Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus

Nr. 16

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus

in Münnerstadt

Forschungsprogramm

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

Messperiode

November 2012 bis Oktober 2014

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-12.8

im Auftrag

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

bearbeitet von

Prof. Dr.-Ing. Martin Bauer Katharina Rau Michael Sedlmeier Hochschule Augsburg/ Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen



Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen

Münnerstädter – Effizienzhaus Plus

Messzeitraum November 2012 bis Oktober 2014

Abschlussbericht





Auftraggeber

Bauherren

Auftragnehmer

Hochschule Augsburg, Fakultät für Architektur und Bauwesen

Erstellt von

Prof. Dr.-Ing. Martin Bauer, Hochschule Augsburg

Mitarbeit

Katharina Rau, M.Eng.

Dipl. Ing. (FH) Michael Sedlmeier, M.Eng.

Ingenieurbüro Miller, Münnerstadt

Gefördert durch

Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Erstellt

20. November 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	5
2	Kontext und Zielsetzung	7
3	Gebäudesteckbrief	8
3.1.	Allgemeine Daten	8
3.2.	Architektur	9
3.3.	Wärmeschutz	10
3.4.	Anlagentechnik	11
3.5.	Energiebedarf und Energiedeckung	13
3.6.	Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599	14
4	Monitoring	16
4.1.	Messkonzept	16
4.2.	Verwendete Messtechnik	19
4.3.	Dokumentation	21
5	Meteorologische Randbedingungen	24
5.1.	Solarstrahlung	24
5.2.	Außenlufttemperaturen	25
5.3.	Klimabereinigung	26
6	Messergebnisse	28
6.1.	Messdaten	28
6.2.	Stromverbrauch	28
6.3.	Eigenstromnutzung	35
6.4.	Anlagenperformance	36
7	Kosten / Wirtschaftlichkeit	42
7.1.	Baukosten und laufende Kosten	42
7.2.	Kosten Geräte	44
8	Bewertung	45
8.1.	Energieeffizienz des Modellgebäudes	45
8.2.	Verbesserungspotentiale	46
9	Literatur	48
10	Anhang	49

1 Kurzfassung

In diesem Bericht wird das Münnerstädter Plusenergiegebäude "Müpeg" vorgestellt. Es ist Teil des Modellprojekts "Plus-Energie-Haus-Standard" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Das Wohnhaus mit Büro wurde 2012 im Passivhaus-Standard in Münnerstadt (Bayern) erstellt. Es wurde von November 2012 bis einschließlich Oktober 2014 in bewohntem Zustand messtechnisch erfasst.

Der Vergleich des gemessenen Verbrauchs mit den vorab nach DIN V 18599 berechneten Bedarfswerten für Heizen, Trinkwarmwasser und Lüftung zeigt, dass der tatsächliche Verbrauch im ersten Jahr des Messzeitraums 34 % und im zweiten Jahr 66 % unter dem prognostizierten Wert liegt.

Der gemessene Verbrauch für die Haushaltsaufwendungen liegt bei ca. 4.200 kWh/a. Dies sind ca. 70 % mehr als die angesetzten 2.500 kWh/a aus dem Effizienzhaus-Plus Rechner.

Die Berechnung nach DIN V 18599 ergibt für die Erzeugung von PV-Strom einen jährlichen Ertrag von 20.057 kWh. Messtechnisch wurde für das erste Jahr ein Ertrag von 20.993 kWh und für das zweite Jahr 22.209 kWh erfasst.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Gebäude Müpeg für alle nach DIN V 18599 berechneten Positionen in der untersuchten Messperiode bessere Werte erbringt, während der Verbrauch im Haushalt wesentlich höher ist als in der Prognose.

Im Mai 2013 wurde eine Ladestation für Elektromobilität am Gebäude installiert. Diese sollte als Elektro-Tankstelle im Quartier zur Verfügung stehen. Bis zum Ende des Messzeitraums wurde sie jedoch ausschließlich für das Elektromobil der Bewohner genutzt. Für Mobilität wurden knapp 2.000 kWh/a aufgewendet. Durch die hohen Überschüsse aus der PV-Anlage war rechnerisch eine vollständige Deckung aus Erneuerbaren Energien möglich.

Die Gegenüberstellung von Verbrauch und Erzeugung ergibt sowohl in der Vorhersage als auch durch das Monitoring einen hohen Überschuss an PV-Strom (Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich von Prognose und Messergebnissen

	Prognose [kWh/a]	Nov 12 - Okt 13 [kWh/a]	Nov 13 - Okt 14 [kWh/a]
Heizen, TWW, Lüftung	5.264	3.470	1.792
Haushalt	2.500	4.250	4.187
Summe Aufwand	7.764	7.720	5.979
PV-Strom Erzeugung	20.057	20.992	22.209
Überschuss (rechnerisch)	12.293	13.272	16.230

2 Kontext und Zielsetzung

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) hat mit der Bekanntmachung vom 18.08.2011 die Bestimmungen für die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im "Plus-Energie-Haus-Standard" festgelegt. Ziel der Förderung im Rahmen der Forschungsinitiative "Zukunft Bau" ist es, sogenannte Plus-Energie-Häuser zu evaluieren. Durch Forschung und Untersuchung sollen Grundlagen für die Weiterentwicklung und Markteinführung derartiger Gebäude zur Verfügung gestellt werden (BMVBS, 2011). Der "Plus-Energie-Haus-Standard" erreicht. wenn sowohl negativer Jahres-Primärenergiebedarf ein $(\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh/(m}^2 a))$ als auch ein negativer Jahres-Endenergieverbrauch $(\Sigma Q_e < 0 \text{ kWh/(m}^2 a))$ vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) wie z. B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sind einzuhalten. (BMVBS, Anlage1)

In diesem Bericht wird das Münnerstädter Plusenergiegebäude "Müpeg" vorgestellt, das Teil des Modellprojekts "Plus-Energie-Haus-Standard" ist. Das Wohnhaus mit Büro wurde 2012 im Passivhaus-Standard in Münnerstadt (Bayern) erstellt. Es wurde zwei Jahre lang in bewohntem Zustand messtechnisch erfasst. Mit dem Monitoring werden die Anforderungen für die Praxis überprüft, die an ein Plusenergiegebäude gestellt sind. Dafür wurden die Energiemengen kontinuierlich erfasst, die vom Gebäude erzeugt und in das Netz eingespeist bzw. dem Gebäude zugeführt werden. Außerdem wurden die äußeren Klimabedingungen sowie Messwerte zur Bestimmung des Innenraumklimas aufgezeichnet.



Abbildung 1: Gebäude Müpeg

3 Gebäudesteckbrief

Das Gebäude Müpeg (Münnerstädter Plusenergiegebäude) liegt in der Nähe von Würzburg im unterfränkischen Landkreis Bad Kissingen, Bayern. Das Erd- und Obergeschoss wird von einer dreiköpfigen Familie bewohnt. Im Untergeschoss befinden sich Büroräume und der Technikraum.

3.1. Allgemeine Daten

Tabelle 2: Daten Gebäude

Baujahr	2012
Bruttogrundfläche	407,4 m²
Nutzfläche	370,4 m²
Nettogrundfläche	335,3 m²
Bruttovolumen V _e	1.157,6 m³
Hüllflächenfaktor A/V _e	0,58 m ⁻¹
Breitengrad	
Längengrad	
Höhenlage	235 m über NN
Mittlere Jahrestemperatur*	8,6 °C
Mittlere Wintertemperatur (Okt – Apr)*	3,3 °C
Gradtagzahl am Standort**	3.373 Kd
TRY - Klimazone / Referenzstation	TRY 13 / Passau

^{*} mittlere Jahres- und Wintertemperatur nach DIN V 18599-10

^{**} langjähriges Mittel am Standort Würzburg G20/12

3.2. Architektur

Das Gebäude ist als Passivhaus mit einer konsequenten Südausrichtung entworfen. Der Entwurf integriert im Erdgeschoss ein durchgehendes Treppenhaus zu Unter- und Obergeschoss. Mit der Fensteranordnung nach allen Seiten entstehen mit der offenen Grundrissstruktur helle und freundliche Räume.

Das Architekturkonzept sieht im Obergeschoss die Schlafräume und das Bad vor. Im Erdgeschoss sind neben dem großzügigen Wohnen-Essen-Kochen-Bereich ein Gästezimmer sowie ein WC und ein Hauswirtschaftsraum angeordnet. Im Untergeschoss befindet sich das Büro mit angegliedertem WC, ein großzügiger Eingangsbereich und der Technikraum.



Abbildung 2: Grundrisse

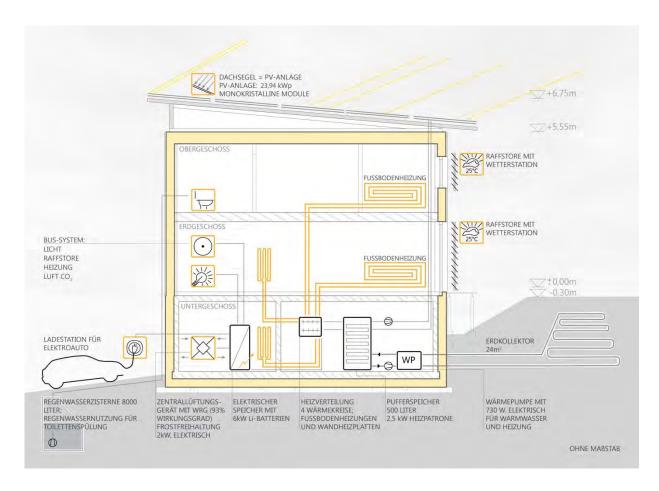


Abbildung 3: Gebäude- und Energiekonzept

3.3. Wärmeschutz

Die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes werden durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle minimiert. Die Außenwand besteht aus einer ca. 45 cm starken, außenseitig Holzrahmenkonstruktion. Die Holzfenster sind mit einer 3-Scheibenverputzten Wärmeschutzverglasung mit einem U_g-Wert von 0,6 W/m²K ausgeführt. Auf der obersten Geschossdecke ist ein 6° geneigtes Pultdach angeordnet, das mit Photovoltaikpaneelen versehen ist. Die massiven Wände im Kellergeschoss sind außenseitig mit einem 30 cm starken Polystyrol-Schaum gedämmt. Die 25 cm starke Bodenplatte aus WU-Beton liegt auf einer 30 cm starken lastabtragenden Perimeterdämmung. Die Außenbauteile sind wärmebrückenfrei konstruiert und mit hoher Dichtheit ausgeführt. Der spezifische Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle beträgt 0,15 W/m²K und liegt ca. 70 % unter den Anforderungen der EnEV 2009. An der Südseite des Gebäudes ist ein außenliegender Sonnenschutz aus Aluminium-Lamellen angebracht, der sowohl automatisch als auch manuell gesteuert werden kann.

