

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 22

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus
Klawitter S.
in Bad Homburg

Forschungsprogramm

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

Messperiode

Mai 2014 bis April 2016

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-12.9

im Auftrag

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

bearbeitet von

Dipl.-Ing. Nathalie Jenner
Dipl.-Ing. Isabell Passig
Dipl.-Ing. Joost Hartwig
Ina Planungsgesellschaft mbH



Abb. 1 „Pro-Klima-Haus“ Ansicht Süd-West, Quelle: S. Klawitter

ina
Planungsgesellschaft mbH

Schleiermacherstraße 12
64283 Darmstadt

Tel. +49 6151 785 22 20
Fax +49 6151 785 22 49

www.ina-darmstadt.de
info@ina-darmstadt.de

Datum:
12.07.2016

Geschäftsführer:
Joost Hartwig
Michael Keller
Ingo Lenz
Isabell Passig

Endbericht

Messtechnische und Energetische Validierung des Effizienzhaus Plus „Pro-Klima-Haus“, Bad Homburg

Messperiode Mai 2014 bis April 2016



ina Planungsgesellschaft mbH

Schleiermacherstraße 12
64283 Darmstadt

Tel. +49 6151 785 22 20

Fax +49 6151 785 22 49

www.ina-darmstadt.de

info@ina-darmstadt.de

Geschäftsführer:

Joost Hartwig

Michael Keller

Ingo Lenz

Isabell Passig

Verfasser:

Dipl.-Ing. Nathalie Jenner

Dipl.-Ing. Isabell Passig

Dipl.-Ing. Joost Hartwig

Darmstadt, 12.07.2016

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und des Bundesministeriums für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) unter dem Förderkennzeichen PEH – A3-12 10 01 / 12.09 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

INHALT

1.	Kurzfassung.....	6
2.	Kontext und Zielsetzung.....	9
3.	Gebäudesteckbrief.....	10
3.1	Allgemeine Daten.....	10
3.1.1	Bauherr und Planungsbeteiligte	10
3.1.2	Allgemeine Gebäudedaten.....	10
3.1.3	Lage	10
3.2	Architektur	11
3.3	Wärmeschutz.....	15
3.4	Anlagentechnik.....	17
3.5	Beleuchtung/Haushaltsgeräte	20
3.6	Energiebedarf und Energiedeckung.....	20
3.6.1	Bilanzanpassung	20
3.6.2	Energiebedarf.....	21
3.6.3	Plusenergiebilanz	21
3.7	Bewertung der Effizienz aus Berechnungen nach DIN V 1859924	
4.	Monitoring.....	25
4.1	Messkonzept	25
4.2	Verwendete Messtechnik	30
4.3	Dokumentation	31
5.	Meteorologische Randbedingungen	33
5.1	Solarstrahlung.....	33
5.2	Außenlufttemperaturen	37
5.3	Klimabereinigung.....	38
6.	Messergebnisse.....	40
6.1	Stromgewinnung.....	40

6.2	Stromverbrauch	45
6.2.1	Stromverbrauch für den Hausbetrieb im 1. Monitoringjahr	45
6.2.2	Stromverbrauch für den Hausbetrieb im 2. Monitoringjahr	46
6.2.3	Vergleich des ersten mit dem zweiten Monitoringjahr	47
6.2.4	Haushaltsstromverbrauch im 1. Monitoringjahr	49
6.2.5	Haushaltsstromverbrauch im 2. Monitoringjahr	51
6.2.6	Analyse des Stromverbrauchs bei Abwesenheit	51
6.3	Biomasseverbrauch (Kamin)/ Gasverbrauch	55
6.4	Gegenüberstellung von Energieverbrauch und Stromgewinnung	58
6.5	Eigenstromnutzung	63
6.5.1	Änderung des Wärmepumpenbetriebs	65
6.6	Anlagenperformance	68
6.6.1	Wärmeerzeuger	68
6.6.2	Wärmepumpe	71
6.6.3	Scheitholzkamin	72
6.6.4	Wärmerückgewinnung über die Abluft	74
6.6.5	Effizienz des Sole-Wärmetauschers (WT)	77
6.7	Innenraumtemperaturen und Behaglichkeit	83
6.7.1	Bewertung der thermischen Behaglichkeit	85
7.	Kosten / Wirtschaftlichkeit.....	89
7.1	Baukosten und laufende Kosten	89
7.2	Kosten Beleuchtung/Geräte.....	95
7.3	Wirtschaftlichkeit des WP-Betriebs im Jahresvergleich	96
7.3.1	Betriebskosten der WP der Monitoringjahre mit und ohne Kaminnutzung	96
7.3.2	Wirtschaftlichkeit des PV-Eigengebrauchs für den WP-Betrieb.....	97
8.	Ökobilanz	99
9.	Bewertung	102
9.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	102

9.1.1	Betrachtung des ersten Monitoringjahres.....	102
9.1.2	Betrachtung des zweiten Monitoringjahres	104
9.2	Verbesserungspotenziale	106
9.3	Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz	108
10.	Quellenverzeichnis	110
11.	Abbildungsnachweis	112
12.	ANLAGE.....	124
12.1.1	Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung und Projektspezifisch	124
12.1.2	Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch	126
12.1.3	Zusammenstellung des Verbrauchs sonstiger Energieträger... ..	128
12.1.4	Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG, OG und DG	130
12.1.5	Zusammenstellung der gemessenen mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten	132
12.1.6	Zusammenstellung der Datenübermittlung an das Fraunhofer IBP	133
12.1.7	Haushaltsstromverbrauch der Messjahre 2014-2015 und 2015- 2016 im Vergleich zu den Bilanzannahmen des Effizienzhaus Plus	135
12.1.8	Stromversorgung und -erzeugung der Messjahre 2014-2015 und 2015-2016.....	136

1. Kurzfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse des zweijährigen Monitorings des „Pro-Klima-Haus“ der Familie Klawitter in Bad Homburg. Das Gebäude wurde im Rahmen des Förderprogramms Effizienzhaus Plus der Forschungsinitiative Zukunft Bau gefördert und die Energieverbräuche und -erträge nach Fertigstellung zwei Jahre gemessen. Ziel ist dabei die Prüfung der Bilanzergebnisse sowie die Optimierung des Betriebs.

Im ersten gemonitorten Betriebsjahr (Mai 2014 bis April 2015) wurde ein endenergetisches Plus in der Bilanz nicht erreicht. Die Messung wies einen Verbrauch von 16.612 kWh auf, der einem Photovoltaikertrag von 7.104 kWh gegenüber steht.

Dies ist auf eine sehr hohe Nutzung des, mit Holz bestückten, Kamins zurückzuführen, der konzeptionell über einen Wärmetauscher die Bereitstellung von Heizungswärme und Trinkwarmwasser unterstützt. Der Verbrauch des Kamins liegt mit ca. 13.620 kWh/a¹ um 620 % höher als der bilanzierte Wert von 1.893 kWh/a. Da dieser Kamin z.T. aus Behaglichkeitsgründen bzw. unabhängig von einem bestehenden Heizwärmebedarf (Raumtemperatur < 20°C) betrieben wird, führt die Nutzung unter energetischen Gesichtspunkten z.T. zu einem ineffizienten Betrieb. So überschreitet - obwohl das Jahr in Bezug auf das deutsche Standardklima² wärmer war - der witterungsbereinigte Gesamtverbrauch (20.744 kWh/a³) den vorherberechneten Bedarf (8.716 kWh/a) um ~140 %. Im Vergleich wurden ohne die Nutzung des Kamins ~7.120 kWh⁴ im Jahr verbraucht. Da der Kamin die Wärmepumpe z.T. ersetzt hat, lässt dies jedoch nicht auf den Gesamtverbrauch ohne Kamin schließen.

Im zweiten Monitoringjahr (Mai 2015 bis April 2016) wurde aus diesem Grund auf die Nutzung des Kamins nahezu verzichtet, worüber ein energetischer wie auch wirtschaftlicher Vergleich der Messergebnisse mit und ohne Kamin möglich wurde.

Neben dem hohen Verbrauch, generierte im ersten Monitoringjahr auch die Photovoltaik im Vergleich zum prognostizierten Wert (9.426 kWh/a) einen um 25 % geringeren Ertrag (7.104 kWh/a). Dies ist z.T. auf eine Verschattung der Modulflächen zurückzuführen, die in dem prognostizierten Wert nicht berücksichtigt war. Das Problem der Verschattung der Photovoltaik in den Sommermonaten konnte über einen Baumschnitt behoben werden. Eine

¹ brennwertbezogener und witterungsbereinigter Wert (Bezug: dt. Standardklima nach EnEV 2009)

² Nach EnEV 1009 (Standortbezug: Würzburg)

³ Für einen Bilanzvergleich brennwertbezogener und witterungsbereinigter Wert (Bezug: dt. Standardklima nach EnEV 2009)

⁴ ebd.

Begründung in Bezug auf die Abweichung der Globalstrahlung zum langjährigen Mittel von 40 %⁵, konnte indes nicht abschließend gefunden werden. Ein gerätebedingter Grund scheint jedoch wahrscheinlich.

Der geringere Photovoltaikertrag und die häufige Nutzung des Kamins haben im ersten Jahr dazu geführt, dass der Verbrauch den Ertrag um 130 % überschritt und so die endenergetische Plus-Energie-Bilanz nicht erzielt werden konnte. Primärenergetisch wurde sie jedoch aufgrund des hohen Holzverbrauchs und des niedrigen Primärenergiefaktors für den Energieträger ($f_p = 0,2$) erreicht.

Im zweiten Monitoringjahr wurde das endenergetische Plus erneut nicht erzielt, doch konnte die Überschreitung auf 665 kWh/a, ~9 % (~8.007 kWh/a)⁶ Verbrauch zu ~7.342 kWh/a Photovoltaikertrag) reduziert werden. Die Kaminnutzung wurde mit 109 kWh/a nahezu eingestellt. Der Wärmepumpenstromverbrauch stieg indes im Vergleich zum Vorjahr um 73 % (4.675 kWh)⁷ im Vergleich zu 2.710 kWh für Wärmepumpe inkl. Heizstab des ersten Messjahres). Insgesamt stieg der Stromverbrauch im Vergleich zum Vorjahr um ~22 % (8.009 kWh)⁸ im Vergleich zu 6.541 kWh/a des ersten Messjahres). Daneben blieb auch die Stromerzeugung weiterhin um ~22 % hinter der Prognose zurück, was u.a. mit weiter andauernden Verschattungen in den Wintermonaten und einer Verschmutzung der Module zu begründen ist, jedoch wahrscheinlich auch mit einer zu optimistischen Ertragsprognose durch den Hersteller. Die Verbrauchssteigerung und der weiterhin hinter der Prognose zurückbleibende Photovoltaikertrag verhinderten einen Überschuss.

Der erhöhte Betrieb des Kamins hat sich als geringfügig wirtschaftlicher erwiesen, ökobilanziell bedingte das erste Monitoringjahr jedoch 0,4 t CO₂-Emissionen mehr im Jahr. Somit ist unter ökologischen Gesichtspunkten eine geringere Nutzung des Kamins sinnvoll. Eine Entlastung der Wärmepumpe bei tiefen Außenlufttemperaturen und hoher Heizlast sollte sich aber günstig auf die Jahresarbeitszahl auswirken.

Eine Lebenszykluskostenbetrachtung gegenüber dem EnEV-Referenzgebäude wies für das „Pro-Klima-Haus“ ca. 9,6 % Mehrkosten für die Herstellung aus. Ferner zeigte sich, dass es noch einer finanziellen Förderung bedarf, um gegenüber dem EnEV-Neubaustandard wirtschaftlich zu sein. Ökobilanziell konnte – auch ohne das Erzielen des Plus – für beide Monitoringjahre eine deutliche Einsparung an CO₂ von 7,5 bis 7,9 t/a gegenüber dem EnEV-Referenzgebäude ausgewiesen werden.

⁵ Im Mittel 40 % geringere Globalstrahlung im Vergleich zum langjährigen Mittel am Gebäudestandort

⁶ Exkl. des projektspezifischen Verbrauchs der Monitoring-Technik von 136 kWh/a (gem. Messung)

⁷ In Bezug auf das erste Monitoringjahr witterungsbereinigt

⁸ ebd.



In Bezug auf Betriebsoptimierungen und die Behebung von Betriebsfehlern, konnte das Fehlen eines Bypasses in der Lüftungsanlage festgestellt und behoben sowie ein fehlerhafter Betrieb des Sole-Wärmetauschers korrigiert werden. Ferner wurde der Betrieb der Wärmepumpe auf den Tag begrenzt, um die Nutzung des Photovoltaikstroms und damit den Eigengebrauch zu erhöhen. In Bezug auf die Tagesbilanz wurden Erhöhungen des Eigengebrauchs identifiziert. Eine abschließende Verifizierung dieser Maßnahme war in der Jahresbetrachtung aufgrund zu vieler Variablen nicht möglich. Um weitere Lastverschiebepotenziale zu nutzen ist ein Stromspeicher bzw. die Ladung eines Elektrofahrzeugs zu empfehlen.

Neben der Behebung von Betriebsfehlern hat das erste Monitoringjahr zudem gezeigt, dass auch die Messtechnik einer Kontroll- und Einregulierungszeit bedarf.

2. Kontext und Zielsetzung

Das im Folgenden beschriebene „Pro-Klima-Haus“ aus Bad Homburg wird im Rahmen des Förderprogramms für Effizienzhäuser Plus des BMUB einem zweijährigen Monitoring und somit einer messtechnischen und energetischen Validierung unterzogen.

Das Effizienzhaus Plus weist eine zukunftsweisende Konzeption eines Einfamilienhauses auf, das effizient und erschwinglich sein soll. Die Umsetzung mit geringem technischen Aufwand (nur Be- und Entlüftung vs. "Standardhaus"), einer monolithischen Fassade und CO₂-neutraler Heizung (PV in Kombination mit Wärmepumpe (alternativ Ökostrom oder wassergeführter Scheitholzofen) wirkt einer Übertechnisierung entgegen und steht für Angemessenheit und Effizienz.

Von Beginn der Planung an war es das erklärte Ziel des Bauherren das Eigenheim als zukunftsfähiges Gebäudekonzept zu errichten, sich frei von Energiepreisentwicklungen zu machen und somit einen dauerhaften Immobilienwert zu schaffen. Mit dem Standard Effizienzhaus Plus ist es Ziel, dass das Gebäude über das Kalenderjahr ein energetisches Plus erzeugt. Dazu soll sowohl das Hüllkonzept als auch die Technikkonzeption beitragen. Die Technik für die Wärmebereitstellung besteht aus einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, die vorrangig mit dem von einer Photovoltaikanlage generierten Strom Wärme produziert sowie durch einen wasserführenden Scheitholzkaminofen, der in der strahlungsarmen und kalten Jahreszeit die Wärmepumpenanlage unterstützt. Sofern beide Quellen nicht ausreichend Energie zur Verfügung stellen, wird die Energiedifferenz durch den Betrieb der Wärmepumpe mit Ökostrom beglichen.

