	19	0	20	48
Mai 14	156	514	56	32	11	44
Juni 14	177	504	53	22	20	39
Juli 14	173	540	42	17	16	38
Aug. 14	103	491	24	12	7	32
Sep. 14	178	435	48	38	36	37
Okt. 14	122	448	32	28	12	36
Nov. 14	201	418	42	38	10	33
Dez. 14	209	460	39	32	11	33
Jan. 15	257	434	48	31	14	33
Feb. 15	240	404	33	21	10	30
Summe	1.988	5.610	456	279	200	451

Anhang 2

Tabelle 12:
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufthtemperaturen in den Aufenthaltsräumen März 2014 bis Februar 2015.

Monat	Essen/Wohnen	Bad	Eltern	Kind 1	Kind 2	HWR	Technik
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
März 14	21,3	23,2	23,0	22,3	21,8	25,1	21,8
Apr. 14	21,6	23,3	22,8	22,5	21,8	25,2	24,5
Mai 14	21,5	23,4	22,4	22,1	21,6	26,3	25,5
Juni 14	22,8	24,9	23,6	23,5	22,9	28,4	28,0
Juli 14	25,4	27,9	25,7	25,6	24,9	32,1	31,4
Aug. 14	23,9	27,2	24,8	24,5	24,1	30,3	28,9
Sep. 14	22,1	23,9	22,8	22,8	22,2	27,1	25,8
Okt. 14	19,2	20,6	20,0	19,9	19,4	23,2	21,9
Nov. 14	20,1	20,1	19,8	19,9	19,8	22,3	20,0
Dez. 14	19,4	19,3	19,0	19,0	19,0	21,1	18,2
Jan. 15	20,2	19,6	19,4	19,9	19,6	21,6	18,7
Feb. 15	19,9	19,4	19,3	19,3	19,2	21,5	18,6
Mittelwert (Okt. – März)	20,0	20,4	20,1	20,1	19,8	22,5	19,9

Anhang 3

Tabelle13:

Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Luftfeuchten in den Aufenthaltsräumen März 2014 bis Februar 2015.

Monat	Essen/Wohnen	Bad	Kind 1	Kind 2	HWR	Technik
	%	%	%	%	%	%
März 14	33,7	32,2	33,9	34,4	27,2	30,6
Apr. 14	38,8	37,0	38,2	39,5	31,1	31,2
Mai 14	45,2	44,3	45,2	46,4	36,3	33,6
Juni 14	48,5	45,3	47,7	49,1	38,0	34,8
Juli 14	52,9	48,5	53,2	55,0	38,9	36,6
Aug. 14	53,8	46,4	53,5	54,7	39,8	38,3
Sep. 14	58,1	54,0	57,0	58,5	44,3	44,7
Okt. 14	63,3	58,3	61,4	63,1	48,6	50,7
Nov. 14	47,6	52,0	49,5	50,6	43,3	44,0
Dez. 14	38,5	41,4	39,8	40,6	35,2	37,3
Jan. 15	36,5	41,0	37,7	39,2	35,4	35,9
Feb. 15	33,7	38,0	35,2	36,0	32,0	32,0