Tabelle 3: Aufbau der Bauteile Gebäudehülle

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m²K]		
	Gipskartonplatte	12,5			
	Holzwerkstoffplatte	85			
Außenwand EG / OG (von innen nach außen)	Holzkonstruktion mit Wärmedämmung WLG 040	300	0,11		
	Holzweichfaserplatte	60			
	Putz	12			
	Betonfertigteil	175			
Außenwand UG (von innen nach außen)	Wärmedämmung WLG 032	300	0,1		
,	Putz	13			
Fenster	Holzfenster mit Dreifachverglasung $[U_g = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}]$	-	0,7		
	Rauhspundschalung	16			
Oberste Geschossdecke	Holzkonstruktion mit Wärmedämmung WLG 040	400			
(von oben nach unten)	OSB-Platte	15	0,1		
	Lattung	24			
	Gipskartonplatte	12,5			
	Betonfertigteil	250			
Bodenplatte	Wärmedämmung WLG 038	300	0.12		
(von oben nach unten)	Sauberkeitsschicht	50	0,12		
	Kapillarbrechende Schicht	200			

3.4. Anlagentechnik

Die Räume im Untergeschoss sind ohne eine konventionelle Heizungsanlage ausgestattet. Der Nutzwärmebedarf wird zum Großteil mit den internen Wärmegewinnen durch Personen und Büromaschinen gedeckt. Der anfallende Restbedarf an Wärme wird mittels einer elektrischen Zusatzheizung bereitgestellt.

Ein zentrales Lüftungsgerät mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 93 % versorgt alle Räume mit der erforderlichen Frischluft. Die benötigte Wärmemenge zur Beheizung des Hauses und zur Bereitstellung des Trinkwarmwassers wird durch eine Erdreich-Wärmepumpe gewährleistet. Über einen Pufferspeicher mit integriertem Heizschwert wird die Wärme in die

Fußbodenheizung geführt und im Wohnbereich im Erdgeschoss und im Bad im Obergeschoss verteilt. Für die vier Heizkreise sind vier Pumpen mit einer elektrischen Leistung von jeweils 3,5 W installiert. In Abhängigkeit von der Außentemperatur und der jeweiligen Raumtemperatur werden die Pumpen-Drehzahlen und die Vorlauftemperatur für die Fußbodenheizung über ein BUS-System eingestellt. Für die Beheizung des Büros und des Kinderzimmers wurden elektrisch betriebene Steinplatten dimensioniert. Die Gebäudeleittechnik steuert die Jalousien zur Verschattung der Fenster sowie die Beleuchtungstechnik.

Der Eigennutzungsanteil am erzeugten PV-Strom wird mittels einer Blei-Gel-Batterie (Kapazität ca. 11 kWh) und Nutzung eines Elektromobils erhöht.

Tabelle 4 fasst die verwendete Gebäudetechnik mit den zugehörigen Leistungskennwerten zusammen.

Tabelle 4: Übersicht Anlagentechnik

Technologie	Hersteller	Produkt	Art	Leistung		
	Ochsner	Europe Mini EWP	Wärmepumpe mit Erdkollektorfeld	730 W Leistungsaufnahme, 3 kW Heizleistung	-	
Wärme- erzeuger	Ochsner	-	Heizschwert	2,5 kW	-	
erzeuger	Marmony	-	Marmorheizplatte	Marmorheizplatte 0,8 kW		
	Thermo Technologies	-	Infrarot- Wärmeplatte	0,15 kW	-	
Thermischer Speicher	Ochsner	UNI 500 solar	Pufferspeicher	-	Größe: 500 I	
Lüftungsanlage	PAUL	novus 300	zentrales Zu- und Abluftsystem	140 W, bis 300 m³/h	WRG: 93 %	
PV-Anlage	PV-Anlage Hareon HR-190-24/A		monokristalline Module	23,94 kWp	165 m²	
Elektrischer Speicher	Drytit Solar		Blei-Gel 230 Ah	-	Kapazität: 11,04 kWh	

3.5. Energiebedarf und Energiedeckung

Der jährliche Endenergiebedarf wird nach DIN V 18599 für Heizen und Erwärmung des Trinkwarmwassers mit 3.451 kWh (Heizung: 1.684 kWh/a, TWW: 1.767 kWh/a) berechnet. Der Hilfsenergiebedarf für den Betrieb der Regelung, Pumpen und Ventilatoren des Heizungs-, Warmwasser- und Lüftungssystems beläuft sich auf 1.813 kWh/a (Heizung: 471 kWh/a, TWW: 193 kWh/a, Lüftung: 1.149 kWh/a). Für Beleuchtung und Haushaltsgeräte werden gemäß Effizienzhaus-Plus Rechner 375 kWh/a (Beleuchtung) und 2.125 kWh/a (Verbrauch Haushaltsgeräte) angesetzt. (Effizienzhaus-Plus Rechner, 2012)

Dem gegenüber steht die berechnete Strommenge von jährlich 20.057 kWh, die mittels Photovoltaikanlage erzeugt wird.

Tabelle 5: Übersicht Energie berechnet nach DIN V 18599

Name	Heizung	Warm- wasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt
Nutzenergie Q _{x,b} [kWh/a]	2.272	3.373	-	-	ı	-
Wärmeabgabe d. Erzeugung Q _{x,outg} [kWh/a]	2.781	5.623	-	-	-	-
Endenergie Q _{x,f} [kWh/a]	1.684	1.767	-	-	375	2.125
Hilfsenergie Q _{x,f,aux} [kWh/a]	471	193	1.149	-	-	-
Strombedarf	2.155	1.960	1.149	-	375	2.125
[kWh/a]			Gesamt 7.7	'64 kWh/a		

Tabelle 6: Übersicht Energieerzeuger berechnet nach DIN V 18599

Deckung (geplant)								
Komponente	[kWh/a]							
PV-Dach	20.057							
PV-Wand	-							
PV-weitere	-							
Gesamt	20.057							

3.6. Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

Am Gebäude erzeugter Strom aus Photovoltaik wurde nicht in Abzug gebracht. Also wurden die Werte für den End- und Primärenergiebedarf nicht gemäß §5 EnEV 2009 korrigiert. In den Tabellen 7 und 8 sind die berechneten Energiemengen für Heizen, Trinkwarmwasser und Lüftung sowie die Aufwands- und Arbeitszahlen der Gebäudetechnik angegeben. Darin enthalten sind die Aufwendungen für die Wärmeerzeuger Wärmepumpe (inkl. Heizschwert), sowie die elektrischen Zusatzheizer in den Räumen Kinderzimmer und Büro und schließlich die zentrale Lüftungsanlage. Die Angabe der spezifischen Energie bezieht sich auf die Nutzfläche des Gebäudes (370,4 m²). Ergänzend zur berechneten Effizienz aller Wärmeerzeuger wird die Effizienz der Wärmepumpe (inkl. Heizschwert) separat betrachtet. Dabei erfolgt keine Angabe der spezifischen Energie, da die Wärmepumpe nur Teilbereiche des Gebäudes beheizt.

Tabelle 7: Übersicht Energiebedarf berechnet nach DIN V 18599

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m²a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung und TWW	5.645	15,2
Erzeugerabgabe	Wärmeabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung und TWW	8.404	22,7
Erzeugerabgabe Wärmepumpe	Wärmeabgabe der Wärmepumpe (inkl. Heizschwert) an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung und TWW	7.034	-
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme für Heizung und TWW	3.451	9,3
Endenergie Erzeuger Wärmepumpe	Strombedarf der Wärmepumpe (inkl. Heizschwert) für die Erzeugung von Wärme für Heizung und TWW	2.081	-
Endenergie Haustechnik	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme für Heizung und TWW sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	5.264	14,2
Primärenergie Haustechnik	Primärenergieinhalt der gesamten Endenergie für die Haustechnik	13.686	37,0

Tabelle 8: Übersicht berechnete Aufwands-/Arbeitszahlen

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,49
Effizienz der Wärmeerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,41
Effizienz Wärmepumpe inkl. Heizschwert (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,30
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,93
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,07
Arbeitszahl der Energieerzeuger (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	2,44
Arbeitszahl der Wärmepumpe inkl. Heizschwert (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	3,38
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	2,42

4 Monitoring

4.1. Messkonzept

Das Messkonzept für das Monitoring des Gebäudes wurde von dem Labor der Forschungsgruppe EnergieEffizienzDesign E2D der Hochschule Augsburg entwickelt. Es beinhaltet die Erfassung des Energieverbrauchs und -bezugs für die Elektro- und Wärmeversorgung im Gebäude. Zudem werden Daten zur Beurteilung des Innenraumklimas sowie die globale Sonneneinstrahlung, die Außentemperatur und die Außenluftfeuchte aufgezeichnet. Zur Bestimmung des Innenraumklimas werden auf den drei Geschossebenen Temperaturen und relative Luftfeuchten sowie im Erdgeschoss die CO₂-Konzentration der Raumluft erfasst. Die Messung erfolgt während der normalen Wohn- und Büronutzung.

Die nachfolgenden Abbildungen geben die Auslegung des Messkonzepts wieder:



Abbildung 4: Messstellen Obergeschoss

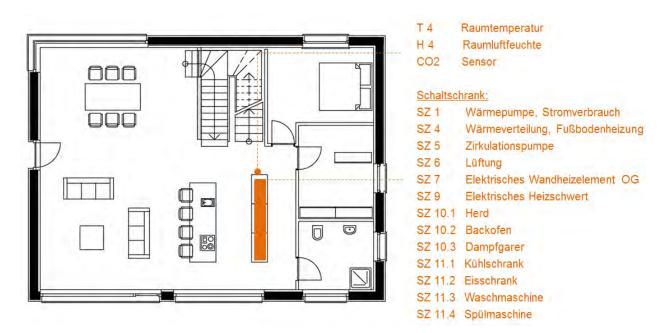


Abbildung 5: Messstellen Erdgeschoss

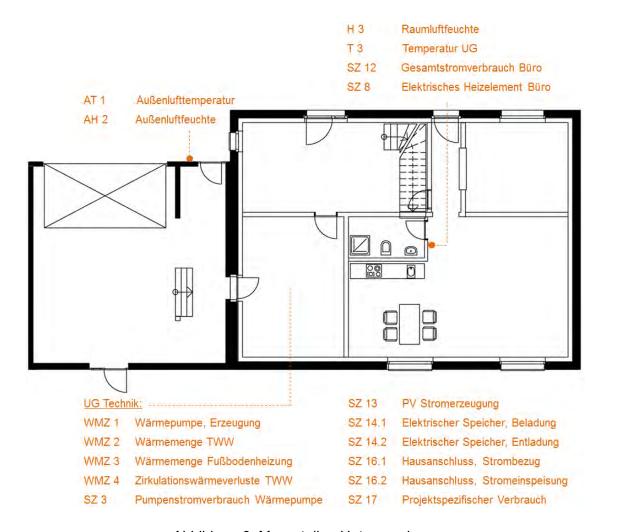


Abbildung 6: Messstellen Untergeschoss

Die horizontale Globalstrahlung wird auf der Nordseite und die vertikale Globalstrahlung auf der Südseite des Pultdachs gemessen. Die Messstellen sind in den Grundrissen nicht eingezeichnet. Die gesamte Elektroversorgung mit allen Verbrauchern ist mit den installierten Messzählern in Abbildung 7 dargestellt.