Das „Pro-Klima-Haus“ ist zusätzlich durch die Wahl der Baustoffe unter ökologischen und bauphysikalischen Gesichtspunkten optimiert. Es besitzt eine gradlinige und freundliche Architektursprache und fügt sich in die Nachbarschaft über einen einfachen Satteldach-Baukörper harmonisch ein.

3. Gebäudesteckbrief

3.1 Allgemeine Daten

3.1.1 Bauherr und Planungsbeteiligte

„ Pro Klima-Haus, Bad Homburg“	
Standort	Ulmenweg 1a, 61352 Bad Homburg
Bauherr	Steffen Klawitter
Architekt	bb22 architekten + stadtplaner, Taunusstr. 21, 60329 Frankfurt am Main, www.bb22.net, Ansprechpartner: Dipl. Ing. Architekt BDA Martin Wilhelm
Monitoring	ina Planungsgesellschaft mbH, Schleiermacherstraße 12, 64283 Darmstadt, Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Isabell Passig, Dipl.-Ing. Nathalie Jenner, www.ina-darmstadt.de Ein Spin-off der Technischen Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, FG Entwerfen und Energieeffizientes Bauen
Elektroinstallation	Elektro Buchmann GmbH, Rudolf-Diesel-Straße 8, 61273 Wehrheim, www.elektrobuchmann.de, Ansprechpartner: Uwe Buchmann
HLS	Fehl & Sohn GmbH, Auf dem Brühl 4 - 6, 36399 Freiensteinau, www.fehlundsohn.de, Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Oliver Fehl

3.1.2 Allgemeine Gebäudedaten

Baujahr	2013
Monitoring-Zeitraum	Mai 2014 - April 2016
Bruttogrundfläche	358 m ²
Beheizte Wohnfläche	169 m ²
Energiebezugsfläche (A_N)	304 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	950 m ³
Hüllfläche A/V	0,61 m ⁻¹

3.1.3 Lage

Stadt	Bad Homburg
Breitengrad / Längengrad / Höhenlage	50,14 °N / 8,36 °O / 194 m über NN
Mittlere Jahrestemperatur	10,2 °C
TRY – Klimazone / Referenzstation	Klimazone TRY 12, Mannheim

Abb. 2 Lage, Quelle: www.earth.google.de; DIN 4108-6 Klimazone TRY 12, Mannheim

3.2 Architektur

Bei der Konzeption des Hauses stand die Anpassung an das sehr kleine, asymmetrische Grundstück sowie die Einfügung in die Nachbarschaft durch die Wahl einer klassischen Bauform mit Satteldach im Vordergrund. Durch die Ausrichtung des Hauses wurden die Blickachsen optimiert. Trotz der engen Bebauung gelingt dadurch der „Blick ins Grüne“. Mit der offenen Architektur und den großen Fenstern wirkt das Haus hell und großzügig, der Bezug zum Außenraum wird mehrfach durch große Fenstertüren hergestellt.

Dem Haus sieht man auf den ersten Blick nicht an, dass es sich um ein Effizienzhaus Plus handelt. Das „Plus“ wird - neben einer sehr guten Dämmung der Außenbauteile und einem besonders hohen Einstrahlungsgewinn durch Weißglasfenster, insbesondere durch schwarze PV-Module erreicht, die in das Satteldach gestalterisch integriert sind. Neben dem Effizienzhaus Plus Standard wurde auf die Verwendung natürlicher Baustoffe geachtet. Zu einem späteren Zeitpunkt kann über weitere PV-Module auf den Außengebäuden (Schuppen, Doppelgarage) zusätzlicher regenerativer Strom für elektrische Mobilität zur Verfügung gestellt werden.

Die Wohnräume verteilen sich über vier Ebenen. Im Erdgeschoss ist der Wohn-/Essbereich angeordnet. Im 1. OG befinden sich zwei Kinderzimmer, ein Studio und ein großes Badezimmer. Im Dachgeschoss liegen neben einem weiteren offenen Wohn-/Arbeitsbereich das Elternschlafzimmer mit Galerie im Spitzboden und ein kleineres Badezimmer. Im Keller befinden sich ein Gästezimmer, ein Hobbykeller, sowie Haushalts- und Haustechnikraum.

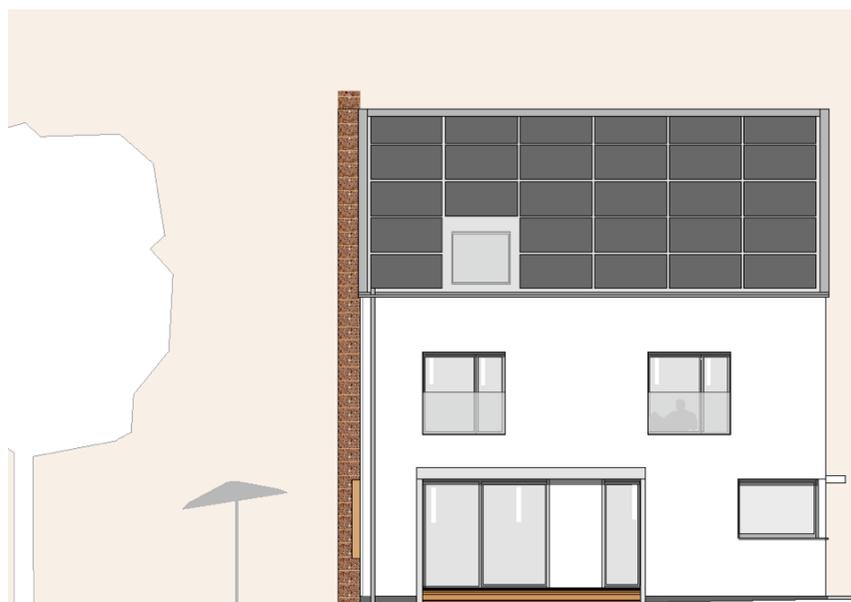


Abb. 3 Ansicht Süd-West mit PV-Anlage auf Dachfläche, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner



Abb. 4 Ansicht Süd-Ost, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner

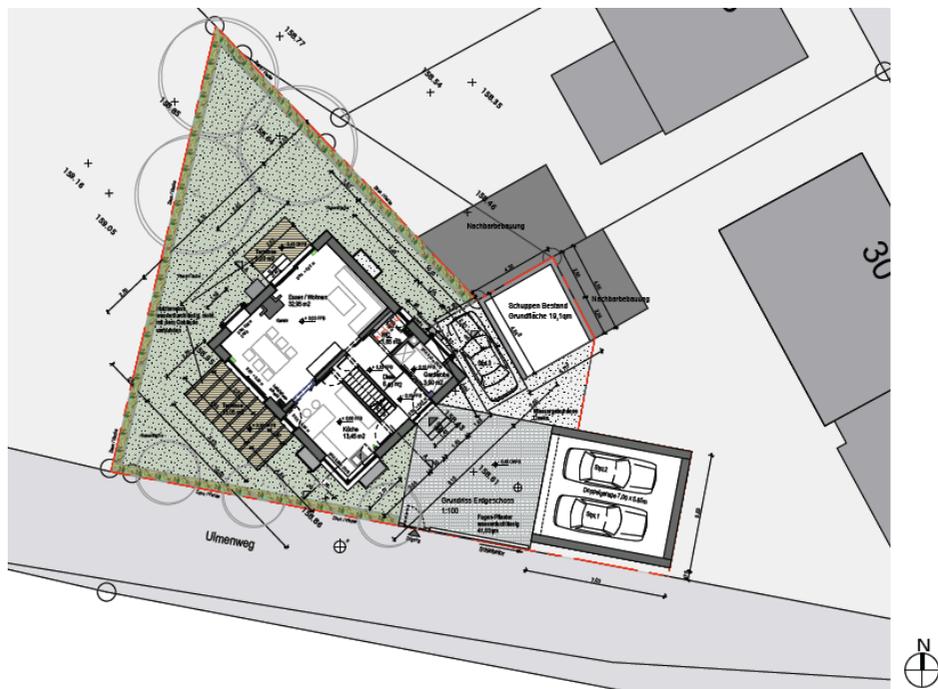


Abb. 5 Lageplan, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner



Abb. 6 Erdgeschoss-Grundriss, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner

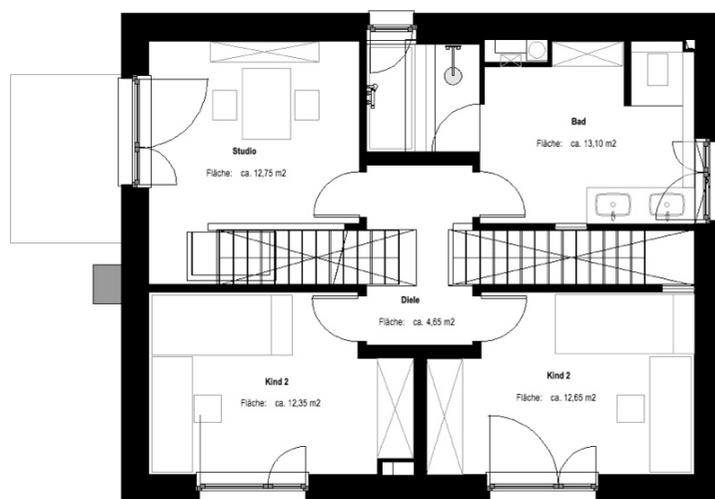


Abb. 7 Obergeschoss-Grundriss, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner

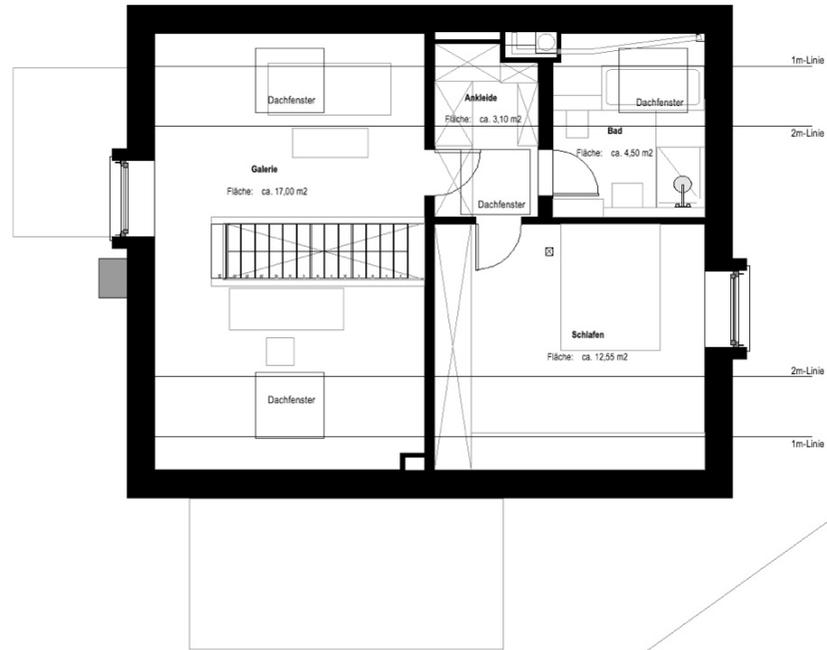


Abb. 8 Dachgeschoss-Grundriss, o.M. (Bad und Ankleide wurden im DG nicht ausgeführt), Quelle: bb22 architekten+stadtplaner

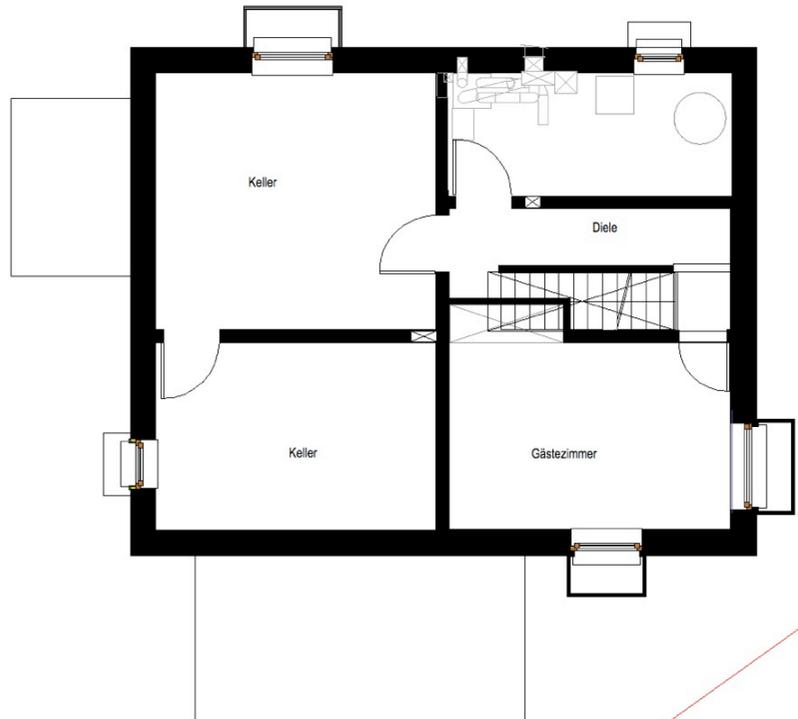


Abb. 9 Kellergeschoss-Grundriss, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner

3.3 Wärmeschutz

Die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes werden durch niedrige U-Werte der Gebäudehülle sowie einer wärmebrückenreduzierten Konstruktion minimiert. Das Haus entspricht dem KfW-Effizienzhaus 55-Standard (Bezug: EnEV 2009). Dabei wurde bei der Konstruktion zwischen Zwängen des Grundstücks, Orientierung, Platzbedarf, Bauphysik, Ökologie, Kosten und Transmissionswärmeverlusten abgewogen. Die Außenwand besteht aus 42,5 cm-starkem Ziegelmauerwerk (Unipor-W8) und besitzt einen U-Wert von 0,18 W/(m²K). Die Kellerwand und die Bodenplatte wurden aus wasserundurchlässigem Beton ausgeführt und mit 16 cm Wanddämmung (U-Wert 0,21 W/(m²K)) und 12 cm Bodenplattendämmung (U-Wert 0,18 W/(m²K)) versehen. Das Dach ist als sogenanntes Hallerdach mit 24 cm Mineralwolle und 8 cm Polystyrol-Hartschaumdämmung ausgeführt. Der U-Wert beträgt 0,13 W/(m²K). Die Fenster sind mit Dreifachverglasung ausgeführt, ihr U-Wert beträgt maximal 1,1 W/(m²K).