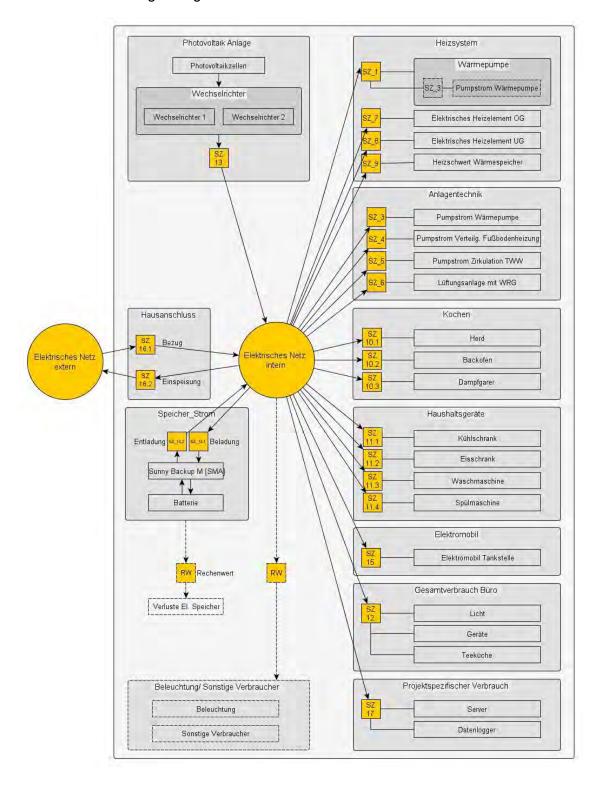


Abbildung 7: Schematische Darstellung Messkonfiguration Elektroversorgung

Die Messkonfiguration der Wärmeversorgung ist in der Abbildung 8 dargestellt. Die vier Wärmemengenzähler erfassen:

- die bereitgestellte Wärmemenge durch die Wärmepumpe
- die Verteilverluste durch die Zirkulation des Trinkwarmwassers
- die aufgewendete Wärmemenge für die Verteilung über die Fußbodenheizung
- die benötigte Wärmemenge zur Erwärmung des Trinkwarmwassers

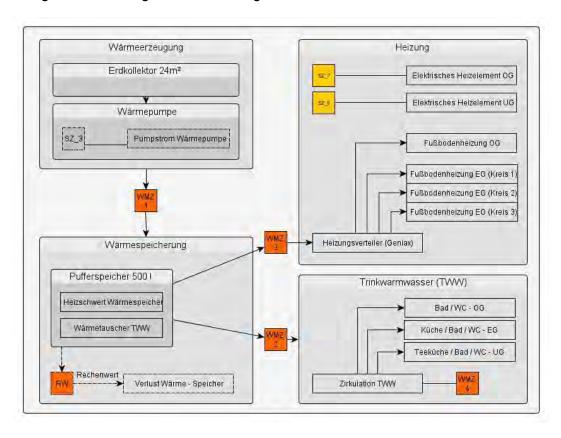


Abbildung 8: Schematische Darstellung Messkonfiguration Wärmeversorgung

4.2. Verwendete Messtechnik

Alle Messstellen im und am Gebäude sind mit Bezeichnung des jeweils eingesetzten Sensors in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Zusammenstellung Messtechnik

Messkanal	Zähler	Einheit	Bezeichnung Messgerät/ Sensor
Globalstrahlung horizontal	I_1	W/m²	16. 0.7. OMP 44.P.
Globalstrahlung vertikal	I_2	W/m²	Kipp & Zonen CMP 11 Pyranometer
Außenlufttemperatur	AT_1	°C	Ahlborn FHA646AG - Feuchte/Temperaturfühler
Außenluftfeuchtigkeit	AH_1	%H	im Allwetterschutzgehäuse
Temperatur UG	T_3	°C	Ability Fill AD 400 Fearable (Tearable of This
Luftfeuchtigkeit UG	H_3	%H	Ahlborn FH AD462 - Feuchte/Temperaturfühler
Temperatur EG	T_4	°C	Abiliana Fili AD 400 Farrabita (Tananana) affibian
Luftfeuchtigkeit EG	H_4	%H	Ahlborn FH AD462 - Feuchte/Temperaturfühler
CO2 EG	-	ppm	Sauter EGQ222F002 - NDIR CO2-Sensor
Temperatur OG	T_5	°C	Abiliana Elli AD 400 Farrabita (Tananana) of this
Luftfeuchtigkeit OG	H_5	%H	Ahlborn FH AD462 - Feuchte/Temperaturfühler
Herd	SZ_10.1	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.46
Backofen	SZ_10.2	kWh	
Dampfgarer	SZ_10.3	kWh	
Kühlschrank	SZ_11.1	kWh	Finder Widestrom Francisco the Ten 7F 00
Eisschrank	SZ_11.2	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.23
Waschmaschine	SZ_11.3	kWh	
Spülmaschine	SZ_11.4	kWh	
Stromerzeugung PV	SZ_13	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.46
Beladung Batterie	SZ_14.1	kWh	Finder Winterson Francisco Blanco Trans 7F 02
Entladung Batterie	SZ_14.2	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.23
Bezug Hausanschluss	SZ_16.1	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.46
Einspeisung	SZ_16.2	kWh	Filider Wirkshoff-Efferglezamer Typ 7E.46
elektrisches Heizelement OG	SZ_7	kWh	
elektrisches Heizelement UG	SZ_8	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.23
elektrische Wärmepumpe	SZ_1	kWh	Finder Wirkshoff-Energiezanier Typ 7E.23
elektrisches Heizschwert	SZ_9	kWh	
Wärmemenge Fußbodenheizung	WMZ_3	kWh	Techem - Ultra S3
Wärmepumpe Erzeugung	WMZ_1	kWh	
Wärmeverteilung	SZ_4	kWh	
Zirkulation	SZ_5	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.23
Pumpenstromverbrauch	SZ_3	kWh	Finder Wirkshoff-Energiezanier Typ 7E.25
Lüftung	SZ_6	kWh	
Zirkulation TWW	WMZ_4	kWh	Techem - Ultra S3
Wärmemenge TWW	WMZ_2	kWh	rechem - Ollia 33
Büro Gesamtverbrauch	SZ_12	kWh	Finder Wirkstrom Energiezähler Tun 75 46
Elektromobil Ladung	SZ_15	kWh	Finder Wirkstrom-Energiezähler Typ 7E.46
Projektspezifischer Verbrauch	SZ_17	kWh	HWGI Energie-Messgerät 230 V AC/4KW

4.3. Dokumentation

In der folgenden Tabelle sind die installierten Messgeräte abgebildet.



Abbildung 9: Pyranometer horizontal

Messstelle auf der Nordseite des Gebäudes zur Erfassung der Strahlung auf die horizontale Fläche.



Abbildung 10: Pyranometer vertikal

Messstelle auf der Südseite des Gebäudes zur Erfassung der Strahlung auf die vertikale Fläche.



Abbildung 11: Sensor Temperatur und Luftfeuchte außen

Messstelle auf der Nordseite des Gebäudes zur Erfassung der Außenlufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit.



Abbildung 12: Sensor Temperatur und Luftfeuchte UG

Messstelle im Büro (UG) zur Erfassung der Raumtemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit im Raum.



Abbildung 13: Sensoren Raumklima EG

Messstelle im EG zur Erfassung der Raumtemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit im Raum sowie zur Messung des CO2-Gehalts.



Abbildung 14: Sicherungskasten EG

Stromzähler im Sicherungskasten EG zur Messung des Stromverbrauchs von Herd, Backofen, Dampfgarer, Spülmaschine, Kühlschrank, Eisschrank, Waschmaschine, Lüftung, Heizelement OG, Wärmepumpe, Heizschwert, Verteilung Fußbodenheizung, Zirkulation TWW



Abbildung 15: Wärmemengenzähler WMZ 1

Wärmemengenzähler zur Erfassung der erzeugten Wärmemenge durch die Wärmepumpe.



Abbildung 16: Wärmemengenzähler WMZ 2

Wärmemengenzähler zur Erfassung der verbrauchten Wärmemenge für das Trinkwarmwasser.



Abbildung 17: Wärmemengenzähler WMZ 3

Wärmemengenzähler zur Erfassung der verbrauchten Wärmemenge für die Fußbodenheizung.



Abbildung 18: Sicherungskasten UG

Stromzähler im Sicherungskasten UG zur Messung des Strombezugs aus dem Netz, PV-Strom Erzeugung, Einspeisung, Be- und Entladung Batterie, Heizelement UG, Elektromobil und Pumpe Wärmepumpe.

5 Meteorologische Randbedingungen

5.1. Solarstrahlung

Für den Gebäudestandort wurde der Ertrag der Photovoltaikanlage sowie die Strahlungsintensität gemessen und den berechneten Werten nach DIN V 18599 gegenübergestellt. Die Werte stimmen im Wesentlichen überein und sind in Tabelle 10 abzulesen und in Abbildung 19 graphisch dargestellt.

Die Berechnung nach DIN V 18599 weist einen PV-Ertrag von 20.057 kWh/a aus. Die Messung hat in Summe für das erste Jahr der Monitoringperiode (Nov 2012 – Okt 2013) einen um ca. 950 kWh und im zweiten Jahr (Nov 2013 – Okt 2014) einen um ca. 2.150 kWh höheren PV-Ertrag ergeben. Dies entspricht im ersten Jahr 5 % und im zweiten Jahr 11 % mehr Ertrag als durch die stationäre Berechnung prognostiziert wurde.

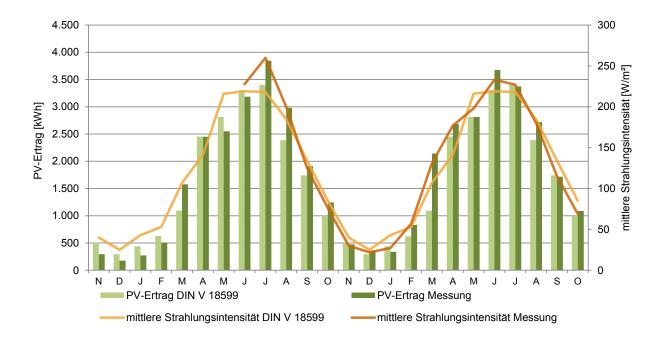


Abbildung 19: Strahlungsintensität und PV-Ertrag gemessen und berechnet

Tabelle 10: Strahlungsintensität und PV-Ertrag gemessen und nach DIN V 18599

		Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Mittelwert/ Summe
mittlere	DIN V 18599	40	25	43	53	107	141	216	219	218	185	134	85	122
Strahlungs- intensität	Jahr 1	-	-	-	-	-	-	-	228	260	200	125	76	178
	Jahr 2	30	22	27	57	131	177	198	233	227	180	115	69	122
PV-Ertrag	DIN V 18599	503	293	440	627	1.094	2.452	2.814	3.304	3.401	2.387	1.742	1.000	20.057
	Jahr 1	293	177	273	505	1.577	2.450	2.550	3.186	3.845	2.980	1.910	1.246	20.992
	Jahr 2	475	353	338	832	2.141	2.686	2.813	3.675	3.373	2.720	1.715	1.088	22.209

5.2. Außenlufttemperaturen

Die gemessenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen weichen bis auf die Monate Mai und August 2014 gegenüber dem Referenzklima der DIN V 18599 nach oben ab. Die Abweichung beträgt im Durchschnitt 2,2 °C.