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert* [W/(m ² K)]
Außenwand (von innen nach außen)	Kalkgipsputz	25	0,18
	Mauerwerk aus Unipor W8	425	
	Leichtputz	25	
Fenster	Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert 0,5 – 0,7)	-	0,88 – 1,1
Dach (von oben nach unten)	PV-Module in Dach integriert	-	0,13
	Mineralischer Faserdämmstoff WLG 035 zwischen Sparren	240	
	PS-Hartschaum WLG 040	80	
	Gipskartonplatte	10	
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Estrich	50	0,18
	Trittschall-Dämmung	20	
	Wärmedämmung WLG 035	40	
	Betonplatte	300	
	Perimeterdämmung WLG 035	120	
Kellerwand (von oben nach unten)	Kalkgipsputz	15	0,21
	Stahlbeton	240	
	Wärmedämmung WLG 035	160	

* U-Wert-Angabe bezieht sich auf den Stand 2013, im Rahmen der Ausführung haben sich geringfügige Änderungen im Bereich der Fenster ergeben, die vsl. keinen merklichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Abb. 10 Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihre U-Werte, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH; bb22 architekten+stadtplaner

Obwohl das Haus strenggenommen nicht die Kriterien eines Passivhauses erfüllt, ist seine Gesamtenergiebilanz im Vergleich deutlich besser. Aufgrund der Gegebenheiten des Baugrundstückes, wie etwa geringer Sonneneinstrahlung durch Verschattung, räumlich bedingter reduzierter Wandstärke sowie dem Ziel, Wärmedämm-Verbundsysteme zu vermeiden und eine monolithische Konstruktion zu erstellen, ließen sich Charakteristika des Passivhauses nicht vollständig realisieren. Jedoch kommen neben dem vom Passivhaus bekannten Einsparungselementen (z.B. die kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung etc.) beim Effizienzhaus Plus zusätzlich aktive Elemente wie Photovoltaik hinzu, die die Gesamtenergiebilanz des Hauses deutlich verbessern.

So ist beispielsweise der Heizwärmebedarf mit 21 kWh⁹ pro Quadratmeter im Vergleich zum Passivhaus (15 kWh pro Quadratmeter) höher, jedoch wird dieser durch die Photovoltaikanlage überkompensiert. Des Weiteren sind durchgängig verbrauchsarme Anlagen und Geräte für die Haustechnik installiert.

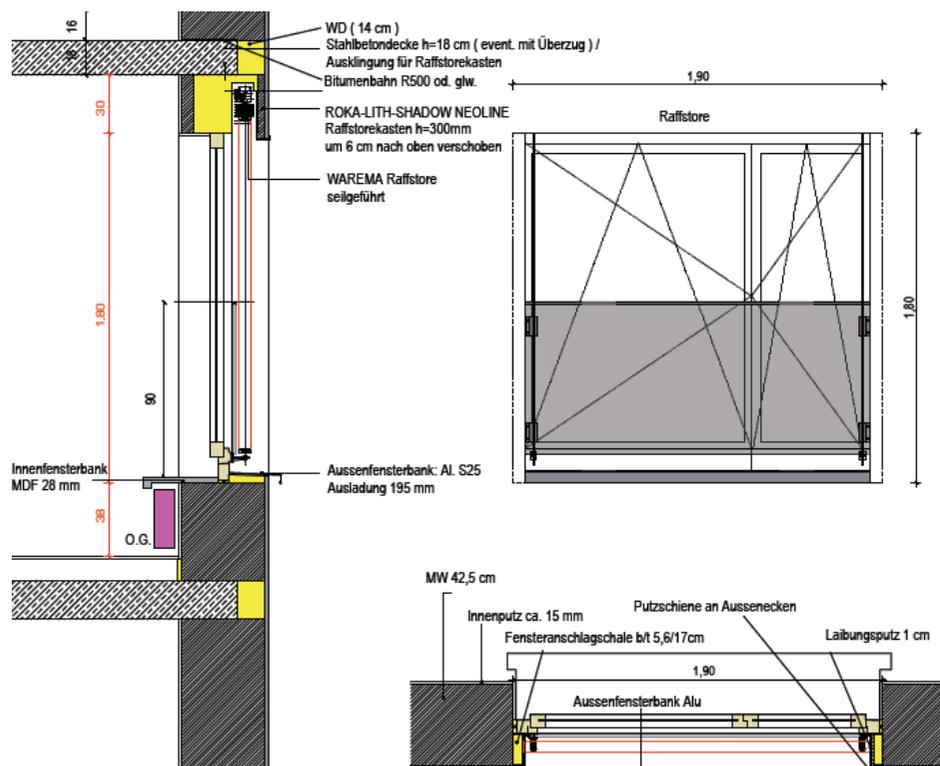


Abb. 11 Fensterdetail mit Schnitt durch monolithische Fassade, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner

⁹ gemäß aktualisierter Bilanz vom 18.06.2015 der ina Planungsgesellschaft mbH, s. Kap. 3.5

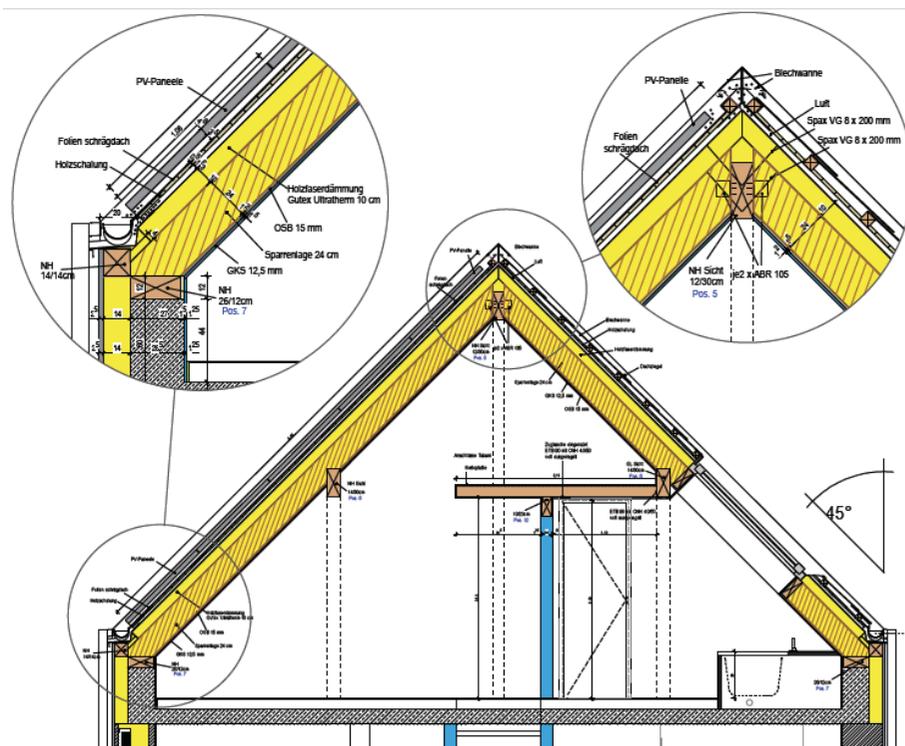


Abb. 12 Dachdetail „Hallerdach“ mit integrierter PV-Anlage, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner

3.4 Anlagentechnik

Eine Luft/Wasser-Split-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 6,4 kW nutzt die Außenluft als Wärmequelle für die Erwärmung eines Heizungspufferspeichers (1.000 l) und eines bivalenten Warmwasserspeichers (500 l).

Ein wasserführender Scheitholz-Kamin kann in den kalten Wintermonaten das Heizsystem sowie Trinkwarmwassersystem unterstützen (NW-Leistung 14,4 kW und 71% Wärmeabgabe an den Puffer- und Trinkwarmwasserspeicher), indem er die Speicher belädt. So kann der Wärmebedarf auch bei geringen solaren Gewinnen vollständig gedeckt werden. In allen Geschossen erfolgt die Wärmeübergabe durch Niedertemperatur-Fußbodenheizungen.

Für die kontrollierte Wohnraumlüftung sorgt eine Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Mehr als 85 %¹⁰ der in der Abluft enthaltenen Wärme werden durch die Anlage zurückgewonnen und dem Raum über die Zuluft wieder zugeführt. Mit einem System von in Boden und Außenwänden integrierten Zuluftöffnungen wird sichergestellt, dass die Räume optimal durchspült werden und gleichzeitig keine Zugluft auftritt. Zusätzlich ist in das System ein Solewärmetauscher integriert, der das Erdreich als Wärmequelle einbindet. Im

¹⁰ gem. Herstellerangabe, eingesetztes Lüftungsgerät PLUGGIT, AP310

Winter wird so die Außenluft aus Frostschutzgründen vorerwärmt und im Sommer vorgekühlt.

Ein Teil der aus der Photovoltaik gewonnenen elektrischen Energie betreibt die Wärmepumpe. Bei der in das Dach integrierten PV-Anlage (Nennleistung 9,38 kWp bei APV = 45,70 m²) werden monokristalline Hochleistungsmodul in schwarzer Optik mit einem Modulwirkungsgrad von 21 % verwendet. Die PV-Anlage erzeugt im Jahr ca. 9.400 kWh (bilanziert) und deckt damit den kompletten Strombedarf des Hauses. Über das Jahr gerechnet erreicht das Effizienzhaus-Plus in Bad Homburg einen Eigennutzungsgrad des mit der Photovoltaikanlage generierten Stroms von ca. 50 % (bilanziert)¹¹. Überschüssiger Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist. Ebenso wird bei zu geringer Eigenproduktion Strom aus dem Netz bezogen.

Angaben zu der eingesetzten Technologie

Wärmepumpe	
Produktname / Hersteller	Logatherm WPLS, ODU 7,5 / BUDERUS
Art	Luft/Wasser-Split Wärmepumpe
Heizleistung	6,42 kW ¹²
Elektr. Zusatzheizung	9 kW
Kamin mit Wassertasche	
Produktname / Hersteller	Varia 1Vh H ₂ O XL-4S / SPARTHERM Feuerungstechnik
Heizleistung	14,4 kW
Wärmeverteilung	11% Konvektion, 18% Sichtscheibe, 71 % Abgabe an Speicher
Heizpufferspeicher	
Produktname / Hersteller	Logalux PNR 1.000 E / BUDERUS
Art	Bivalent (Einbindung einer WP und wasserführenden Kamin)
Größe	1.000 l
Trinkwarmwasserspeicher	
Produktname / Hersteller	Logalux SMH 500 E / BUDERUS
Art	Bivalent (Einbindung einer WP und wasserführenden Kamin)
Größe	500 l
Lüftungsanlage	
Produktname / Hersteller	AP310 / PLUGGIT
Art	Zu- und Abluftanlage mit WRG
Wärmebereitstellungsgrad	85,4 % (gem. DIBT-Zulassung)
Eingestellter Volumenstrom ¹³	150 m ³ /h
Leistungsaufnahme	0,18 W/(m ³ /h) = 27 W (bei eingestelltem Volumenstrom) ¹⁴

¹¹ gem. aktualisierter Bilanz vom 18.06.2015 der ina Planungsgesellschaft mbH, s. Kap. 3.5

¹² Nennleistung bei A2/W35 nach EN 14511

¹³ gem. Inbetriebnahmeprotokoll vom 18.02.14

¹⁴ gem. Herstellerangabe (PLUGGIT) vom 25.06.15

Sole-Wärmetauscher	
Produktname / Hersteller	SWT180 / PLUGGIT
Länge	100 m
Anschlussleistung Pumpe ¹⁵	Wilo-Star ST 15-6, Pumpenleistung 6 bar, Stufe I = 41 W, Stufe II = 54 W, Stufe III = 63 W
Vorerwärmung/Vorkühlung	Abhängig von Erdreichtemperatur, Luftvolumenstrom und Außenlufttemperatur; gem. Herstellerangabe kann von einer Temperaturänderung der Luft von ca. 10 K ausgegangen werden.
PV-Anlage	
Produktname / Hersteller	Typ-XP21-335P-BLK / SunPower
Modulart	Monokristalline Hochleistungsmodule
Modul-Wirkungsgrad	21 %
Installierte Leistung	9,38 kWp
Fläche	45,7 m ²

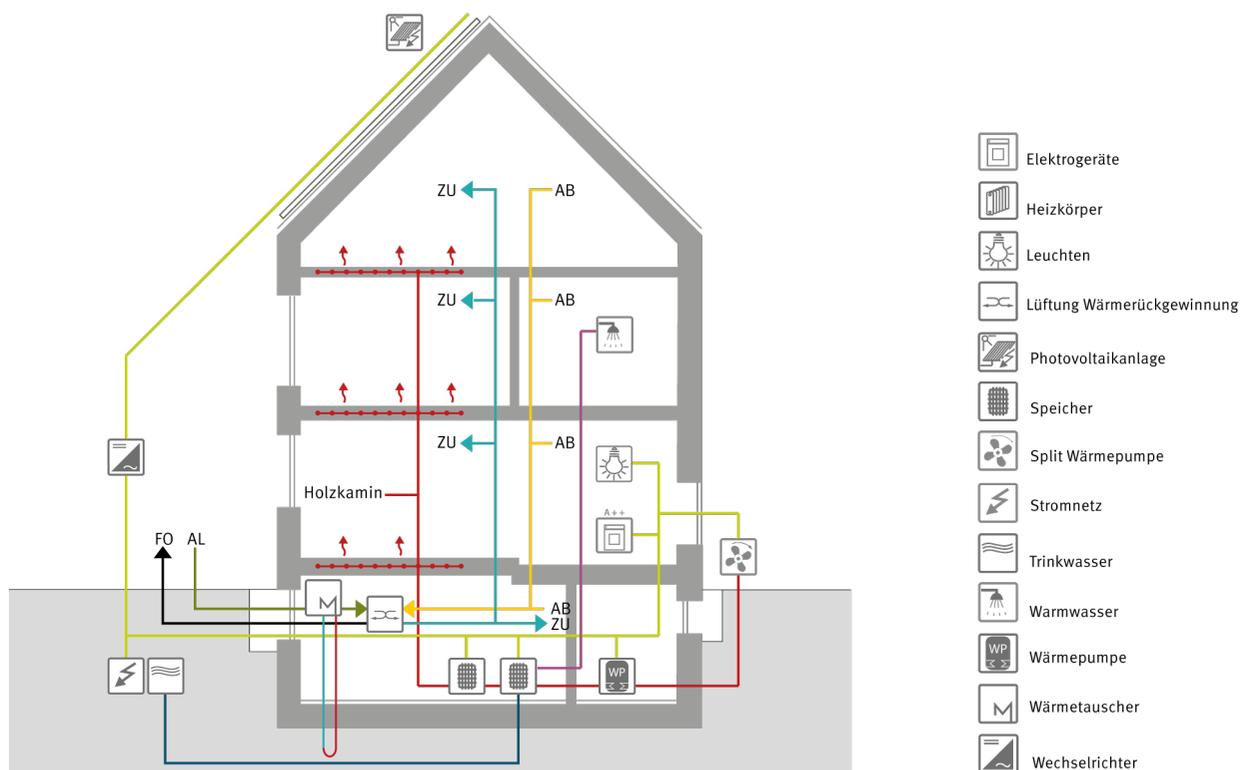


Abb. 13 Schema der Gebäudetechnik, Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Wärmetechnik, weitergeführt durch ina Planungsgesellschaft mbH

¹⁵ gem. Herstellerangabe (PLUGGIT) vom 25.06.15

3.5 Beleuchtung/Haushaltsgeräte

Als fest installierte Beleuchtung kommen überwiegend LED-Leuchtmittel zum Einsatz. Haushaltsgeräte, die einen großen Anteil am Haushaltsstromverbrauch haben, sind überwiegend mit hohen bis sehr hohen Effizienzklassen ausgeführt. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Geräte und deren Effizienzklassen dargestellt. Ein Gefrierschrank oder ein Wäschetrockner gibt es in diesem Haushalt nicht.

Beleuchtung	
Beleuchtung	LED
Haushaltsgeräte	
E-Herd	Effizienzklasse A
Backofen	Effizienzklasse A+
Spülmaschine	Effizienzklasse A++
Kühlschrank	Effizienzklasse A+++
Waschmaschine	Effizienzklasse A+++

3.6 Energiebedarf und Energiedeckung

Die bilanzielle Betrachtung wurde gemäß den Regularien des Effizienzhaus Plus nach DIN V 18599:2007-02 durchgeführt. Das Ergebnis gem. Effizienzhaus Plus-Berechnung von 2013 ergab einen Endenergiebedarf von 7.361 kWh/a der über einen Stromertrag aus der Photovoltaik von 9.427 kWh/a gedeckt wird. In der Netto-Jahresbilanz entstand so ein bilanzielles Plus von ~ 2.066 kWh/a.

3.6.1 Bilanzanpassung

Im Zuge des Zwischenberichts vom Juli 2015 wurde die Bilanz aufgrund sich nach Baufertigstellung ergebender Änderungen an die tatsächliche Ausführung nochmals angepasst, um im späteren Messwertvergleich eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu erhalten. Die Bilanzanpassung betraf u.a. die Leitungslängen der Trinkwarmwasser- und Heizungsverteilung, die Ventilatorenleistung der Lüftungsanlage, die ausgeführten Heizflächen, der Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage sowie die Anpassung der technischen Daten und des Nutzungsgrades des handbestückten Scheitholzkamins. Da in der Bilanz nach DIN V 18599:2007-02 ein handbestückter Scheitholzkamin nicht abbildbar ist, wurde sich diesem bilanziell über die Berücksichtigung eines Biomassekessels, mit einem Anteil von 20 % an der Wärmebereitstellung, genähert. Weiterhin wurden u.a. die technischen Daten des Kamins berücksichtigt.

Gemäß der bilanziellen Anpassung hat sich der Endenergiebedarf auf 8.716 kWh/a erhöht. Bei dieser Erhöhung ist zu berücksichtigen, dass allein

durch das Öffnen der alten Bilanz mit einer neueren Version der Bilanzsoftware¹⁶ bereits eine Änderung des ursprünglichen Bilanzwertes von 7.361 kWh/a vom Jahr 2013 auf 8.141 kWh/a ergab (+ 10 %). Die tatsächlichen Änderungen an der Bilanzeingabe führte nur zu einer Erhöhung von 575 kWh/a (+ 7 %).

3.6.2 Energiebedarf

Gemäß der Berechnung nach DIN V 18599 weist das Gebäude einen jährlichen Endenergiebedarf für den Betrieb der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung und Beheizung von 5.540 kWh sowie einen Hilfsenergiebedarf für den Betrieb der Regelung und Pumpen von 324 kWh auf. Der Bedarf für die Ventilatoren der kontrollierten Wohnraumlüftung beläuft sich auf 353 kWh.

Der jährliche Endenergiebedarf für den Beleuchtungs- und Haushaltsstrombedarf beträgt insgesamt 2.500 kWh, 375 kWh für Beleuchtung und 2.125 kWh für sonstige Haushaltsgeräte.

Insgesamt ergibt sich ein Endenergiebedarf von 8.716 kWh/a.

Aufschlüsselung des Endenergiebedarfs nach einzelnen Dienstleistungen

Name	Heizung (WP + Kamin)	Warmwasser (WP)	Lüftung	Licht	Haushalt + Kochen
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	6.335	3.647	-	375	2.125
Wärme-/ Kälteabgabe d. Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	7.285	5.462	-	-	-
Hilfsenergiebedarf $Q_{x,aux}$ [kWh/a]	293	31	353	-	-
Endenergiebedarf (exkl. Hilfsenergie) Wärme $Q_{x,f}$ [kWh/a]	3.649	1.891	-	-	-
Endenergiebedarf ges. [kWh/a]	8.716 kWh/a				

Abb. 14 Endenergiebedarf der einzelnen Dienstleistungen, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

3.6.3 Plusenergiebilanz

Der Endenergiebedarf von 8.716 kWh/a ergibt mit einem Photovoltaikertrag von 9.427 kWh/a ein Plus von ~ 711 kWh/a. Dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines Mittelklasse E-PKWs von 4.182 km (17 kWh/100 km). Primärenergetisch ergibt sich ein Überschuss von ~7.779 kWh/a.¹⁷ Der über

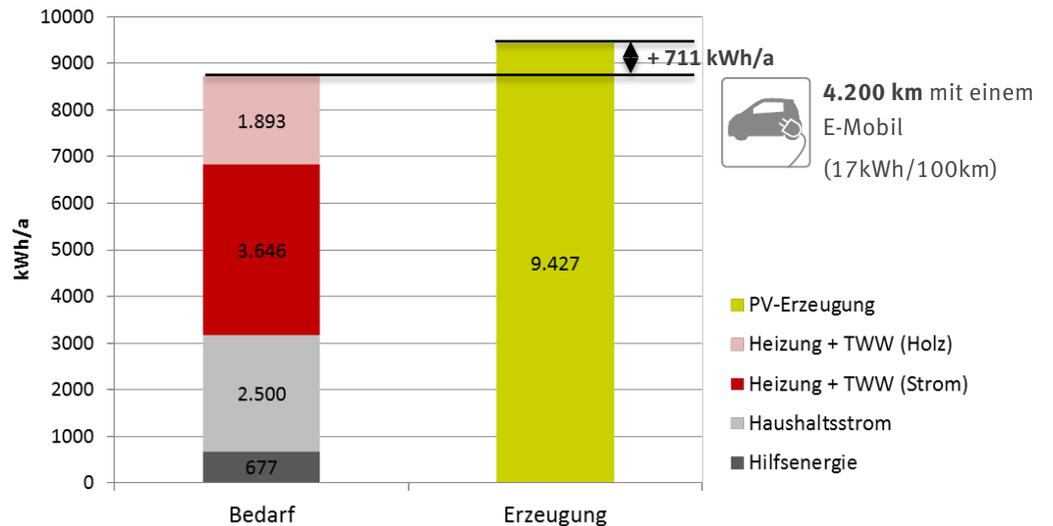
¹⁶ BKI Energieplaner Version 14.0.7

¹⁷ Primärenergiefaktoren gem. DIN V 18599:2007 für Strom $f_p=2,4$, für den Verdrängungsstrommix $f_p=2,8$, für Holz $f_p=0,2$

Photovoltaik generierte Strom kann in der Monatsbilanz zu ~50 % selbst gebraucht werden.

Die Verteilung des Energiebedarfs auf die einzelnen Dienstleistungen sowie die monatsweise Betrachtung sind den folgenden Grafiken sowie der darauffolgenden Tabellen zu entnehmen.

Plus-Energie-Bilanz (Endenergie)



Monatsbilanz (Endenergie)

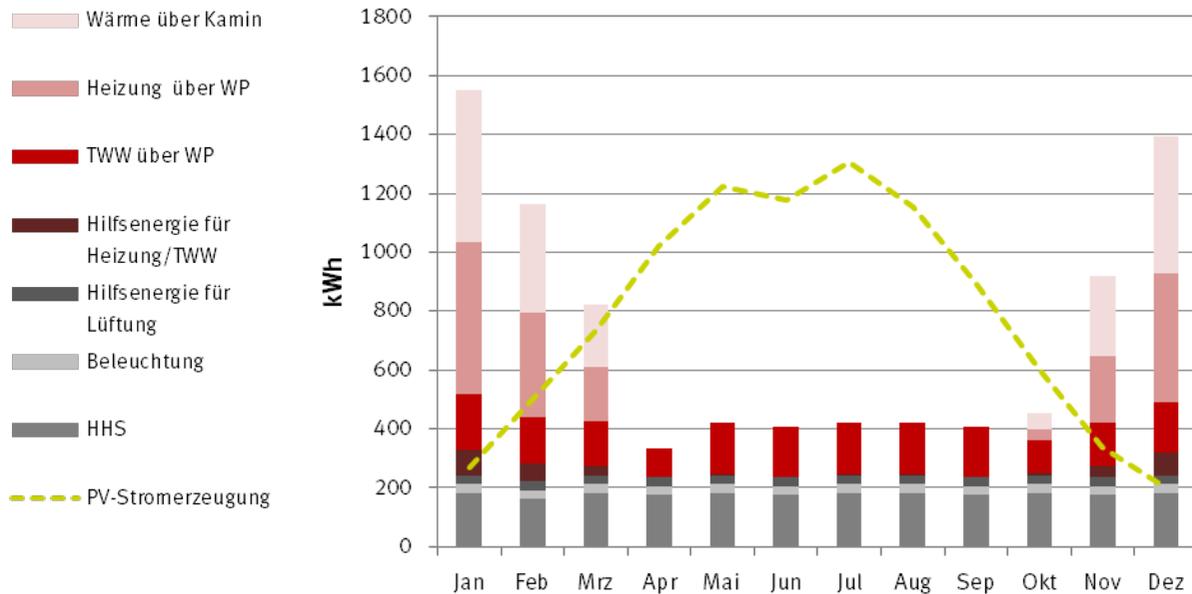


Abb. 15 Jahresbilanz (oben) und Monatsbilanz Plus-Energie-Bilanz (Endenergie) des Pro-Klima-Hauses nach Bilanzanpassung 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Endenergiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus gem. Bilanz

Bedarf			Deckung		
Komponente	Energiebedarf		Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/m²a]*		[kWh/a]**	[kWh/m²a]**
E-Mobilität	-	-	PV-Dach	9427	206
Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser, Lüftung	677	2,2	**) bezogen auf die PV-Modulfläche Dach - 45,7 m² ***) 50,17 % des PV-Ertrags kann im Gebäude selbst genutzt werden; 49,83 % werden in das öffentliche Netz eingespeist		
Elektrische Geräte	2.500	26,5			
Beleuchtung	3646				
Warmwasser	1893				
Heizung (Strom)					
Heizung (Holz)					
*) bezogen auf die Gebäudenutzfläche 304 m²					
Gesamt	8.716	kWh/a	Gesamt	9.427	kWh/a
Endenergie Überschuss				-711	kWh/a

Abb. 16 Endenergiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus nach Vorlage des Fraunhofer IBP, nach Bilanzanpassung 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Primärenergiebedarf der erforderlichen Energieträger und Primärenergiegutschrift des Effizienzhaus Plus gem. Bilanz

Energiebezug von außerhalb			Gutschrift durch Einspeisung		
Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger		Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a]**	[kWh/m²a]*		[kWh/a]**	[kWh/m²a]**
E-Mobilität	-	-	PV-Dach	13154	288
Elektrische Geräte	1.973	6,5	**) bezogen auf die PV-Modulfläche Dach - 45,7 m² ***) vom PV-Ertrag wird 50,17 % im Gebäude selbst genutzt werden und mindert so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Beleuchtung	3052	10,0			
Warmwasser	351	1,2			
Heizung (Strom)					
Heizung (Holz)					
*) bezogen auf die Gebäudenutzfläche 304 m²					
***) vom PV-Ertrag wird 50,17 % im Gebäude selbst genutzt werden und mindert so den Bezug aus dem öffentlichen Netz					
Gesamt	5.375	kWh/a	Gesamt	13.154	kWh/a
Primärenergie Überschuss				-7779	kWh/a

Abb. 17 Primärenergiebedarf der erforderlichen Energieträger und Primärenergiegutschrift nach Vorlage des Fraunhofer IBP, nach Bilanzanpassung 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

3.7 Bewertung der Effizienz aus Berechnungen nach DIN V 18599

In den folgenden Tabellen sind zur Bewertung der Effizienz die Berechnungen des Energiebedarfs getrennt nach Dienstleistungen aus der Bilanz nach DIN V 18599 sowie der Aufwands-/ und Arbeitszahlen gemäß der Zwischenberichtsvorlage aufgeführt.

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/(m²a)]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	9.982	32,83
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	WP: 11.303 Kamin: 1.444 Summe: 12.747	41,93
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	WP: 3.647 Kamin: 1.893 Summe: 5.540	18,22
Endenergie Haustechnik	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	WP: 3.940 Kamin: 1.924 Lüftung: 353 Summe: 6.216	20,45
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik (ohne PV)	11.590	38,13

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,28
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	WP: 0,32 Kamin: 1,31 Summe: 0,44
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,62
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,61
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	WP: 2,87 Kamin: 0,76 Summe: 2,30
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (ohne PV) (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	1,16

4. Monitoring

Gebäude werden heute in der Planung mittels einer energetischen Bilanzierung im Hinblick auf ihre Energiebedarfe und ggf. Energieerträge bewertet. Die Bilanz wird anhand einheitlicher Rechenverfahren (DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 bzw. DIN V 18599) durchgeführt und auf ein Standardklima eines deutschen Referenzstandorts bezogen. Damit sind sie in Bedarfskategorien einordbar und vergleichbar. Eine detaillierte Aussage über den realen Verbrauch liefern die genannten Bilanzen jedoch nicht. Die Praxis hat viel mehr gezeigt, dass Gebäude insbesondere in den ersten Betriebsjahren wesentlich mehr Energie verbrauchen als anfangs bilanziert. Dieser Problematik kann mit einer Betriebsoptimierung in Form eines Monitorings entgegen gewirkt werden. Zudem lässt ein Monitoring im konkreten Fall die Überprüfung des neu definierten Effizienzhaus Plus-Standard zu.

Das 24-monatige Monitoring des „Pro-Klima-Hauses“ findet im Zeitraum von Mai 2014 bis April 2016 statt. In diesem Zeitraum werden Themen des Energieverbrauchs, der -erzeugung als auch der Behaglichkeit im Innenraum betrachtet.

4.1 Messkonzept

Das Messkonzept des Monitorings zur messtechnischen Validierung des Gebäudes wurde anhand der Vorgaben des Förderprogramms „Effizienzhaus Plus“ des BMVBS entwickelt. Über die Messung werden die Wetterdaten, die Elektro- und Wärmeversorgung des Hauses, sowie Temperaturen und relative Luftfeuchten für die Kontrolle des Innenklimas erfasst, worauf im Folgenden näher eingegangen wird.

Messung der Wetterdaten

Um die gemessenen Verbräuche und PV-Erträge auf das am Standort vorherrschende Klima zu beziehen, werden Klimadaten über eine Wetterstation auf dem Dach sowie an der Fassade erfasst (s. Abb. 18). Über die Wetterstation auf dem Dach wird die Globalstrahlung (horizontal), die Außentemperatur sowie die relative Luftfeuchte gemessen. Der Sensor an der Fassade (Süd-Ost-Fassade) stellt zusätzlich Globalstrahlungsdaten für die vertikale Fassadenfläche sowie die Außentemperatur zur Verfügung.

Messung der Elektroversorgung

Die Elektroversorgung wird in einer großen Detaillierung erfasst. Neben gemessenen Werten werden über Differenz- und Summenbildungen zudem weitere Werte berechnet. Gemessen wird der Ertrag der Photovoltaik, deren Netzstromeinspeisung sowie der Netzstrombezug (s. Abb. 18). Aus der Differenz zwischen Ertrag und Einspeisung wird der Eigengebrauch des PV-Stroms

berechnet und aus der Summe von Eigengebrauch und Netzstrombezug der Strombedarf des gesamten Gebäudes bestimmt. Daneben werden weitere Stromverbrauchsmessungen einzelner Verbraucher vorgenommen. So werden die Verbrauchsdaten der Heizung-, Trinkwarmwasserversorgung und Lüftung, wie auch alle Hauptverbraucher im Haushalt separat erfasst. Weiterhin wird der Strombedarf für die Monitoringtechnik bestimmt, um diese in einem späteren Bilanzvergleich herausrechnen zu können.