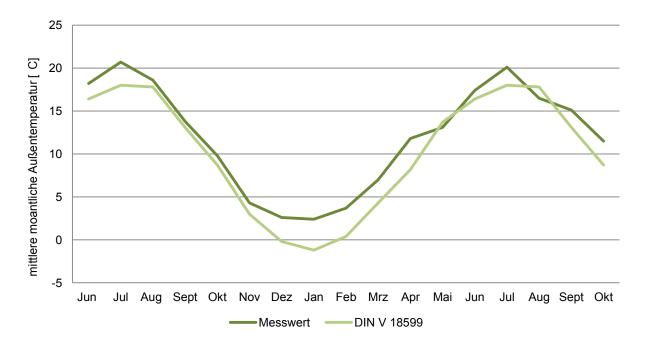


Abbildung 20: Mittlere Außenlufttemperatur nach DIN V 18599 und gemessene mittlere Außenlufttemperatur (Juni 2013 bis einschließlich Oktober 2014)

Tabelle 11: Messwerte mittlere Außenlufttemperatur und nach DIN V 18599

	2013							2014									
	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
Messwert	18,2	20,7	18,6	13,8	9,8	4,3	2,6	2,4	3,7	7,0	11,8	13,1	17,4	20,1	16,5	15,1	11,5
DIN V 18599	16,4	18,0	17,8	13,1	8,7	3,0	-0,2	-1,2	0,4	4,3	8,2	13,7	16,4	18,0	17,8	13,1	8,7

5.3. Klimabereinigung

Für den Zeitraum der automatischen Aufzeichnung der Messwerte (Jun 13 - Okt 14) wurden die Gradtagzahlen der Monate nach VDI 3807 Blatt 1 aus den gemessenen Werten berechnet. Die Tagesmittelwerte der Außentemperaturen basieren auf jeweils 24 Stundenmittelwerten.

Tabelle 12: Vergleich Gradtagzahlen Messwerte und langjähriges Mittel

	Gradtagzahl G20/12 [Kd]		
Monat	Messwerte*	langjähriges Mittel**	
Jun 13	9	25	
Jul 13	0	1	
Aug 13	0	5	
Sep 13	96	69	
Okt 13	248	282	
Nov 13	463	462	
Dez 13	540	571	
Jan 14	547	607	
Feb 14	21	526	
Mrz 14	397	444	
Apr 14	149	281	
Mai 14	120	100	
Summe	2.590	3.373	

	Gradtagzahl G20/12 [Kd]		
Monat	Messwerte*	langjähriges Mittel**	
Nov 13	463	462	
Dez 13	540	571	
Jan 14	547	607	
Feb 14	21	526	
Mrz 14	397	444	
Apr 14	149	281	
Mai 14	120	100	
Jun 14	0	25	
Jul 14	0	1	
Aug 14	0	5	
Sep 14	38	69	
Okt 14	142	282	
Summe	2.417	3.373	

*Berechnung nach VDI 3807 Blatt 1

**langjähriges Mittel (1970 – 2013) für den Standort Würzburg gemäß der "Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand vom 26. Juli 2007" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Die bestimmten Gradtagzahlen aus den Messwerten liegen je nach Festlegung des Zeitraums 23 % (Jun 2013 – Mai 2014) bzw. 28 % (Nov 2013 – Okt 2014) unter dem langjährigen Mittel der Gradtagzahl am Standort Würzburg und 28 % bzw. 33 % unter der Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland. Aus diesem Grund ist der gemessene Heizenergieverbrauch im Vergleich zu einem Durchschnittsjahr als gering anzusehen.

Tabelle 13: Vergleich Gradtagzahlen

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Münnerstadt in der Messperiode von 06/2013 bis 05/2014	2.590
Gradtagzahl am Standort Münnerstadt in der Messperiode von 11/2013 bis 10/2014	2.417
Gradtagzahl am Standort Würzburg für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	3.373
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Klimafaktor bezogen auf den Standort (Zeitraum 06/2013 – 05/2014):

$$KF = 3.373 / 2.590 = 1,30$$

Klimafaktor bezogen auf den Standort (Zeitraum 11/2013 – 10/2014):

$$KF = Kd / Kd = 3.373 / 2.417 = 1,40$$

Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima (Zeitraum 06/2013 – 05/2014):

$$KF = 3.601 / 2.590 = 1,39$$

Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima (Zeitraum 11/2013 – 10/2014):

$$KF = 3.601 / 2.417 = 1,49$$

6 Messergebnisse

6.1. Messdaten

Der Messzeitraum umfasst von November 2012 bis einschließlich Oktober 2014 zwei Jahre. Die Daten für die Monate Juni 2012 bis einschließlich Mai 2013 wurden manuell erfasst. Die automatisierte Aufzeichnung von 15-Minuten-Werten erfolgte seit Juni 2013. Für den Zeitraum der manuellen Aufzeichnung liegen keine Werte für folgende Messstellen vor:

- Globalstrahlung horizontal
- Globalstrahlung vertikal
- Temperatur Außenluft
- Relative Außenluftfeuchte
- Temperatur UG
- Temperatur EG
- Temperatur OG
- Raumluftfeuchtigkeit UG
- Raumluftfeuchtigkeit EG
- Raumluftfeuchtigkeit OG
- CO2-Gehalt

6.2. Stromverbrauch

Der Stromverbrauch des Münnerstädter Plusenergiegebäudes lässt sich in drei Anteile gliedern. Diese sind:

- Stromverbrauch für den Hausbetrieb (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Batterie,
 Gebäudeautomation, Licht, Haushaltsgeräte, sonstige Verbraucher im Haushalt)
- Projektspezifischer Stromverbrauch (Server, Datenlogger Monitoring)
- Stromverbrauch für Elektromobilität

Der Verbrauch für den Hausbetrieb ist in fünf Gruppen zusammengefasst (Abb. 21 bis 25):

- Heizung und Trinkwarmwasser
- Hilfsenergie Anlagentechnik
- Beleuchtung und sonstige Verbraucher
- Elektrogeräte
- Büro Gesamtstrom

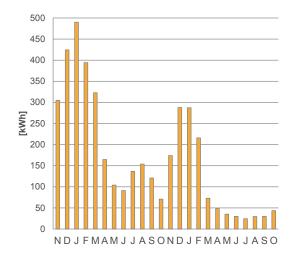


Abb. 21: Heizung und Trinkwarmwasser

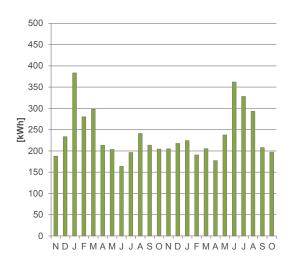


Abb. 23: Beleuchtung und sonstige Verbraucher

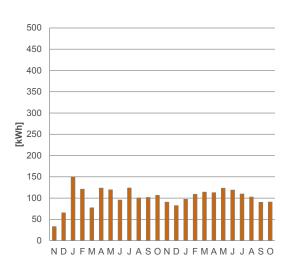


Abb. 22: Hilfsenergie Anlagentechnik

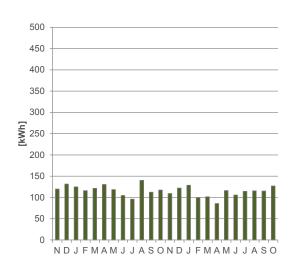


Abb. 24: Elektrogeräte

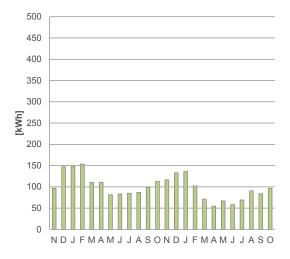
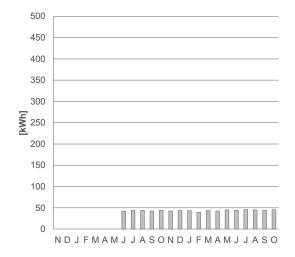


Abb. 25: Büro Gesamtstrom

Die monatlichen projektspezifischen Verbrauchswerte sind in Abbildung 26 und der Stromverbrauch für Elektromobilität in Abbildung 27 abzulesen.



450 450 400 350 300 250 200 150 100 50 NDJFMAMJJASONDJFMAMJJASO

Abb. 26: projektspezifischer Verbrauch

Abb. 27: Elektromobilität

6.2.1. Stromverbrauch für Hausbetrieb

Der kumulierte Verbrauch für die Anteile am Stromverbrauch Hausbetrieb sind in Tabelle 14 dokumentiert. Die hohe Differenz im Anteil "Heizung und Trinkwarmwasser" kann durch die unterschiedlichen Außentemperaturen in den beiden Winterperioden und den Betrieb des elektrischen Heizschwerts erklärt werden. In den Monaten Dezember 2012 bis April 2013 war es im Schnitt 3,4 K kälter als in den Monaten der darauffolgenden Winterperiode.

Tabelle 14: Stromverbrauch Hausbetrieb

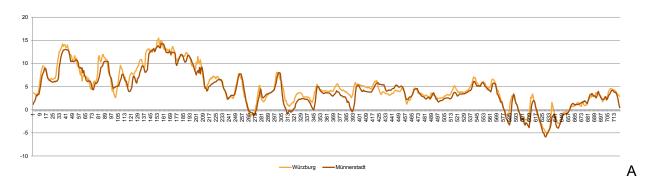
Anteil	Stromverbrauch Hausbetrieb [kWh]			
Anten	Nov 2012 - Okt 2013	Nov 2013 - Okt 2014		
Heizung und TWW	2.779	1.279		
Hilfsenergie Anlagentechnik	1.215	1.240		
Beleuchtung und sonstige Verbraucher	2.817	2.845		
Elektrogeräte	1.433	1.342		
Büro Gesamtstrom	1.316	1.079		
Summe	9.560	7.785		

Für die Heizperiode 2012/2013 wurden in Münnerstadt noch keine Werte zum Außenklima aufgezeichnet. Aus diesem Grund werden für den Vergleich der Außentemperaturen in den beiden Winterperioden die Werte der nächst gelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Würzburg verwendet. Tabelle 15 vergleicht die geographische Lage der beiden Stationen.

Tabelle 15: Standort Wetterstationen

Coographicaballaga	Wetterstation		
Geographische Lage	Münnerstadt Würzburg		
Breitengrad		49,77 °N	
Längengrad		9,96 °O	
Höhenlage	235 m über NN	268 m über NN	

Eine erste grafische Auswertung der gemessenen Außenlufttemperaturen in Würzburg und Münnerstadt ergibt eine gute Übereinstimmung. Der Monat November 2013 ist in Abbildung 28 beispielhaft dargestellt.



bb. 28: Gemessene Außenlufttemperaturen in Würzburg und Münnerstadt (Nov 2013)

Die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperaturen werden in Tabelle 16 angegeben. Der Vergleich der gemessenen Werte in Münnerstadt zu den Werten des Deutschen Wetterdienstes in Würzburg für die Winterperiode 2013/2014 (November bis April) zeigt, dass die mittlere monatliche Außenlufttemperatur in Münnerstadt im Schnitt um 0,9 K geringer ist als in Würzburg. Bei der Gegenüberstellung der Monatswerte des DWD in den beiden Winterperioden ergibt sich für die Monate Dezember bis April eine Differenz von durchschnittlich 3,4 K. Die mittlere Außenlufttemperatur in Würzburg war im Winter 2012/2013 um bis zu 6,3 K kälter als in der Winterperiode 2013/2014.

Tabelle 16: Mittelwerte Außenlufttemperaturen

Standort und	Außenlufttemperatur [°C]					
Messzeitraum	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
Würzburg 2012/13	5,4	2,6	1,1	-0,1	1,9	9,6
Würzburg 2013/14	4,9	3,5	3,4	4,8	8,2	12,4
Münnerstadt 2013/14	4,3	2,6	2,4	3,7	7,0	11,8

Die Mittelwerte der gemessenen Außenlufttemperaturen in Würzburg für die Winterperioden 2012/2013 und 2013/2014 und in Münnerstadt für 2013/2014 sind in Abb. 29 graphisch gegenübergestellt. Der größte Temperaturunterschied ergibt sich in den Monaten Februar und März.