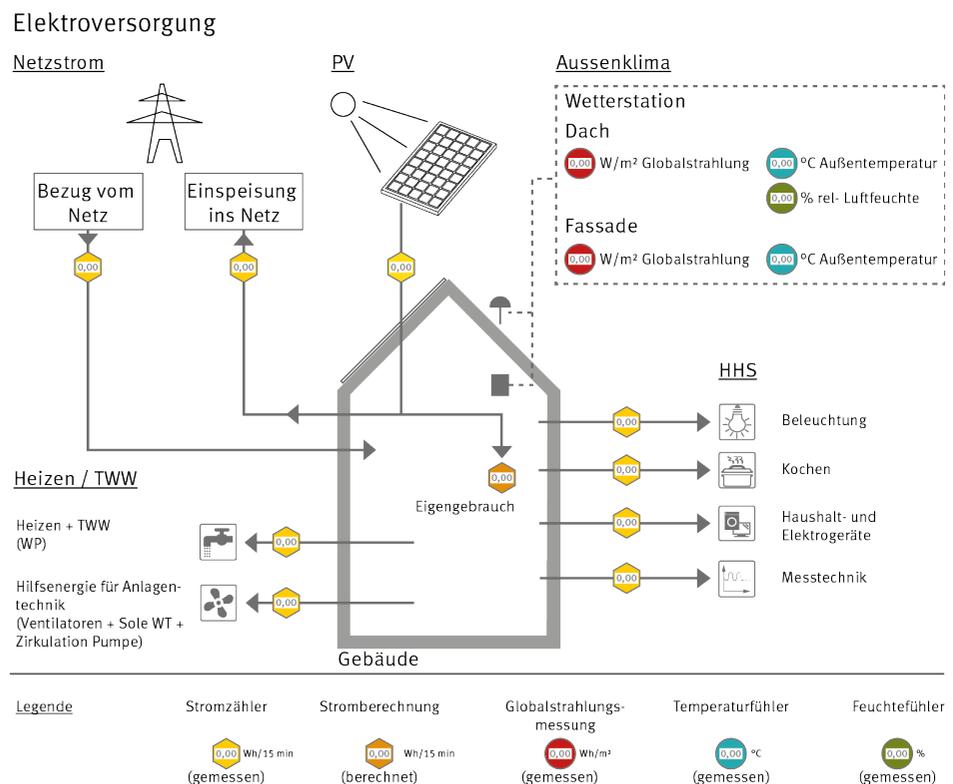


Abb. 18 Prinzipschema der Messung der Elektroversorgung, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Messung des Haushaltsstrombedarfs

Der Haushaltsstrombedarf wird für die Dienstleistungen Beleuchtung (fest installiert), Kochen, Haushalt- und Elektrogeräte getrennt erfasst (s. Abb.19).

Der Stromverbrauch für die Beleuchtung wird je Geschoss gemessen, wobei das OG und DG über einen gemeinsamen Zähler zusammengefasst sind. Von den Haushaltsgeräten werden die Verbräuche des Elektro-Herds, des Backofens, des Kühlschrankes, der Spülmaschine und der Waschmaschine separat gemessen. Diese stellen die Hauptverbraucher in einem Haushalt dar.

Der Elektroherd und der Backofen werden zur Stromverbrauchsangabe in „Kochen“ zusammengefasst. Zudem ist ein Gasherd eingebaut, der über eine

Gasflasche versorgt wird. Um den Verbrauch des Gases zu bestimmen, wird die Gasflasche zum Ende des Monats gewogen und über das Gewicht der Brennwert bestimmt. Der Kühlschrank, die Spülmaschine und die Waschmaschine bilden in Summe den Stromverbrauchswert „Haushaltsgeräte“.

Weiter wird eine Steckdose in der Küche erfasst, an der ein Wasserkocher, eine Mikrowelle, eine Kaffeemaschine sowie eine Küchenmaschine angeschlossen sind. Im Wohnzimmer wird über einen Zähler in der Steckdose der Strom für Stereoanlage und Telefon gemessen.

Aus dem Gesamtstromverbrauch abzüglich aller im Haus einzeln gemessenen Verbraucher wird der Verbrauchswert der restlichen Haushaltssteckdosen berechnet.

Messungen des Haushaltsstroms

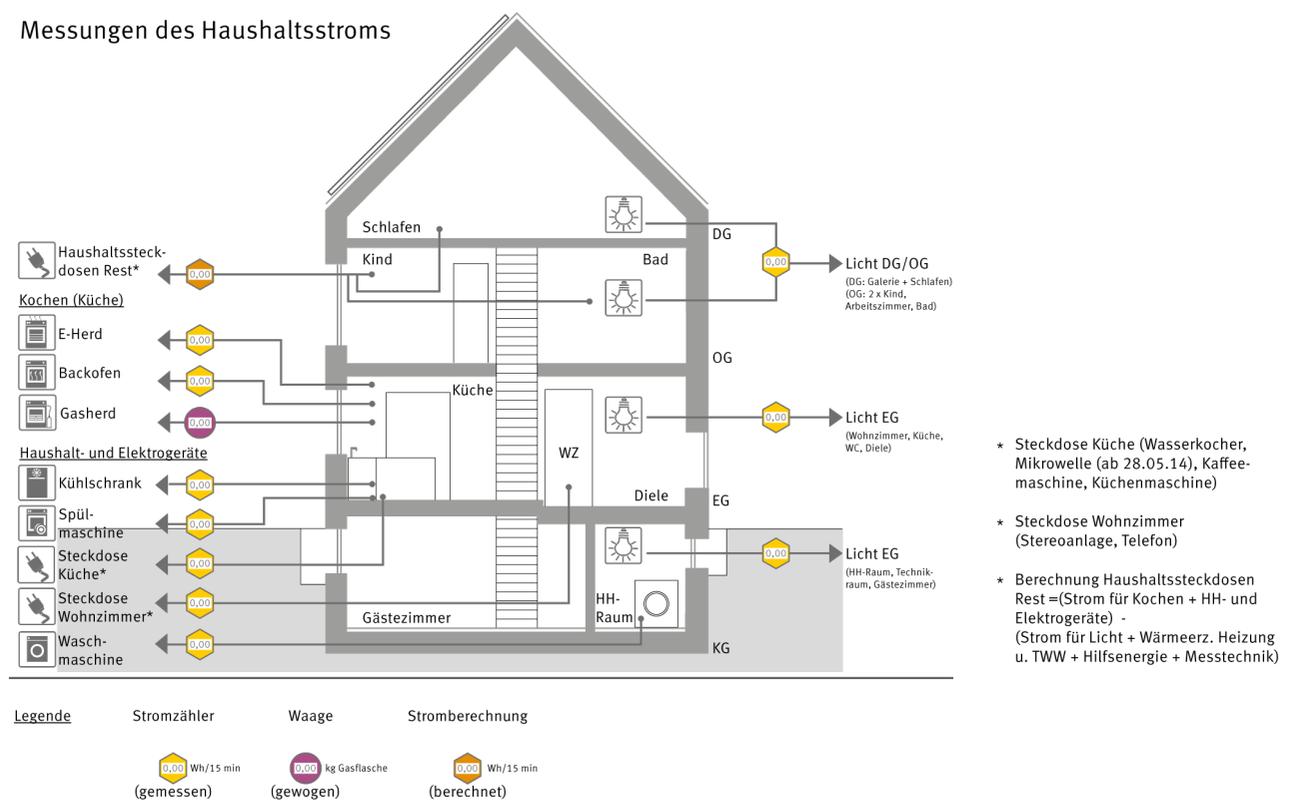


Abb. 19 Prinzipschema der Messung des Haushaltsstroms, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Messung der Lüftung

Von der Lüftungsanlage werden für die Bestimmung des Wirkungsgrades der Wärmerückgewinnung die Zuluft- und Ablufttemperatur erfasst. Die für die Berechnung erforderliche Außentemperatur wird von der Wetterstation bezogen. Um den Temperaturhub des Sole-Wärmetausches zu bestimmen werden zudem Temperaturmessungen vor dem Solewärmetauscher und nach dem

Solewärmetauscher vorgenommen. Der Strombedarf der Lüftung (Ventilatoren) kann nicht separat erfasst werden und wird als gemeinsamer Wert mit dem Stromverbrauch der Pumpe des Sole-Wärmetauschers ausgegeben.

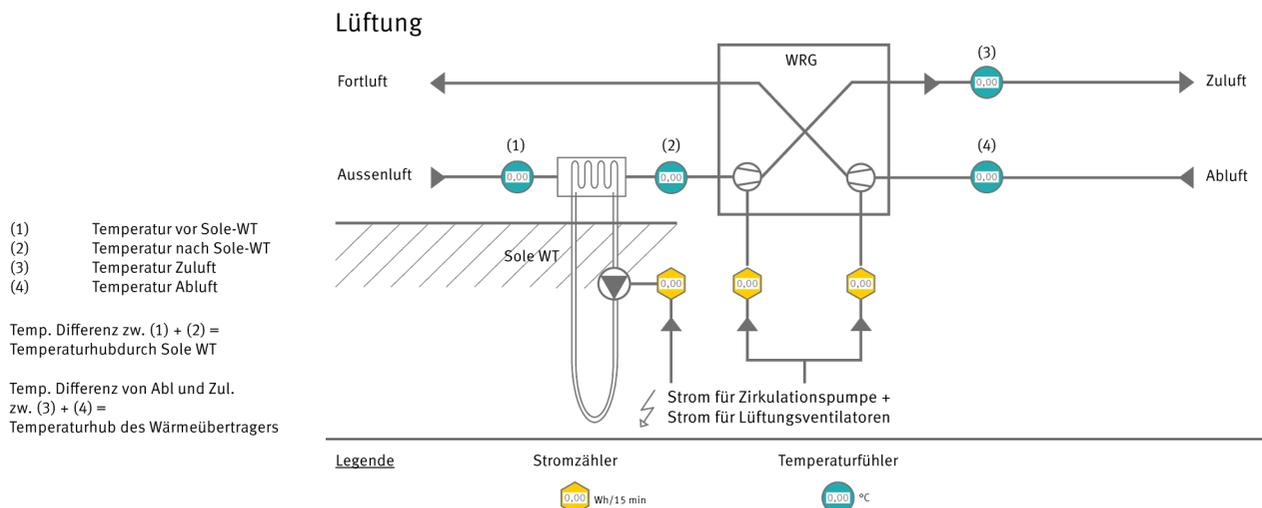


Abb. 20 Prinzipschema der Messungen an der Lüftung und des Sole-Wärmetauschers, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Messung der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung

Für die Bestimmung des Endenergieverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung wird der Stromverbrauch für die Wärmepumpe erfasst, als auch der Energieeinsatz für den Kamin (s. Abb.21). Um die Energiemenge des Kamins zu bestimmen, wird das Holz vor der Verbrennung vom Bauherrn gewogen und somit ein monatlicher Verbrauch in kg bestimmt. Daraus wird mit einer Heizwertannahme von 4,02 kWh/kg Holz¹⁸ der Endenergieverbrauch berechnet.

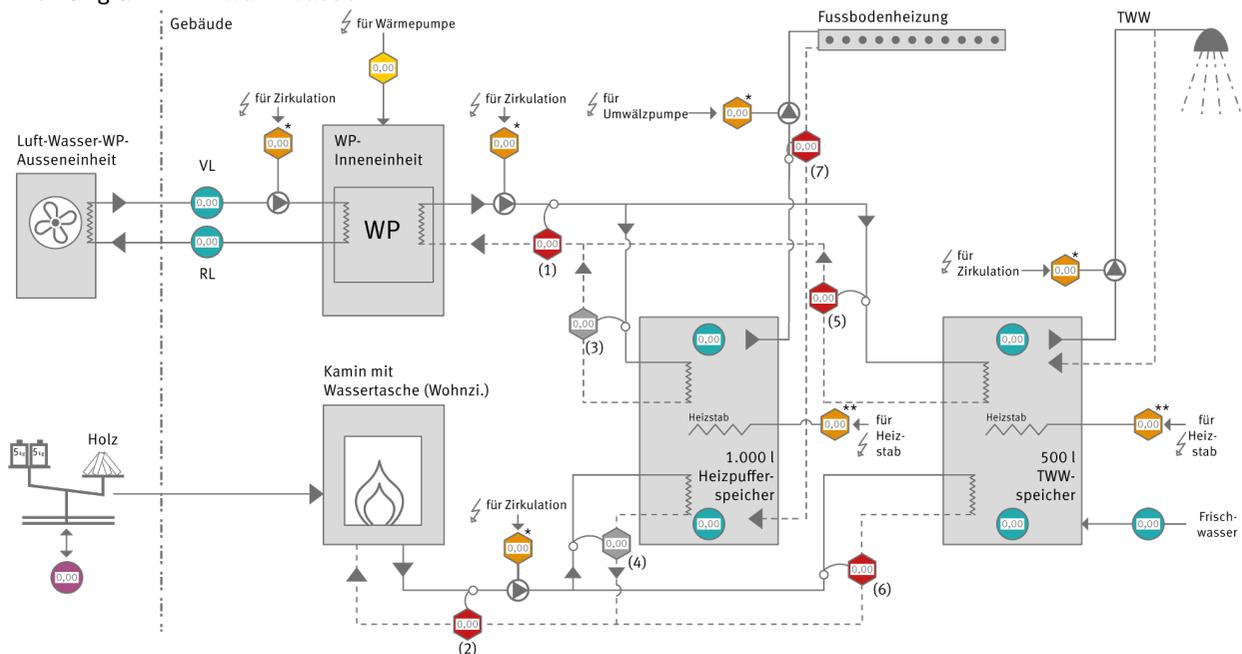
In dem gemessenen Stromverbrauch für die Wärmepumpentechnik ist sowohl die Hilfsenergie für die Pumpen als auch des Heizstabs enthalten. Da eine getrennte Messung zu einem unverhältnismäßigen Mehraufwand geführt hätte, wurden die Verbräuche für Hilfsenergie (Pumpen, Regelung) und den Heizstab über das Lastprofil der Wärmepumpe identifiziert und rechnerisch über eine Excel-basierte Messwertauswertung separiert.