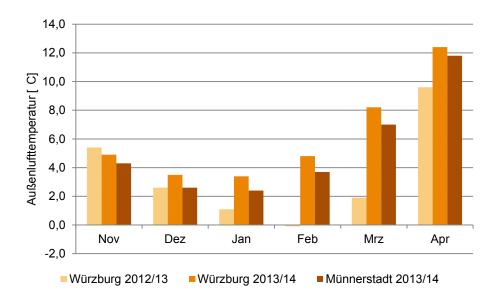


Abb. 29: Monatsmittelwerte der gemessenen Außenlufttemperaturen

Das elektrische Heizschwert war von Januar bis Oktober 2013 in Betrieb. Über die Sommermonate von Mai bis September 2013 wurde nahezu vollständig mit dem elektrischen Heizschwert geheizt bzw. das Trinkwarmwasser erwärmt. Die Bewohner haben die Wärmepumpe außer Betrieb genommen, damit sich das Erdreich über den Sommer regenerieren konnte. In Abb. 30 sind die aufgewendete Endenergie der Wärmepumpe und des elektrischen Heizschwerts der erzeugten Wärmemenge gegenübergestellt. Das Heizschwert nutzt im Gegensatz zur Wärmepumpe keine Umweltenergie und setzt den Strom direkt in Wärme um.

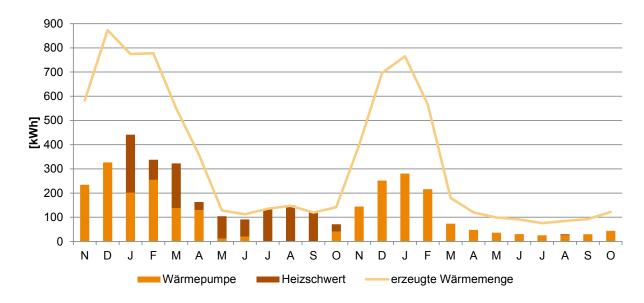


Abb. 30: Wärmeerzeugung

6.2.2. Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil

Der projektspezifische Verbrauch beinhaltet den Stromverbrauch des Datenloggers sowie des Servers für die Datenhaltung. Die Installation dieser Messeinrichtung wurde im Mai 2013 vorgenommen. Der Verbrauch liegt bei durchschnittlich 43,5 kWh/Monat. Der kumulierte Verbrauch im zweiten Jahr des Monitorings (Zeitraum Nov 2013 bis einschließlich Okt 2014) beträgt 523 kWh.

6.2.3. Stromverbrauch für Elektromobilität

Die Ladestation für das Elektromobil wurde im Mai 2013 installiert und in Betrieb genommen. Durchschnittlich wird das Elektromobil monatlich mit ca. 180 kWh Strom beladen. Im Messzeitraum November 2013 bis einschließlich Oktober 2014 wurde ein Stromverbrauch für die Beladung des Elektromobils in Höhe von 1.939 kWh/a verzeichnet. Von Juni 2013 bis Oktober 2014 wurden 3.083 kWh Strom für Elektromobilität aufgewendet.

6.2.4. Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung

Im ersten Jahr des Messzeitraums wurden 20.992 kWh Strom von der Photovoltaikanlage generiert, wovon 17.571 kWh in das öffentliche Netz eingespeist wurden. Im zweiten Jahr wurden 22.209 kWh erzeugt und 18.540 kWh eingespeist. Somit wurden im ersten Jahr 3.421 kWh und im zweiten Jahr 3.669 kWh des erzeugten PV-Stroms im Haus genutzt. Aus dem öffentlichen Netz wurden im ersten Jahr 7.498 kWh und im zweiten Jahr 6.577 kWh bezogen. Bei den aufgeführten Strommengen für Einspeisung und Bezug handelt es sich um

die tatsächlich geflossenen Strommengen. Die abgerechneten Strommengen weichen von den tatsächlichen Stromflüssen ab. Eine Erläuterung wird in Kapitel 6.3 gegeben.

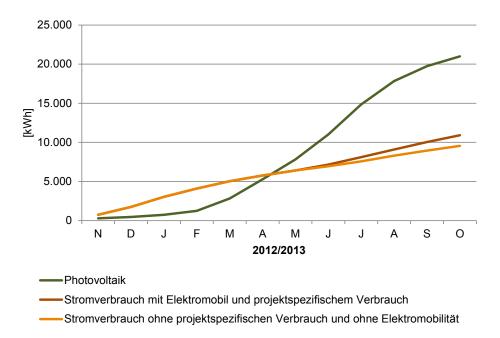


Abb. 31: Stromverbrauch und -gewinnung Messzeitraum 2012/13

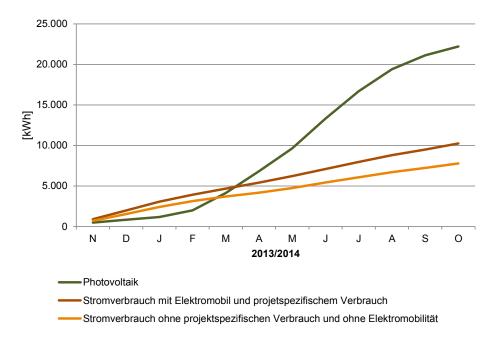


Abb. 32: Stromverbrauch und -gewinnung Messzeitraum 2013/14

6.3. Eigenstromnutzung

Im ersten Jahr der Messung wurden 3.421 kWh des erzeugten PV-Stroms im Gebäude genutzt. Dies entspricht ca. 16 % des erzeugten Stroms und deckt ca. 31 % der insgesamt verbrauchten 10.919 kWh Strom. Im zweiten Jahr wurden ca. 1.200 kWh mehr PV-Strom erzeugt als im ersten Jahr. Von den erzeugten 22.209 kWh wurden 3.669 kWh im Gebäude genutzt. Dies entspricht ebenfalls ca. 16 % des erzeugten Stroms und deckt knapp 36 % der insgesamt verbrauchten 10.247 kWh Strom. Im Durchschnitt werden ca. 300 kWh PV-Strom jeden Monat direkt im Gebäude genutzt (inkl. Elektromobil und projektspezifischem Verbrauch). In Abb. 33 ist der Eigenverbrauch am PV-Strom pro Monat graphisch dargestellt.

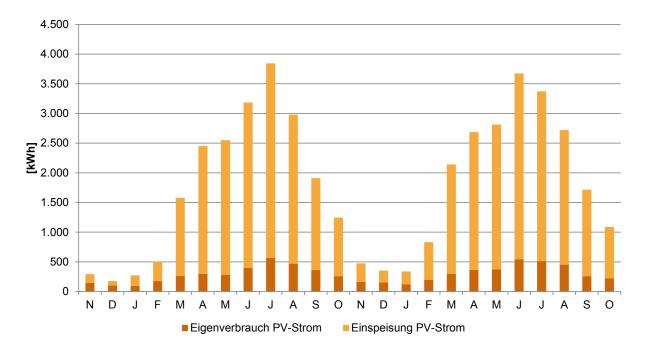


Abb. 33: Eigenverbrauch PV-Strom

Mit dem elektrischen Speicher wird der Eigenverbrauch rechnerisch erhöht. Das einphasige Batteriesystem gleicht bezogenen Strom aus. Der Zähler des Energieversorgers saldiert die Mengen, wenn gleichzeitig Strom in beide Richtungen fliest (in und aus dem Netz). Das Monitoringsystem dagegen erfasst die tatsächlichen Stromflüsse in beide Richtungen.

Wird dieses Prinzip des Saldierens auf die gemessenen Werte aus dem Monitoring übertragen, ergibt sich ein rechnerischer Eigenverbrauch von 6.605 kWh im Messzeitraum November 2013 bis Oktober 2014. Dies entspricht dann ca. 30 % der erzeugten 22.209 kWh PV-Strom und deckt ca. 65 % der verbrauchten 10.247 kWh im zweiten Jahr der Messung. Eine Saldierung der Messwerte ist nur bei zeitlich hochaufgelösten Daten sinnvoll. Aus diesem Grund wird die Berechnung nur für den Zeitraum durchgeführt, in dem automatisch 15-Minuten-Werte

aufgezeichnet wurden. In der folgenden Abbildung ist der rechnerische Eigenverbrauch monatlich dargestellt.

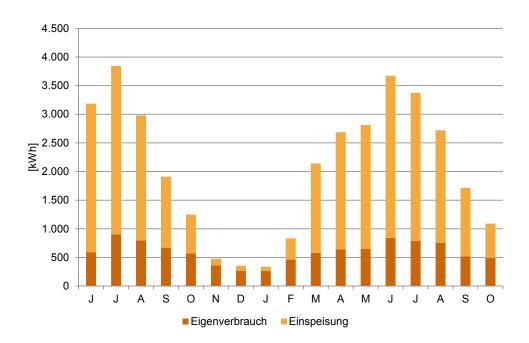


Abb. 34: Eigenverbrauch PV-Strom rechnerisch

6.4. Anlagenperformance

6.4.1. Wärmeerzeuger

Für die Wärmeerzeugung werden mehrere Erzeuger im Gebäude eingesetzt. Die Wärmepumpe mit Erdkollektorfeld speist einen Pufferspeicher, in dem zusätzlich ein Heizschwert installiert ist. Aus dem Pufferspeicher erfolgt die Trinkwarmwasserversorgung und die Verteilung der Wärme über die Fußbodenheizung. Die Fußbodenheizung besteht aus vier Heizkreisen, von denen drei Kreise den Wohnbereich im Erdgeschoss und ein Kreis das Bad im Obergeschoss beheizt. Zusätzlich sind im Kinderzimmer im Obergeschoss und im Büro im Untergeschoss elektrische Heizelemente installiert. Das elektrische Heizelement im Untergeschoss war im untersuchten Messzeitraum nie eingeschaltet. Es liegt somit kein Verbrauch vor.

Die Verteilung des Stromverbrauchs der betriebenen Erzeuger ist in Abbildung 35 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Wärmepumpe der Hauptversorger ist. Der Einsatz des Heizschwerts wird vom Benutzer gesteuert. Es war seit November 2013 nicht mehr in Betrieb.