Neben dem Stromverbrauch wird die erzeugte Wärme über Wärmemengenzähler erfasst. Über diese wird u.a. der Beitrag der Wärmepumpe sowie des Kamins für die Wärmebereitstellung für Heizung und Trinkwarmwasser bestimmt sowie die Effizienz der Erzeuger bewertet. Die Wärmebereitung der Wärmepumpe wird zum

¹⁸ Nadelholz, 20 % Feuchte, Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), "Merkblatt 12, Der Energieinhalt von Holz und seine Bewertung", Dez. 2007

einen insgesamt als auch für die Trinkwarmwasserbereitung gesondert (vor Speichereingang TWW) erfasst. Die Wärmebereitstellung für den Heizpufferspeicher wird aus der Differenz der zuvor genannten Messungen berechnet. Gleiches gilt für den Kamin. Hier wird zum einen die gesamte Wärmemenge erfasst, die über die Wassertasche des Kamins erzeugt und an die Speicher übergeben wird, als auch die Wärmemenge am Eingang des TWW-Speichers. Aus der Differenz der beiden Messungen wird die Wärmebereitstellung des Kamins für die Heizung bestimmt. Des Weiteren werden über einen Wärmemengenzähler am Speicherausgang des Heizpufferspeichers die Speicherverluste bestimmt. Weiterhin werden die Temperaturen im Speicher oben und unten, an der Frischwasserleitung sowie im Vor- und Rücklauf zwischen Außen- und Inneneinheit der Wärmepumpe erfasst. Über die Temperaturen im Speicher kann u.a. der Temperaturhub über die Erzeuger mit den erzeugten Speichertemperaturen abgeglichen werden.

Heizung und Trinkwarmwasser



Legende

Stromzähler	*Stromberechnung	Wärmemengenzähler	Wärmemengberechnung	Temperaturfühler	Wage
0,00 Wh/15 min (gemessen)	0,00 Wh/15 min (berechnet)	0,00 Wh/15 min (gemessen)	0,00 Wh/15 min (berechnet)	0,00 °C (gemessen)	0,00 kg Holz (gewogen)

- (1) Wärmemenge der WP (ges.)
 - (2) Wärmemenge des Kamins (ges.)
 - (3) Wärmemenge von WP an Heizpufferspeicher
 - (4) Wärmemenge von Kamin an Heizpufferspeicher
 - (5) Wärmemenge von WP an TWW-Speicher
 - (6) Wärmemenge von Kamin an TWW-Speicher
- } = Wärmemenge Speichereingang Heizpufferspeicher
 } = Wärmemenge Speichereingang TWW-Speicher

Strom für Pumpen wird in einem Wert ausgegeben.

Strom für den Heizstab für TWW und den Heizpufferspeicher wird in einem Wert ausgegeben.

Abb. 21 Prinzipschema der Strom- und Wärmemengenmessung der Heizungs- und Trinkwarmwassertechnik, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Messung der Temperatur und relativen Luftfeuchte

Zur Kontrolle der Behaglichkeit wird die Temperatur in Küche, Bad, einem Kinderzimmer sowie im Schlafzimmer erfasst. Im Schlafzimmer wird zusätzlich die relative Luftfeuchte gemessen. Seit Oktober 2014 sind Temperaturfühler im zweiten Kinderzimmer, im Studio, auf der Galerie sowie im Wohnzimmer hinzugekommen, in letzterem wird ebenfalls die relative Luftfeuchte gemessen. Die Temperaturen in den Räumen ohne eine Messung der relativen Feuchte werden über die Thermostate der Heizungsregelung erfasst.

Da die Temperaturen des Schlafzimmers und des Wohnzimmers durchgehend stark erhöht waren und Vergleichsmessungen geringere Temperaturen zeigten, wurden diese Fühler im Februar 2015 einem Temperaturabgleich unterzogen. Die zuvor gemessenen Daten werden daher nicht für die Auswertung des ersten Monitoringjahres herangezogen.

Innenraumklima

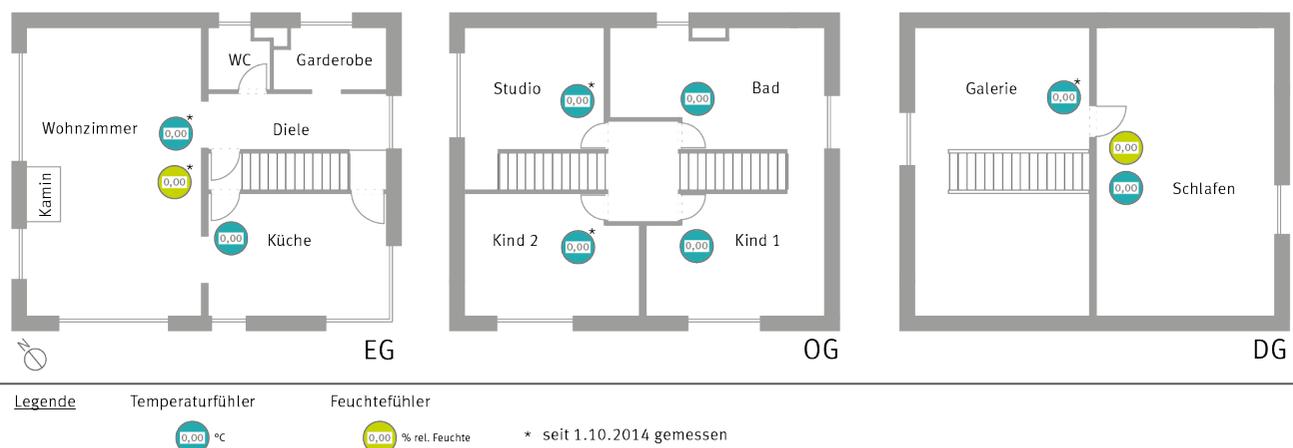


Abb. 22 Prinzipschema der Messungen von Temperatur und relativer Luftfeuchte zur Erfassung des Innenraumklimas, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

4.2 Verwendete Messtechnik

Als Messtechnik wurde ein KNX-Gesamtsystem der Fa. Lingg & Janke verbaut. Die einzelnen Komponenten können der folgenden Tabelle entnommen werden. Einzelne Sensoren und Fühler (Wetterstation und Temperaturerfassung über Thermostate) stammen nicht von derselben Firma, was in der Auswertung der Daten spürbar war und zu geringfügigen Abweichungen zwischen einzelnen Messungen geführt hat.

Messtechnik	Hersteller / Produktname
Stromzähler	Lingg & Janke / KNX REG Energiezähler, direktmessend Lingg & Janke / EHZ KNX Zählerschnittstelle
Wärmemengenzähler	Lingg & Janke / KNX Multical 602
Temperatur & Feuchte (Wohn- und Schlafzimmer)	Lingg & Janke / KNX Raumtemperatur/Feuchtefühler RTFF 10/FW + RTF 99FW
Tempertur (übriger Räume)	Thermostate Fa. Gira
Netzwerkkoppler	Lingg & Janke / KNX NKFW/Grafic
Wetterstation	Busch-Jaeger / Kombi-Wettersensor 6190/11-101
Pyranometer	Elsner Elektronik / Pyranometer KNX PY

Nach dem Einbau erfolgte eine Sichtung der Messtechnik und eine Abstimmung mit den Fachbetrieben, die z.T. noch Anpassungen erforderlich machte.

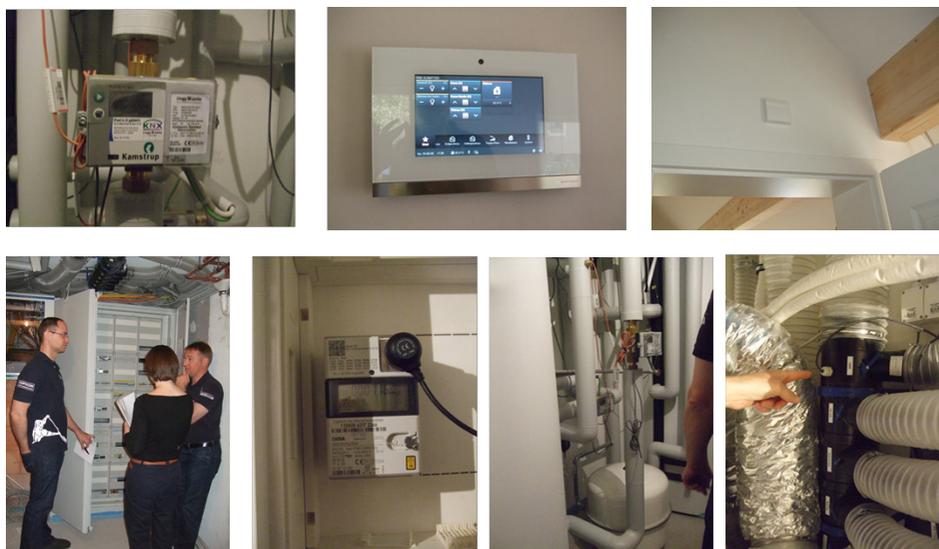


Abb. 23 Bilder einer Hausbegehung und Sichtung der Messtechnik (von oben links nach unten rechts: Wärmemengenzähler an TWW-Speicher, Panel BUSCH-JAEGER, Temperatur- und Feuchtesensor im Schlafzimmer, Schaltschrank der Messtechnik im KG, Strommesser, Wärmemengenzähler am Speicher, Temperaturfühler an Kanal der Lüftungsanlage), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

4.3 Dokumentation

Die Messwerte werden über das Messsystem des Herstellers Lingg+Janke in 15min-Taktung erfasst. Alle Messwerte der verschiedenen Datenlogger werden in Form von txt-Dateien gespeichert und am Monatsende für die Auswertung des vergangenen Monats durch den Hersteller zur Verfügung gestellt. Angaben zum Holz- und Gasverbrauch (Gewicht) werden am Monatsende durch den Bauherrn übermittelt.

Die txt-Daten werden in ein Excel-basiertes Auswertungstool eingelesen, welches durch die ina Planungsgesellschaft, abgestimmt auf die gemessenen

Daten, entwickelt wurde. U.a. werden die Daten auf Unstimmigkeiten geprüft, Stunden-, Monats-, und Jahreswerte (Kumulierte Summen- und Mittelwerte) bestimmt und eine grafische Auswertung vorgenommen. Die Stunden- und Monatswerte der monatlichen Messungen werden an das für die Begleitforschung beauftragte Fraunhofer Institut IBP weitergeleitet. Ferner kommt dem Bauherrn ein Feedback zur monatlichen Auswertung zu.

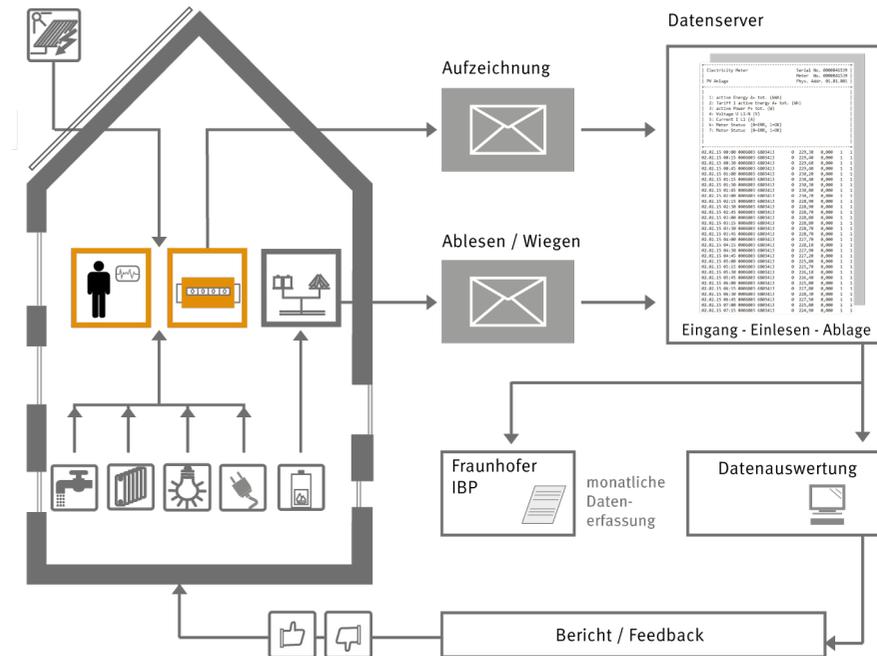


Abb. 24 Prozess des Monitorings von der Messwertfassung bis zur Auswertung der Daten, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Nach ersten Datenauswertungen wurden noch fehlerhafte Zuweisungen von Geräten zu den Datenloggern sowie nicht funktionierende Datenausgaben festgestellt. Dies musste in der Anlaufphase des Monitorings identifiziert und behoben werden. So sind nicht nur Betriebsoptimierungen der Anlagentechnik des Hausbetriebs, sondern auch Prüfungen der Messungen und eine Einregulierung der Messtechnik zu Anfang eines Monitorings auch zeitlich zu berücksichtigen.

5. Meteorologische Randbedingungen

5.1 Solarstrahlung

Zum Antragszeitpunkt wurde der Ertragsprognose der Photovoltaik die Fachplanerangabe¹⁹ zugrunde gelegt und sich auf die monatliche Verteilung der Globalstrahlung nach DIN 4108-6, Referenzregion 12 (Mannheim) bezogen. Da der Ertragsgröße die Globalstrahlung des realen Gebäudestandorts zugrunde liegt, jedoch diese vom Fachplaner nicht zu beziehen war, wurde sich so der realen monatlichen Verteilung genähert.

Um die Angabe der Strahlungsintensität nach DIN 4108-6 zu verifizieren, wurde diese mit dem historischen Mittel (1981-2010) für den Standort in Bad Homburg verglichen (s. Abb.25, dunkelgrüne Linie vs. Punktlinie). Der Vergleich zeigt geringfügige Abweichungen und ansonsten einem der DIN entsprechenden Verlauf.

Ein Vergleich mit dem Referenzklima gem. DIN V 18599-10:2007-02 (Würzburg) hat gezeigt, dass die Globalstrahlung (horizontal) mit 1.120 kWh/(m²a) im Vergleich zur DIN 4108-6 mit 1.045 kWh/(m²a) bzw. dem historischen Mittel des realen Gebäudestandorts um ca. 7 % entsprechenden Mehrertrag erwarten lässt. Da jedoch die Bilanz mit dem geringeren Ertrag aus DIN 4108-6 geführt wurde, wird dieser Wert für die weitere Betrachtung beibehalten.

Die mittlere monatliche Strahlungsintensität ist nach Messung im ersten Monitoringjahr gegenüber der Strahlungsintensität nach DIN 4108-6 bzw. gegenüber dem historischen Mittel am Gebäudestandort deutlich geringer (s. Abb.25). Die Unterschreitung beträgt im Mittel 40 %. Da das Messjahr ein sonnenreiches Jahr war, erscheint diese Unterschreitung nicht plausibel.

Für die Verifizierung der Messwerte wurden Globalstrahlungsdaten des DWD für den Standort Bad Homburg²⁰ für das Jahr Mai 2014 bis April 2015 der Messung gegenübergestellt (s. Abb.25, rote Punktlinie). Die Werte zeigen nur geringfügige Unterschreitungen bzw. sogar Überschreitung des historischen Mittels des Gebäudestandorts. Die Abweichung zum gemessenen Wert beträgt im Mittel ebenfalls ~40 %.

Da die Angabe des DWD für den Gebäudestandort aus nahe gelegenen Wetterstationen abgeleitet wird, sind keine ortsspezifischen Gegebenheiten wie Bewölkung enthalten. Jedoch ist die starke Abweichung der tatsächlich gemessenen Globalstrahlung darüber nicht zu begründen.