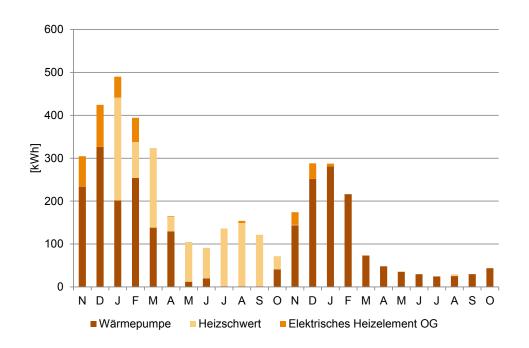


Abb. 36: Stromverbrauch Wärmeerzeuger

Tabelle 17: Stromverbrauch Wärmeerzeuger

Zoitwarim		Wärmeerzeuger						
Zeitraum		Wärmepumpe	pe Heizschwert Heizelement UG		Heizelement OG			
Magazariada	Jahr 1	1.363	1.136	0	280			
Messperiode	Jahr 2	1.203	5	0	71			

Neben dem Stromverbrauch der Erzeuger wurden die erzeugte Wärmemenge der Wärmepumpe sowie die Wärmemenge gemessen, die über die Fußbodenheizung verteilt wird und für die Erwärmung des Trinkwarmwassers erforderlich ist. Außerdem wurden die Zirkulationswärmeverluste erfasst. Aus diesen Werten wird eine Wärmebilanz der Anlagentechnik erstellt (siehe Tabelle 18 und 19). Aus dieser Bilanz ergeben sich die Wärmeverluste durch Speicherung, Verteilung und Übergabe als Rechenwert. In Abb. 37 sind die Monatswerte des Wärmeverbrauchs sowie der Verluste dargestellt. Die sehr hohen Verluste in den Monaten November und Dezember 2012 lassen sich mit noch ungedämmten Verteilleitungen und dem erstmaligen Aufheizen des Gebäudes erklären. Der durchschnittliche Wärmeverlust liegt bei 78 kWh/Monat. Die Nachfrage bei der Herstellerfirma der Wärmepumpe und des Pufferspeichers hat ergeben, dass Verluste in der berechneten Größenordnung bei der vorliegenden Anlagenauslegung normal sind. Trotzdem wurde im November 2014 die Dämmung des Pufferspeichers optimiert.

Tabelle 18: Wärmebilanz November 2012 bis Oktober 2013

Nov 2012 - Okt 2013 Wärmemenge [kWh]						
Erzeugung)	Verbrauch				
Wärmepumpe	3.562	Trinkwarmwasser	506			
Heizschwert	1.136	Fußbodenheizung	2.989			
		Zirkulation	145			
		Verluste	1.058			
Summe	4.698	Summe	4.698			

Tabelle 19: Wärmebilanz November 2013 bis Oktober 2014

Nov 2013 - Okt 2014 Wärmemenge [kWh]						
Erzeugung	9	Verbrauch				
Wärmepumpe	3.286	Trinkwarmwasser	426			
Heizschwert	5	Fußbodenheizung	1.988			
		Zirkulation	51			
		Verluste	826			
Summe	3.291	Summe	3.291			

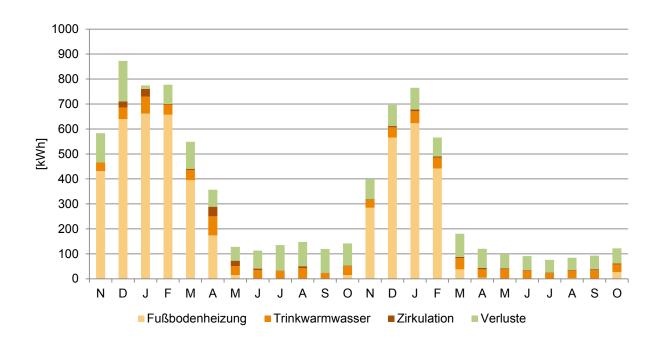


Abb. 37: Wärmeverbrauch und Verluste

6.4.2. Lüftungsanlage

Im Gebäude Müpeg ist eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 93 % installiert. Sie wird manuell von den Nutzern bedient und ist somit nicht bedarfsgeführt. Es gibt vier Stufen zur Einstellung, von "Abwesend" bis "Partylüftung". Der Stromverbrauch für die Lüftungsanlage lag im ersten Jahr des Monitorings im Durchschnitt bei 46 kWh/Monat und im zweiten Jahr bei 33 kWh/Monat. Während der Monate Januar und Februar 2013 war der Verbrauch deutlich höher, da das Vorheizregister aufgrund der niedrigen Außentemperaturen in Betrieb war (Einfrierschutz).

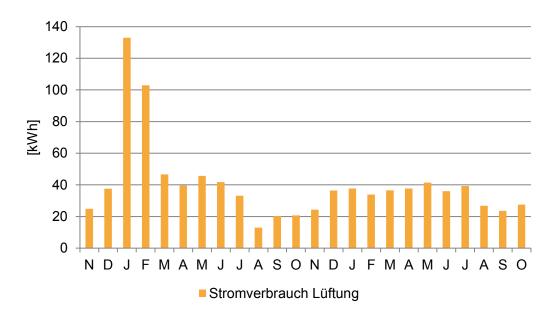


Abb. 38: Stromverbrauch Lüftung

6.4.3. Elektrischer Speicher

Zur Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils am erzeugten PV-Strom ist im Gebäude ein elektrischer Speicher installiert. Die Batterie ist seit Februar 2013 in Betrieb. Es handelt sich um eine Blei-Gel-Batterie mit einer Kapazität von 11 kWh.

Beladung

Das Monitoring zeigt, dass die Beladung aus der PV-Anlage und dem externen Stromnetz erfolgt. Die Berechnung des jeweiligen Anteils wird auf Basis der 15-Minuten durchgeführt. Folgende Annahme wird zugrunde gelegt:

Wenn die Strommenge für die Beladung der Batterie größer ist als der im gleichen Zeitraum erzeugte PV-Strom abzüglich des eingespeisten Stroms, erfolgt die Beladung der Batterie aus dem Stromnetz.

Die Auswertung ergibt, dass das einphasige Batteriesystem zu 70 % aus PV-Strom und zu 30 % aus dem Stromnetz beladen wird. Die Beladung aus dem Stromnetz ist technisch erforderlich, um die Batterie nicht vollständig zu entleeren. Die graphische Auswertung zeigt das Verhältnis von Beladung aus dem Netz zu Beladung aus PV ab Juni 2013. Die Auswertung kann nur für den Zeitraum erfolgen, für den zeitlich hochaufgelöste Messdaten vorhanden sind.

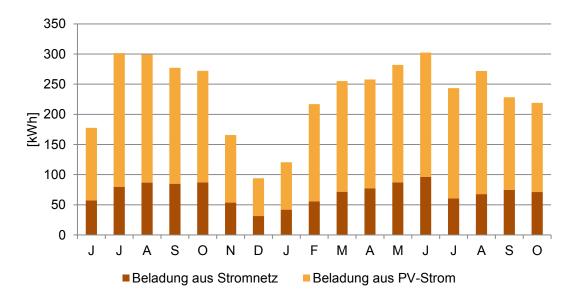


Abb. 39: Beladung elektrischer Speicher

Entladung

Rund ein Drittel des gespeicherten Stroms wird direkt in das interne elektrische Netz entladen. Ca. 67 % werden in das externe Netz entladen, um den Anteil des Eigenverbrauchs rechnerisch zu erhöhen (siehe Kapitel 6.3). Die Berechnung der Anteile basiert auf den gemessenen 15-Minuten-Werten unter der folgenden Annahme:

Ist die eingespeiste Strommenge größer ist als die PV-Erzeugung, erfolgt die Entladung der Batterie in das Stromnetz.

Die Anteile der Entladung in das Netz bzw. das Gebäude sind monatsweise in Abb. 40 dargestellt.

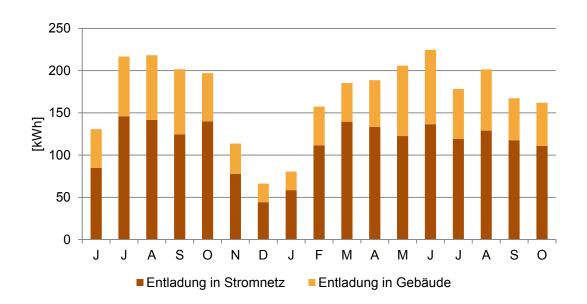


Abb. 40: Entladung elektrischer Speicher

Im Durchschnitt wird die Batterie monatlich mit 234 kWh Strom beladen und entlädt 171 kWh, d. h. der Stromverlust für den Betrieb der Batterie beträgt 63 kWh/Monat.

7 Kosten / Wirtschaftlichkeit

7.1. Baukosten und laufende Kosten

Die Mehr- bzw. Minderkosten für das Bauwerk im Effizienzhaus Plus Standard gegenüber dem EnEV 2009 Standard sind in Tabelle 20 aufgeführt. Zudem werden die Betriebskosten des Gebäudes im jeweiligen Standard in Tabelle 21 gegenübergestellt.

Die Baukosten für den EnEV 2009 Standard werden geschätzt. Die angegeben Betriebskosten für Gas sind ebenfalls Schätzungen, die auf einem Bedarf von 100 kWh/m²a im EnEV 2009 Standard und 15 kWh/m²a im Effizienzhaus Plus Standard basieren.

Der durchschnittliche Stromverbrauch eines 3-Personen-Haushalts inkl. Trinkwarmwassererwärmung beträgt 4.050 kWh/a (BDEW) und wird für den EnEV 2009 Standard zugrunde gelegt. Der Stromverbrauch des Gebäudes im Effizienzhaus Plus Standard und die Netzeinspeisevergütung beziehen sich auf das Betriebsjahr 2013.

Für Gas wird ein Preis von 6,61 Ct/kWh inkl. Steuern und für Strom ein Preis von 29,19 Ct/kWh inkl. Steuern angesetzt (Destatis).

Tabelle 20: Baukosten

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr-/Minderkosten inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard [€]		
Außenwand	-	23.000 €		
Dach	-	0€		
Wand gegen Erdreich	-	in Position "Außenwand" enthalten		
Bodenplatte	-	15.000 €		
Fenster	-	5.000 €		
Heizungsanlage incl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	0€		
Solarthermie	nicht vorhanden			
Lüftungsanlage	vorhanden	-6.000 €		
Photovoltaik	keine	91.000 €		
Batterie	keine	in Position "Photovoltaik" enthalten		
Beleuchtung	Standard	XX		
Geräte	Standard	XX		
Mehrinvestitionskosten	-			

Tabelle 21: Laufende Kosten

Energie- + Betriebskosten	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehrkosten (+) / Minderkosten (-) inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard [€]
Gas	2.216 €	-1.884 €
Strom	1.182 €	+156 €
Wartung Heizung	0€	0€
Netzeinspeisevergütung	0€	-4.288 €
Laufende Kosten pro Jahr	3.399 €	-6.016 €

Bei dem Gebäude Müpeg handelt es sich um ein Nur-Strom-Gebäude. Somit beziehen sich alle Energiekosten allein auf den Energieträger Strom. Dabei wird in die drei Kategorien Strombezug, Stromeinspeisung und PV-Strom Eigenverbrauch unterschieden. Basis der im Folgenden aufgeführten Energiekosten ist das Jahr 2013, da dieses vollständig messtechnisch erfasst und vom Stromversorger abgerechnet wurde.

Die Gegenüberstellung von Stromvergütung zu Strombezug für das Jahr 2013 ist in Tabelle 22 dargestellt. In dem Preis für den Strombezug von 22,48 Ct/kWh sind 2,05 Ct/kWh Stromsteuer enthalten.

Tabelle 22: Einnahmen durch PV-Strom 2013

	Vergütung/Preis [ct/kWh]	Strommenge [kWh/a]	Kosten/Ertrag netto
Einspeisung PV-Strom	28,74	14.920	4.288,01 €
Vergütung Eigenverbrauch PV-Strom	12,36	4.973	614,66€
Messkosten PV €/a	-	-	-8,64 €
Grundpreis Strombezug €/a	-	-	-69,58 €
Strombezug	22,48	5.574	-1.322,56 €
Üb	3.501,89 €		

In der Tabelle sind die tatsächlichen Zahlungsflüsse abgebildet. Für eine gesamtheitliche Betrachtung wäre zusätzlich die Ersparnis für den Nicht-Bezug aufgrund des Eigenverbrauchs anzusetzen. Der Überschuss würde sich dann um 1.117,93 € (4.973 kWh x 22,48 Ct/kWh) auf 4.619,82 € netto erhöhen.

Im September 2012 wurden Filter für die Lüftungsanlage für 280 EUR brutto angeschafft, die bis zum Zeitpunkt der Erstellung des Abschlussberichts noch vorhalten. Weitere Betriebskosten für Wartungen sind bis zum Ende des Messzeitraums nicht angefallen.

7.2. Kosten Geräte

Die installierten Haushaltsgeräte haben alle die Effizienzklasse A oder besser. Sie sind mit Anschaffungskosten in der Tabelle 23 aufgeführt.

Tabelle 23: Geräte Haushalt

Gerät	Effizienzklasse	Kosten [€]
Herd	Induktion	1.400 €
Backofen	A (-20%)	1.200 €
Dampfbackofen	A (-20%)	1.000 €
Dunstabzugshaube	-	1.000 €
Spülmaschine	A ++	790 €
Kühlschrank	A +	450 €
Gefrierschrank	A ++	650 €
Waschmaschine	А	380 €
Wäschetrockner	A +	1.300 €
Investitionskosten		8.170 €

8 Bewertung

8.1. Energieeffizienz des Modellgebäudes

Mit der Berechnung nach DIN V 18599 wurde für das Gebäude Müpeg der benötigte Bedarf für Heizen, Trinkwarmwasser sowie die Hilfsenergie für die Anlagentechnik berechnet. In Tabelle 24 sind diese Werte dem gemessenen Verbrauch gegenübergestellt.

Tabelle 24: Vergleich Berechnung nach DIN V 18599 und Messwerte

Strombedarf/-verbrauch	Strombedarf	Messwerte St	romverbrauch
[kWh/a]	DIN V 18599	Nov 2012-Okt 2013	Nov 2013-Okt 2014
Wärmepumpe + Heizschwert	2.081	2.499	1.208
Heizplatte OG	819	280	71
Heizplatte UG	551	0	0
Summe Endenergie Erzeuger	3.451	2.779	1.279
Hilfsenergie	1.813	691	515
Summe	5.264	3.470	1.792

Der Vergleich zeigt, dass der tatsächliche Verbrauch geringer ist, als der voraus berechnete Bedarf. Im ersten Jahr des Messzeitraums liegt der Verbrauch 34 % im zweiten Jahr 66 % unter dem prognostizierten Wert. Eine besonders hohe Abweichung mit ca. 1.200 kWh/a ist bei der Position "Hilfsenergie" festzustellen. Hier wurde ein Stromverbrauch für die Lüftungsanlage mit jährlich 1.149 kWh berechnet. Der tatsächliche Verbrauch betrug im ersten Messjahr 559 kWh und im zweiten Messjahr 401 kWh.

Der Bedarf für die Beleuchtung und für Haushaltsgeräte wurde mit 2.500 kWh/a veranschlagt. Die Haushaltsgeräte Herd, Backofen, Dampfgarer, Kühlschrank, Eisschrank, Spülmaschine und Waschmaschine wurden separat aufgezeichnet. Der gemessene Stromverbrauch für diese Geräte betrug im ersten Jahr der Messung 1.434 kWh und im zweiten Jahr 1.342 kWh. Der Aufwand für die Beleuchtung konnte nicht messtechnisch erfasst werden. Die Bilanz Erzeugung plus Bezug minus Verbrauch und Einspeisung ergibt rechnerisch die Position "Sonstiges". In dieser Position sind alle nicht erfassten Verbräuche im Wohnbereich enthalten, wie z. B. Beleuchtung und Strombezug durch Geräte an Steckdosen wie z. B. Fernseher. Unter anderem ist der Verbrauch einer Schwimmbadpumpe (600 Watt Leistung) enthalten. Die Nutzer schätzen

den Verbrauch für diese Pumpe auf ca. 900 kWh/a. Der Stromverbrauch für die nicht separat erfassten Geräte betrug im ersten Jahr der Messung insgesamt 2.816 kWh und im zweiten Jahr 2.845 kWh. Zusammengefasst lag der Verbrauch für alle Haushaltsaufwendungen bei 4.250 kWh/a in Jahr eins und bei 4.187 kWh/a im zweiten Jahr und somit ca. 70 % über den prognostizierten 2.500 kWh/a.

Für die Erzeugung von PV-Strom ergab die Berechnung nach DIN V 18599 einen jährlichen Ertrag von 20.057 kWh. Messtechnisch wurde für das erste Jahr ein Ertrag von 20.992 kWh und für das zweite Jahr 22.209 kWh erfasst.

Das Gebäude Müpeg erbrachte für alle nach DIN V 18599 berechneten Positionen in der untersuchten Messperiode bessere Werte.

Der Verbrauch im Haushalt war wesentlich höher als die prognostizierten 2.500 kWh des Effizienzhaus-Plus Rechners. Die Gegenüberstellung von Verbrauch und Erzeugung in Tabelle 24 zeigt, dass der rechnerische Überschuss trotzdem 8 % bzw. 32 % höher ist als prognostiziert wurde. Für Elektromobilität wurden im zweiten Jahr der Messung knapp 2.000 kWh aufgewendet. Eine vollständige Deckung aus PV-Strom ist rechnerisch in jedem Fall möglich.

Tabelle 25: Vergleich von Prognose und Messergebnissen

	Prognose [kWh/a]	Nov 12 - Okt 13 [kWh/a]	Nov 13 - Okt 14 [kWh/a]
Heizen, TWW, Lüftung	5.264	3.470	1.792
Haushalt	2.500	4.250	4.187
Summe Aufwand	7.764	7.720	5.979
PV-Strom Erzeugung	20.057	20.992	22.209
Überschuss (rechnerisch)	12.293	13.272	16.230

8.2. Verbesserungspotentiale

Im Betrachtungszeitraum wurde ca. 4.200 kWh/a Haushaltsstrom verbraucht. Der anzusetzende Jahresverbrauch gemäß Effizienzhaus-Plus Rechner beträgt 2.500 kWh. Vom Bundesverband Energie- und Wasserwirtschaft e.V. veröffentlichte Zahlen geben den durchschnittlichen Stromverbrauch eines 3-Personen-Haushalts mit 4.050 kWh/a und den Stromverbrauch eines freistehenden Einfamilienhauses in Deutschland mit 3.483 kWh/a an. (BDEW) In diesen

Durchschnittswerten ist neben dem Haushaltsstrom auch der Stromverbrauch für die Erwärmung des Trinkwarmwassers enthalten.

Im Vergleich zu den Durchschnittswerten des BDEW und dem Kalkulationswert des Effizienzhaus-Plus Rechners wurde im Gebäude Müpeg deutlich mehr Strom im Haushalt verbraucht. Die Ermittlung einer Verbraucherstruktur z.B. nach (Kleber) könnte Optimierungspotenziale zur Reduzierung des Haushaltsstroms ergeben.

Während der Wintermonate wird deutlich weniger PV-Strom erzeugt als in den Sommermonaten. Analog zur geringeren Erzeugung vermindert sich der Anteil des Eigenverbrauchs. Mit intelligentem Energiemanagement könnte der Eigenverbrauchsanteil erhöht werden.

Das elektrische Heizschwert im Pufferspeicher ist seit November 2013 nicht mehr in Betrieb. Die Steuerung könnte so geregelt werden, dass das Heizschwert mittels PV-Strom für die Trinkwassererwärmung verwendet wird, wenn ein Überschuss an PV-Strom vorhanden ist.

9 Literatur

- BDEW (2013). Bundesverband Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Energie-Info Stromverbrauch im Haushalt, Online verfügbar unter https://www.bdew.de/internet.nsf/id/6FE5E98B43647E00C1257C0F003314E5/\$file/708-2_Beiblatt_zu%20BDEW-Charts%20Stromverbrauch%20im%20Haushalt_2013-10-23.pdf, zuletzt geprüft am 10.12.2014.
- BMVBS (2011) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im "Plus-Energie-Haus-Standard" im Jahr 2011 Stand 18.08.2011.
- BMVBS, Anlage1 (2011). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Wohnhäuser mit Plus-Energie-Niveau Definition und Berechnungsmethode. Online verfügbar unter http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/BauenUndWohnen/Bauen/anlage-1-definition_und_berechnungsgrundlage.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 01.12.2014.
- Destatis (2015). Statistisches Bundesamt, Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/ Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/Energiepreisentwicklung.html, zuletzt geprüft am 27.05.2015.
- Effizienzhaus-Plus Rechner (2012). Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Online verfügbar unter http://www.effizienzhaus-plus-rechner.de/, zuletzt geprüft am 02.12.2014.
- Kleber, Michael, Moritz Hartloff, Andreas Wagner: Leitfaden Lastgangmessung, Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau (fbta), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

10 Anhang

In den Tabellen 26 - 33 sind die gemessenen Werte für den gesamten Messzeitraum (November 2012 bis einschließlich Oktober 2014) monatlich zusammengefasst. Die Messdaten für die Monate Juni 2012 bis einschließlich Mai 2013 wurden manuell erfasst. Ab Juni 2013 wurden 15-Minuten-Werte automatisch aufgezeichnet. Für den Zeitraum der manuellen Erfassung liegen keine Werte für das Außen- und Innenraumklima vor (siehe 6.1 Messdaten).

Der gemessene Stromverbrauch sowie der Strombezug des Gebäudes sind in Tabelle 26 und 27 aufgeführt. Die Werte gliedern sich in die Gruppen "Strombezug" (Netz und PV), "Photovoltaik" (Einspeisung und Eigenverbrauch) und "Hausverbrauch". Der Wert "Eigenverbrauch" wird aus der Differenz von PV-Erzeugung und PV-Einspeisung berechnet.

Der "Hausverbrauch" setzt sich zusammen aus

- Heizung + TWW + Lüftung
 Darin enthalten ist der Stromverbrauch für:
- die Wärmeverteilung über die Fußbodenheizung
- die Lüftung
- die Wärmepumpe
- das Heizelement OG
- das Heizelement UG
- das elektrisches Heizschwert

2.) Haushaltsgeräte

Darin enthalten ist der Stromverbrauch für:

- Herd
- Backofen
- Dampfgarer
- Kühlschrank
- Eisschrank
- Waschmaschine
- Spülmaschine

3.) Batterie

Dieser Wert entspricht dem Stromverbrauch für den Betrieb der Batterie inkl. der Speicherverluste. Er wird berechnet, indem die entladene Strommenge der Batterie von der Strommenge mit der die Batterie beladen wurde abgezogen wird.

4.) Sonstiges

In dieser Position sind alle nicht separat gemessenen Verbraucher (inkl. Beleuchtung und Gebäudeautomation) zusammengefasst. Für die Berechnung werden die Strommengen für den Netzbezug, die PV-Erzeugung und die Entladung der Batterie addiert. Anschließend wird der Verbrauch aller separat erfassten Stromverbraucher, die eingespeiste Strommenge und die aus der Batterie entladene Strommenge abgezogen.