¹⁹ PV-Anbieter: Main Solar GmbH

²⁰ Höhe Ober-Eschbach: PLZ 61352 - (geogr. Breite 50,2175 / geogr. Länge 8,6352)

Abweichung der Messwerte gegenüber der Daten der DIN 4108-6 (Referenzregion 12)	
Mai	-42 %
Jun	-36 %
Jul	-43 %
Aug	-44 %
Sep	-40 %
Okt	-43 %
Nov	-67 %
Dez	-71 %
Jan	-71 %
Feb	-51 %
Mrz	-25 %
Apr	-16 %
Mittel	-40 %

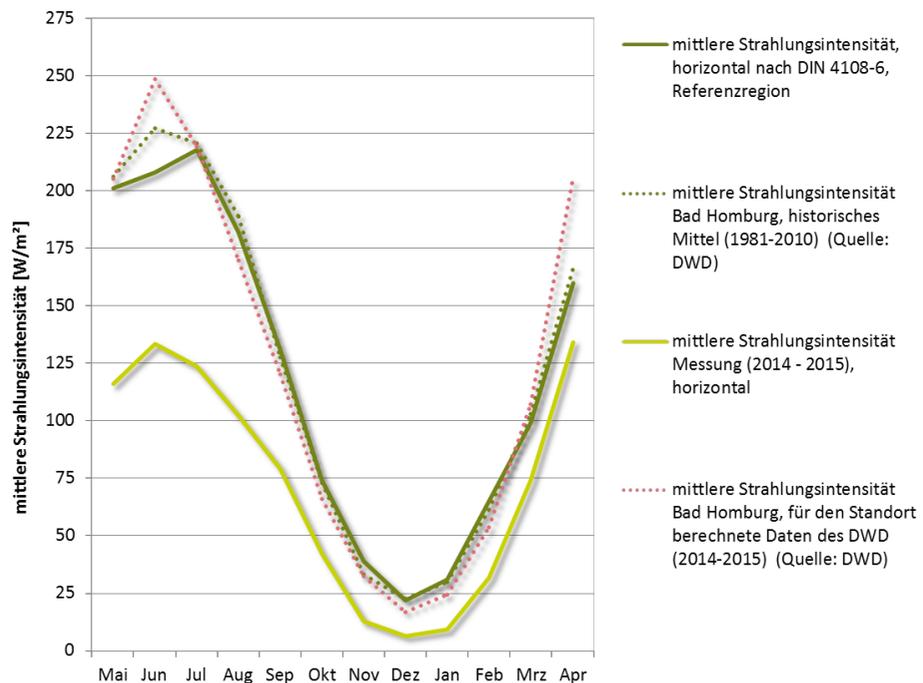


Abb. 25 Gegenüberstellung der mittleren Solarstrahlungsintensität nach DIN 4108-6 für die Referenzregion 12 (Mannheim), dem historischen Mittel für den Standort Bad Homburg, sowie der Globalstrahlung nach Messung über die Wetterstation am Gebäude, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Die Abweichung kann z.T. durch eine Verschattung der Wetterstation durch den umliegenden Baumbestand bedingt sein. Der Bauherr teilte diesbezüglich im August 2014 mit, dass eine Verschattung der Wetterstation durch die nord-westliche Birke des Nachbarn ab 19:00 Uhr vorlag. Daher ist davon auszugehen, dass in den Monaten zuvor ebenfalls eine Verschattung eingetreten sein kann. Da die Verschattung auch die PV-Anlage betraf, wurde Ende August der betreffende Baum gekappt (s. Abb.26).



Abb. 26 Birke zur westlichen Nachbargrenze vor und nach dem Baumzuschnitt (aufgenommen aus dem Dachfenster des Süd-West-Daches), Quelle: S. Klawitter

Zudem wird das Grundstück von einem weiteren Baumbestand im Süd-Westen auf dem gegenüberliegenden Bahndamm (gegenüber dem PV-Dach) flankiert. Man kann davon ausgehen, dass dieser Baumbestand in den Übergangs- und Wintermonaten zu einer Verschattung führt. Nach einer Studie des PV-Anbieters „Main Solar“ liegt in den Wintermonaten zu den späten Tageszeiten eine Verschattung der PV Fläche vor (s. Abb.27).

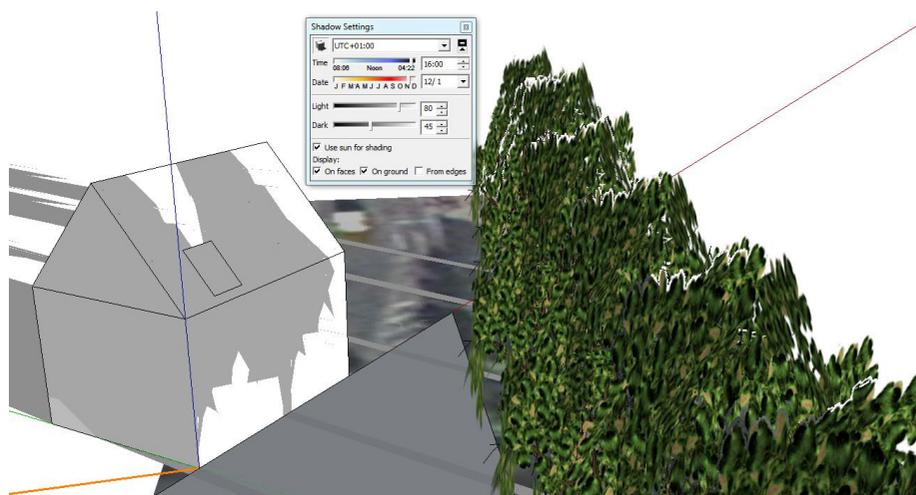


Abb. 27 Verschattung von 80 % der Dachfläche durch gegenüberliegenden Baumbestand am 01. Dezember um 16:00 Uhr, Quelle: MainSolar GmbH, 2014

Nach Angaben des Bauherrn sorgten die Bäume bereits im September zu späten Tagzeiten für eine Verschattung der unteren Module. Aufgrund der Höhe des Baumbestandes kann jedoch die Wetterstation, die am First des Daches angebracht ist, nicht betroffen gewesen sein. So ist die Abweichung der Globalstrahlung über die Verschattung allein nicht begründbar.

In einem Abgleich der gemessenen Globalstrahlung mit dem gemessenen PV-Ertrag wird die Unstimmigkeit noch bestätigt. Wird der PV-Ertrag mit Zugrundelegung der gemessenen Globalstrahlung berechnet²¹, so zeigt sich gegenüber dem gemessenen Ertrag eine Abweichung, im Mittel um 24 % (s. Abb.28). Trotz Variation des Performance Ratio-Wertes konnte der tatsächliche Ertrag auf Basis der gemessenen Globalstrahlung nicht übereinstimmend bestimmt werden. Das Ergebnis zeigt, dass der gemessene Ertrag nicht plausibel auf die gemessene Globalstrahlung zu beziehen ist.

²¹ Der Berechnung zugrunde liegende Annahmen: Modulwirkungsgrad 21 %, Performance Ratio: 0,85 %, Modulfläche: 45,7 m², Ertragserhöhung aufgrund 45°-Neigung gegenüber der Horizontalen: 7%

Abweichung des gemessenen PV-Ertrags gegenüber dem auf Basis der gemessenen Globalstrahlung berechneten PV-Ertrags	
Mai	-22 %
Jun	-20 %
Jul	-17 %
Aug	-20 %
Sep	-12 %
Okt	-10 %
Nov	-29 %
Dez	-31 %
Jan	-40 %
Feb	-30 %
Mrz	-30 %
Apr	-31 %
Mittel	-24 %

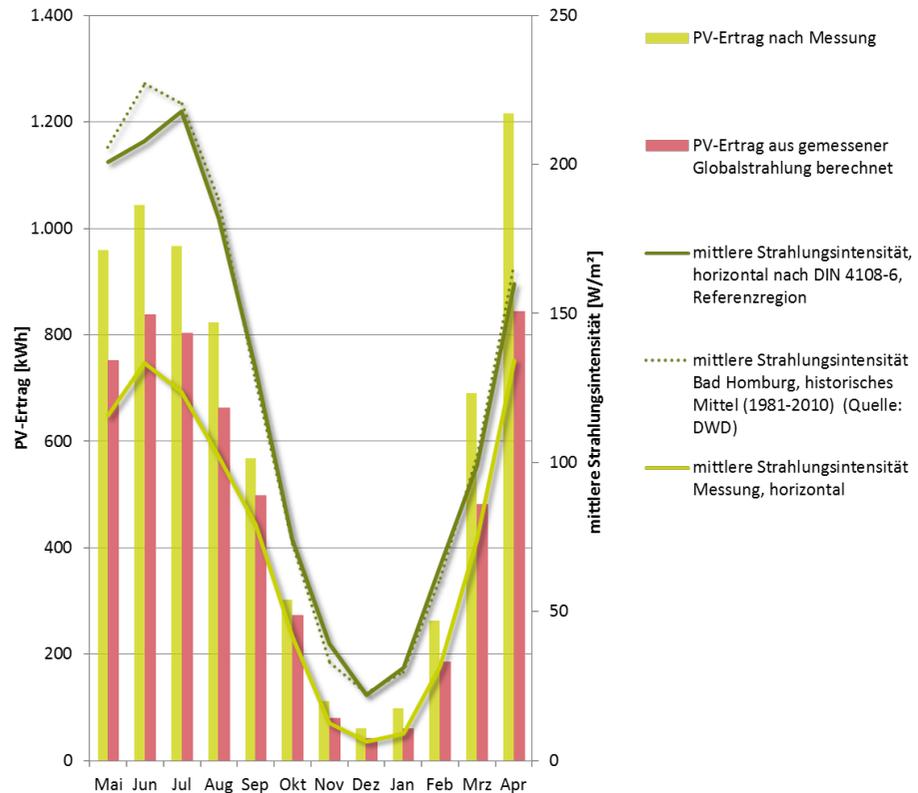


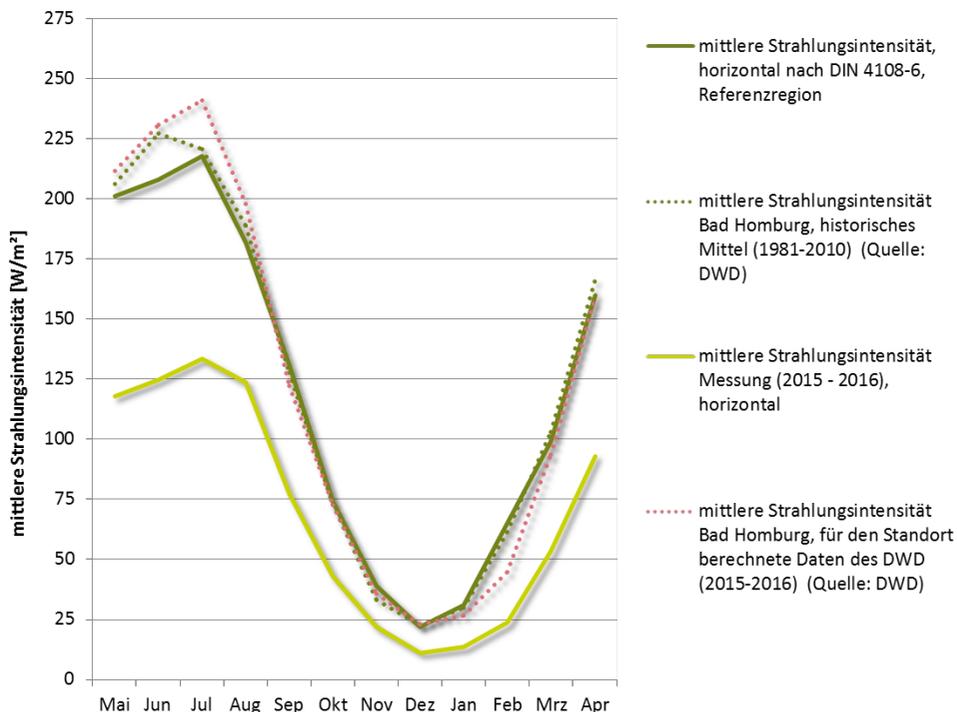
Abb. 28 Abgleich des gemessenen PV-Ertrags (2014 -2015) mit der gemessenen Globalstrahlung über einen berechneten PV-Ertrag

Auch im zweiten Monitoringjahr stellt sich die Abweichung der gemessenen mittleren Globalstrahlung gegenüber dem historischen Mittel nach DIN 4108 für die Referenzregion bzw. dem historischen Mittel des DWD für den Standort Bad Homburg²² ähnlich ein. Die mittlere Abweichung im Jahr beträgt ~42 % (s. Abb.29). Der Vergleich der Messwerte zu den Globalstrahlungsdaten des DWD für das Jahr Mai 2014 bis April 2015 für den Standort Bad Homburg²³ zeigen zudem erneut eine deutliche Unterschreitung, im Jahresmittel ebenfalls ~43 % (s. Abb.29 hellgrüne Linie gegenüber rote Punktlinie).

Ggf. kann weiterhin eine Teilverschattung oder/und eine Verschmutzung des Pyranometers eine Ursache für den geringeren Messwert sein. Auch ein Gespräch mit dem Hersteller des Pyranometers konnte im Verlauf des Monitorings keine abschließende Klärung bringen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass die Abweichung aufgrund ihrer Gleichförmigkeit über das Jahr gerätbedingt ist. Aufgrund der starken Abweichung wird die Globalstrahlungsmessung nicht für eine weitere Verifizierung des PV-Ertrags herangezogen.

²² Höhe Ober-Eschbach: PLZ 61352 - (geogr. Breite 50,2175 / geogr. Länge 8,6352)

²³ Höhe Ober-Eschbach: PLZ 61352 - (geogr. Breite 50,2175 / geogr. Länge 8,6352)



Abweichung der Messwerte gegenüber der Daten der DIN 4108-6 (Referenzregion 12)

Mai	-41 %
Jun	-40 %
Jul	-39 %
Aug	-32 %
Sep	-41 %
Okt	-42 %
Nov	-44 %
Dez	-50 %
Jan	-57 %
Feb	-64 %
Mrz	-46 %
Apr	-42 %
Mittel	-42 %

Abb. 29 Gegenüberstellung der mittleren Solarstrahlungsintensität nach DIN 4108-6 für die Referenzregion 12 (Mannheim), dem historischen Mittel für den Standort Bad Homburg, sowie der Globalstrahlung nach Messung über die Wetterstation am Gebäude, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

5.2 Außenlufttemperaturen

Im ersten Monitoringjahr weichen die gemessenen mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen im Vergleich zum deutschen Referenzklima nach EnEV 2009 (Standort Würzburg) fast durchgehend nach oben ab. Ausschließlich im Monat August liegt eine geringfügige Unterschreitung der Temperatur des Referenzklimas vor. Im Jahresmittel beträgt die Abweichung $\sim +2^{\circ}\text{C}$.