Der Betrieb der Zirkulationspumpe war bis zum 27.11.2013 ungeregelt. Am 27.11.2013 wurde die Programmierung der Gebäudeautomation so vorgenommen, dass die Pumpe nur läuft, wenn sie manuell vom Badezimmer aus eingeschaltet wird. Der durchschnittliche monatliche Stromverbrauch für die Zirkulationspumpe beträgt 0,031 kWh für den Zeitraum Dezember 2013 bis einschließlich Oktober 2014.

Der Stromverbrauch für Elektromobilität und die projektspezifischen Geräte sind in Tabelle 28 angegeben. Der Stromverbrauch für das Elektromobil wurde ab Juni 2013 erfasst, da die Ladestation für das Elektromobil erst im Mai 2013 installiert und in Betrieb genommen wurde. Der projektspezifische Verbrauch umfasst den Betrieb des Servers zur Datenhaltung der Messdaten sowie den Datenlogger des Monitoringsystems. Die Messanlage zur automatischen Datenerfassung wurde ebenfalls erst im Mai 2013 in Betrieb genommen.

Die gemessenen Wärmemengen sind in den Tabellen 29 und 30 aufgeführt. Die erzeugte Wärmemenge durch die Wärmepumpe wird dem Pufferspeicher zugeführt. Eine zusätzliche Beheizung im Pufferspeicher erfolgt durch das elektrische Heizschwert. Der Stromverbrauch des elektrischen Heizschwerts ist ebenfalls in den Tabellen 29 und 30 abzulesen. Es wird unterstellt, dass die erzeugte Wärmemenge durch das Heizschwert mit dem Stromverbrauch des Heizschwerts identisch ist, da eine direkte Umwandlung von Strom in Wärme erfolgt. Die erzeugte Wärmemenge durch die Wärmepumpe und das Heizschwert wird für die Beheizung mit der Fußbodenheizung und zur Erwärmung des Trinkwarmwassers verwendet. Die Zirkulationswärmeverluste werden separat erfasst.

Die gemessenen Werte für das Innenraumklima sind in den Tabellen 31 bis 33 angegeben. Die mittleren Raumlufttemperaturen sind in Tabelle 31 und die mittleren Raumluftfeuchten in Tabelle 32 zusammengefasst. Der Mittelwert für die Heizperiode (Oktober bis April) wurde für die zweite Messperiode (Nov 13 – Okt 14) aus den Monatswerten Nov 13 – April 14 und Oktober 14 gebildet. Für die erste Messperiode wurde kein Mittelwert der Heizperiode berechnet, da für die Monate Nov 12 bis Apr 13 keine Messwerte vorliegen. Tabelle 33 zeigt die mittleren Werte des CO2-Gehalts.

Tabelle 26: Stromerzeugung und -verbrauch (Nov 2012 - Okt 2013)

	В	ezug	Phot	ovoltaik			Hausver	brauch			Summe
Monat	Netz- bezug	PV-Ertrag	PV-Einspei- sung	PV-Eigenver- brauch	Heizung + TWW + Lüftung	Pumpe Zirkulation	Batterie	Büro	Haushalts- geräte	Sonstiges	Hausver- brauch
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Nov 12	596	293	147	146	337	0	-	97	120	188	742
Dez 12	900	177	76	101	489	0	-	147	132	233	1.001
Jan 13	1.201	273	178	95	640	0	-	148	125	383	1.296
Feb 13	888	505	329	176	515	0	-	154	116	280	1.065
Mrz 13	668	1.577	1.315	262	381	0	19	111	121	298	930
Apr 13	442	2.450	2.150	300	214	0	74	111	131	213	743
Mai 13	344	2.550	2.266	284	155	0	68	81	118	203	625
Jun 13	351	3.186	2.784	402	134	5	47	83	105	164	538
Jul 13	391	3.845	3.279	566	170	6	85	85	96	196	638
Aug 13	503	2.980	2.511	469	167	6	81	87	140	241	722
Sept 13	596	1.910	1.549	361	141	5	76	99	112	213	646
Okt 13	618	1.246	987	259	97	6	75	113	118	204	613
Summe	7.498	20.992	17.571	3.421	3.440	28	525	1.316	1.434	2.816	9.559

Tabelle 27: Stromerzeugung und -verbrauch (Nov 13 – Okt 14)

	В	ezug	Phot	ovoltaik			Hausver	brauch			Summe
Monat	Netz- bezug	PV-Ertrag	PV-Einspei- sung	PV-Eigenver- brauch	Heizung + TWW + Lüftung	Pumpe Zirkulation	Batterie	Büro	Haushalts- geräte	Sonstiges	Hausver- brauch
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Nov 13	733	475	313	162	210	2	52	116	109	205	694
Dez 13	916	353	198	155	342	0	28	133	122	218	843
Jan 14	970	338	215	123	344	0	40	136	129	224	873
Feb 14	655	832	632	200	265	0	60	102	100	190	717
Mrz 14	473	2.141	1.846	295	117	0	70	71	102	205	565
Apr 14	372	2.686	2.321	365	92	0	69	55	86	177	479
Mai 14	427	2.813	2.441	372	83	0	76	67	116	238	580
Jun 14	327	3.675	3.129	546	71	0	78	58	106	362	675
Jul 14	359	3.373	2.860	513	69	0	65	69	115	328	646
Aug 14	380	2.720	2.267	453	62	0	70	91	115	293	631
Sept 14	435	1.715	1.455	260	59	0	61	84	115	208	527
Okt 14	530	1.088	863	225	77	0	57	96	127	197	554
Summe	6.577	22.209	18.540	3.669	1.791	2	726	1.078	1.342	2.845	7.784

Tabelle 28: Projektspezifischer Stromverbrauch und Verbrauch für Elektromobilität

Monet	Elektromobilität	Projektspezifisch
Monat	[kWh]	[kWh]
Nov 12	-	-
Dez 12	-	-
Jan 13	-	-
Feb 13	-	-
Mrz 13	-	-
Apr 13	-	-
Mai 13	1	-
Jun 13	173	42
Jul 13	276	44
Aug 13	207	44
Sept 13	268	42
Okt 13	221	44
Summe	1.146	216

Manat	Elektromobilität	Projektspezifisch	
Monat	[kWh]	[kWh]	
Nov 13	158	42	
Dez 13	184	43	
Jan 14	177	43	
Feb 14	99	39	
Mrz 14	160	44	
Apr 14	217	42	
Mai 14	175	45	
Jun 14	154	44	
Jul 14	180	46	
Aug 14	156	45	
Sept 14	124	44	
Okt 14	155	46	
Summe	1.939	523	

Tabelle 29: Erzeugung und Verbrauch Wärmemengen Heizung und TWW (Nov 2012 - Okt 2013)

Erzeugung Wärmemenge		Verbrauch Wärmemenge			
Monat	Wärmepumpe	Heizschwert	Abgabe Fußbodenheizung	Erwärmung TWW	Zirkulations- wärmeverluste
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Nov 12	583	0	431	35	0
Dez 12	873	0	640	46	25
Jan 13	535	240	662	67	32
Feb 13	694	83	657	40	3
Mrz 13	364	185	395	41	5
Apr 13	323	34	174	76	39
Mai 13	36	92	15	36	21
Jun 13	42	71	0	35	6
Jul 13	0	135	0	31	2
Aug 13	0	147	0	42	8
Sept 13	0	119	0	22	2
Okt 13	112	30	15	35	2
Summe	3.562	1.136	2.989	506	145

Tabelle 30: Erzeugung und Verbrauch Wärmemengen Heizung und TWW (Nov 13 – Okt 14)

	Erzeugung		Verbrauch		
Monat	Wärmepumpe	Heizschwert	Abgabe Fußbodenheizung	Erwärmung TWW	Zirkulations- wärmeverluste
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Nov 13	398	1	284	31	2
Dez 13	696	0	566	41	5
Jan 14	765	0	623	48	7
Feb 14	566	0	442	43	5
Mrz 14	180	0	38	45	5
Apr 14	120	0	4	33	6
Mai 14	99	0	0	38	4
Jun 14	91	0	1	30	3
Jul 14	76	0	0	22	3
Aug 14	80	4	4	29	3
Sept 14	93	0	0	35	4
Okt 14	122	0	26	31	4
Summe	3.286	5	1.988	426	51

Tabelle 31: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen

Manat	UG	EG	OG
Monat	°C	°C	°C
Nov 12	0	0	0
Dez 12	0	0	0
Jan 13	0	0	0
Feb 13	0	0	0
Mrz 13	0	0	0
Apr 13	0	0	0
Mai 13	0	0	0
Jun 13	24,5	25,8	25,1
Jul 13	25,1	26,0	25,3
Aug 13	24,8	25,6	25,0
Sept 13	24,3	25,2	24,4
Okt 13	24,1	25,0	24,0
Mittelwert Heizperiode*	-	-	-

Manat	UG	EG	OG
Monat	°C	°C	°C
Nov 13	22,5	22,5	21,9
Dez 13	20,4	21,8	21,3
Jan 14	20,0	21,7	21,1
Feb 14	20,0	22,0	21,4
Mrz 14	21,8	24,5	23,6
Apr 14	23,5	25,8	24,6
Mai 14	24,2	25,7	24,6
Jun 14	24,2	25,1	24,2
Jul 14	25,2	26,6	25,8
Aug 14	25,6	25,9	24,9
Sept 14	24,4	25,4	24,3
Okt 14	23,9	24,6	23,6
Mittelwert Heizperiode*	21,7	23,3	22,5

^{*}Heizperiode November 2013 bis April 2014 und Oktober 2014

Tabelle 32: Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumluftfeuchten

Manat	UG	EG	OG
Monat	%	%	%
Nov 12	0	0	0
Dez 12	0	0	0
Jan 13	0	0	0
Feb 13	0	0	0
Mrz 13	0	0	0
Apr 13	0	0	0
Mai 13	0	0	0
Jun 13	49,7	48,0	48,4
Jul 13	51,3	50,5	50,6
Aug 13	50,1	49,0	49,2
Sept 13	49,8	49,2	49,9
Okt 13	49,5	49,7	51,1
Mittelwert Heizperiode*	-	-	-

Monat	UG	EG	OG
Monat	%	%	%
Nov 13	47,0	49,1	49,9
Dez 13	44,2	44,9	45,7
Jan 14	44,3	44,0	44,9
Feb 14	42,2	41,0	41,9
Mrz 14	40,2	37,5	38,9
Apr 14	40,8	37,4	39,1
Mai 14	44,1	41,9	43,6
Jun 14	44,5	42,8	44,1
Jul 14	52,2	49,1	49,7
Aug 14	47,7	47,2	48,4
Sept 14	51,6	51,1	52,3
Okt 14	51,1	51,3	52,6
Mittelwert Heizperiode*	44,3	43,6	44,7

^{*}Heizperiode November 2013 bis April 2014 und Oktober 2014

Tabelle 33: Zusammenstellung der Werte für den mittleren monatlichen CO2-Gehalt

Monat	CO2-Gehalt
WOHAL	ppm
Nov 12	0
Dez 12	0
Jan 13	0
Feb 13	0
Mrz 13	0
Apr 13	0
Mai 13	0
Jun 13	644
Jul 13	606
Aug 13	604
Sept 13	700
Okt 13	845
Mittelwert	-

Monat	CO2-Gehalt
Wonat	ppm
Nov 13	906
Dez 13	963
Jan 14	858
Feb 14	782
Mrz 14	770
Apr 14	696
Mai 14	706
Jun 14	607
Jul 14	607
Aug 14	597
Sept 14	681
Okt 14	783
Mittelwert	746