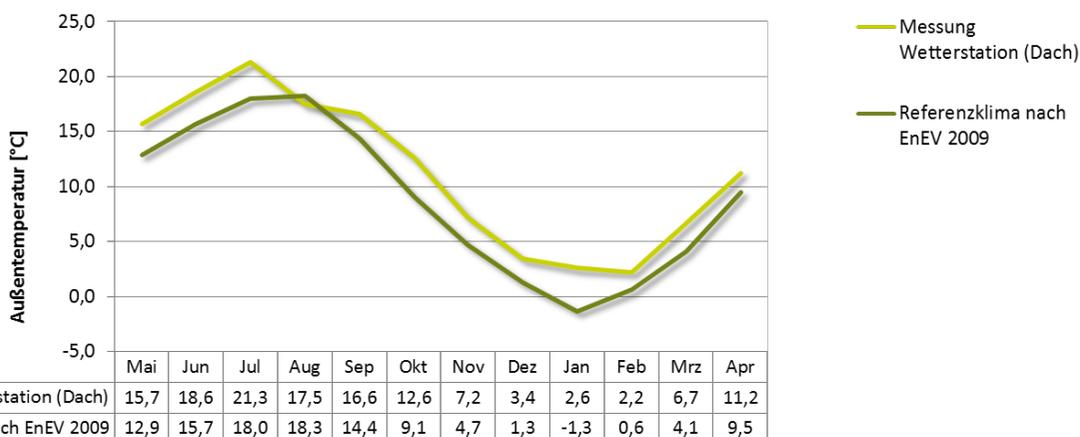


Abb. 30 Vergleich der 2014-2015 gemessenen und der Bilanz zugrunde liegenden Temperatur (Referenzklima nach EnEV 2009 (Standort Würzburg)), gem. DIN 18599-1:2007, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Das zweite Monitoringjahr zeichnete sich zu Beginn mit einem im Mittel deutlich wärmeren Sommer aus. Auch die Wintermonate waren deutlich über dem Durchschnitt. Die Übergangsmonate ähnelten in Ihrer mittleren Außentemperatur dem Referenzklima. Insgesamt war es gegenüber dem Referenzklima im Jahresmittel ein um ~ 3°C wärmeres Jahr.

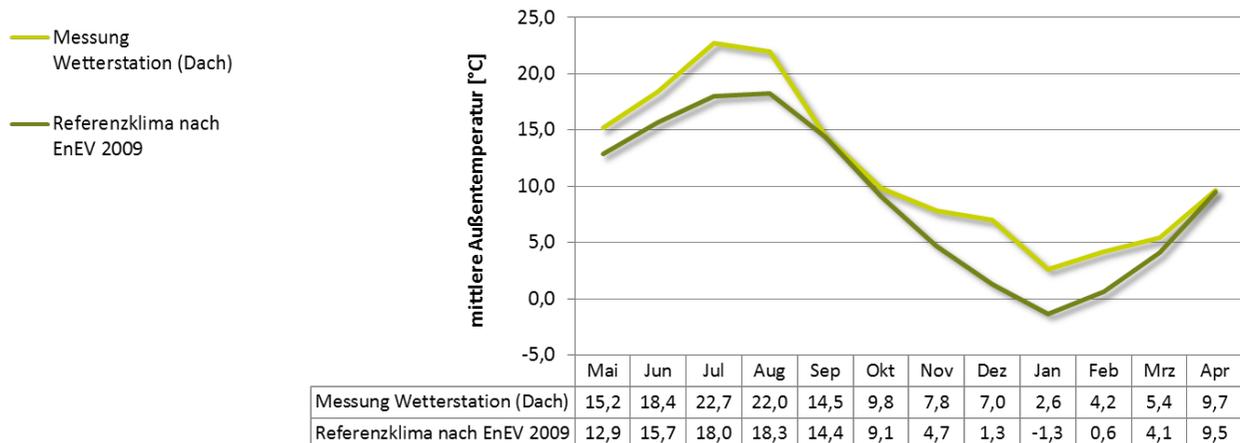


Abb. 31 Vergleich der 2015-2016 gemessenen und der Bilanz zugrunde liegenden Temperatur (Referenzklima nach EnEV 2009 (Standort Würzburg)), gem. DIN 18599-1:2007, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

5.3 Klimabereinigung

Mit den gemessenen Außentemperaturen und einer Heizgrenztemperatur von 12°C lässt sich im ersten Monitoringjahr eine Gardtagszahl von 2.690 Kd/a ermitteln. Diese liegt etwa 12 % unter der Gradtagszahl des historischen Mittels am Gebäudestandort von 3.068 Kd/a²⁴ und etwa 25 % unter der Gradtagszahl für den mittleren deutschen Standort nach EnEV 2009 (Würzburg) von 3.601 Kd/a.

Das gemessene Jahr (2014-2015) war somit wärmer als das langjährige Mittel am Gebäudestandort sowie des Referenzstandorts nach EnEV. Im Vergleich des Heizenergieverbrauchs mit der Bilanz ist der gemessene Wert daher als zu niedrig einzustufen und mit dem Klimafaktor von 1,34 in Bezug zum Referenzstandort nach EnEV zu bereinigen.

²⁴ Bezug: Messstation Frankfurt Flughafen, Datenquelle: Excel-Programm des IWU „Gradtagzahlen in Deutschland“, Quelle: www.iwu.de/downloads/fachinfos/energiebilanzen/, Stand 06.2015

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Bad Homburg in der Messperiode von Mai 2014 bis April 2015	2.690
Gradtagzahl am Standort Bad Homburg (Messstation FFM Flughafen) für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	3.068
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland (Würzburg)	3.601 ²⁵

Im zweiten Monitoringjahr (2015-2016) lässt sich mit den gemessenen Außentemperaturen und einer Heizgrenztemperatur von 12°C eine Gardtagszahl von 2.342 Kd/a ermitteln. Diese liegt etwa 24 % unter der Gradtagszahl des historischen Mittels am Gebäudestandort und etwa 35 % unter der Gradtagszahl für den mittleren deutschen Standort.

Auch das zweite Messjahr (2015-2016) war somit deutlich wärmer. Im Vergleich des Heizenergieverbrauchs mit der Bilanz ist der gemessene Wert daher als zu niedrig einzustufen und mit dem Klimafaktor von 1,54 in Bezug zum Referenzstandort nach EnEV zu bereinigen.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Bad Homburg in der Messperiode von Mai 2015 bis April 2016	2.343
Gradtagzahl am Standort Bad Homburg (Messstation FFM Flughafen) für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	3.068
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland (Würzburg)	3.601 ²⁶

Klimafaktor bezogen auf den Standort:

$$KF = 3.068 \text{ Kd} / 2.690 \text{ Kd} = \underline{1,14}$$

Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:

$$KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.690 \text{ Kd} = \underline{1,34}$$

Klimafaktor bezogen auf den Standort:

$$KF = 3.068 \text{ Kd} / 2.342 \text{ Kd} = \underline{1,31}$$

Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:

$$KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.342 \text{ Kd} = \underline{1,54}$$

²⁵ Gem. Angabe des Fraunhofer IBP

²⁶ Gem. Angabe des Fraunhofer IBP

6. Messergebnisse

6.1 Stromgewinnung

Im ersten Monitoringjahr konnte über die PV-Anlage ein Stromertrag von ~7.104 kWh erzielt werden. Im Vergleich zu dem prognostizierten Ertrag von 9.426 kWh ergibt sich eine Unterschreitung von ~25 % (s. Abb.30).

Abweichung von 2014-2015 gemessenem zu prognostiziertem PV-Ertrag	
Mai	-22 %
Jun	-11 %
Jul	-26 %
Aug	-29 %
Sep	-37 %
Okt	-49 %
Nov	-67 %
Dez	-70 %
Jan	-63 %
Feb	-47 %
Mrz	-6 %
Apr	+19 %
Mittel	-25%

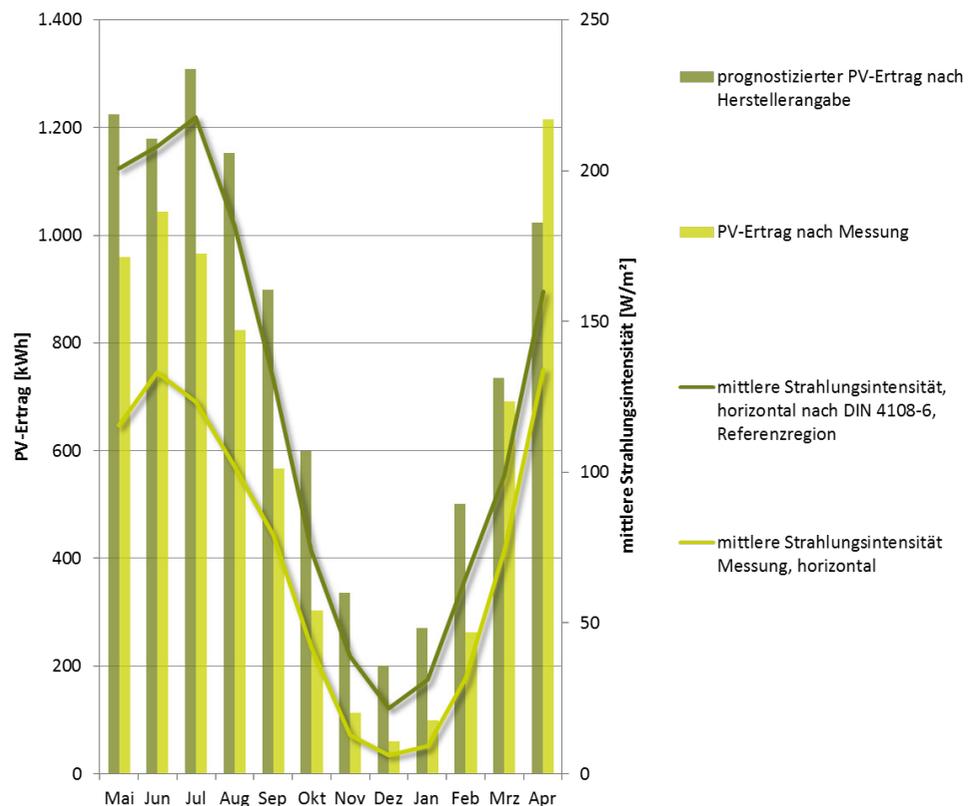


Abb. 32 Prognostizierte und von Mai 2014 – April 2015 gemessene Stromerträge im Vergleich zur Globalstrahlung nach DIN 4108-6, der Referenzregion 12 (Berechnungsgrundlage), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Die Abweichung des gemessenen vom prognostizierten PV-Ertrag kann mit der zuvor beschriebenen Unterschreitung des Globalstrahlungswertes der DIN 4108-6 bzw. des historischen Mittel am Gebäudestandort einhergehen. Wie beschrieben konnte dieser Sachverhalt aufgrund der Unstimmigkeiten der Globalstrahlungsmessung jedoch nicht abschließend geklärt werden.

Gesichert kann jedoch festgestellt werden, dass die beschriebene Verschattung über den Baumbestand zu einem geringeren Ertrag gegenüber dem berechneten Wert geführt hat. Diese ist in der Ertragsberechnung gem. Fachplanerangabe nicht enthalten.

In den Sommermonaten wurde die PV-Anlage in den späten Abendstunden über die Birke des nord-westlichen Nachbarn partiell verschattet (s. Abb.33 und 34). In den Wintermonaten sorgte der Baumbestand des gegenüberliegenden Bahndamms in den späten Abendstunden für eine Verschattung der unteren Module. Dies bestätigt auch die prozentuale Ertragsabweichung des gemessenen gegenüber dem prognostizierten Wert, deren Anstieg etwa dem Höhenwinkel der Sonne folgt (s. Abb. 34 und Tabelle, Abb.35).

So nimmt die prozentuale Abweichung des Ertrags mit länger werdendem Sonnenverlauf (hinter die Birke des nord-westlichen Nachbarn) in den Sommermonaten verschattungsbedingt zu. Ende August wurde die Birke des nord-westlichen Nachbarn gekappt (s. Abb.26).

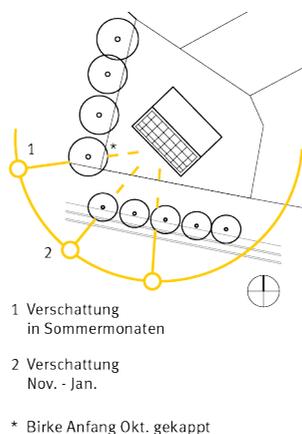
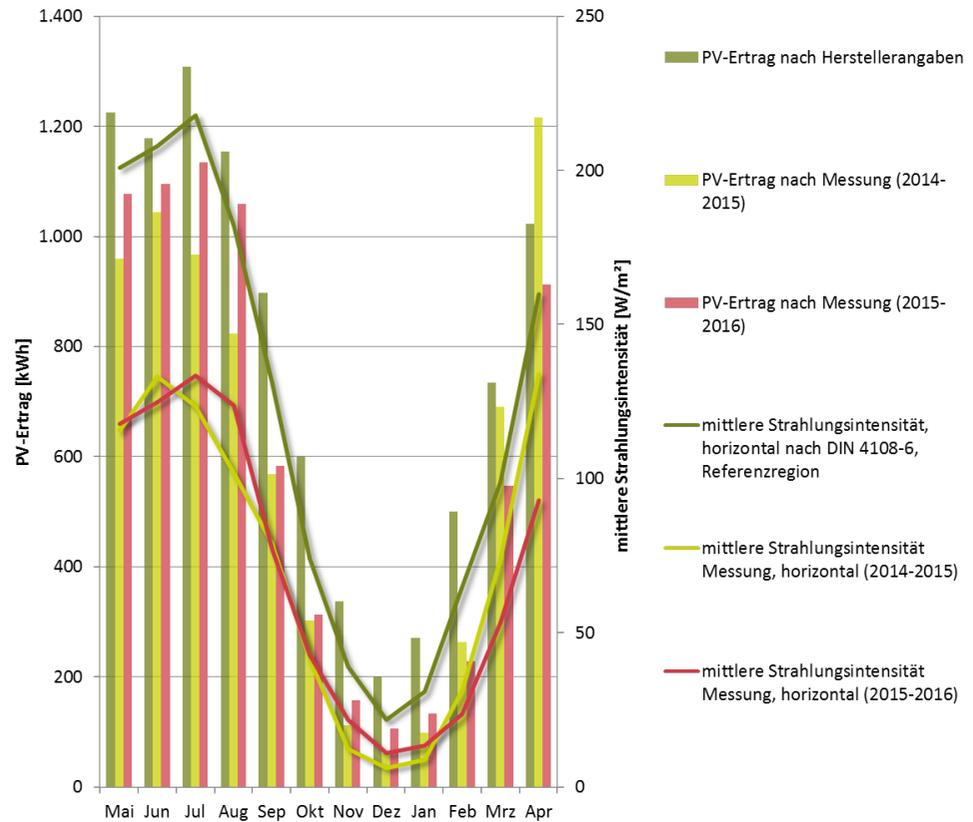


Abb. 33 Beispiel der PV-Verschattung am 06.Aug.2014, 18:03 Uhr, Quelle: S. Klawitter
 Abb. 34 Baumbestand am Grundstück als Ursache für Verschattungen der PV-Fläche und Wetterstation, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

In den Wintermonaten des Jahres 2015 wurde die Dachfläche weiterhin aufgrund der tiefstehenden Sonne über die Bäume des gegenüberliegenden Baumbestandes verschattet. Da dort der Baumbestand im Zuge einer Baumaßnahme am Bahndamm gefällt werden soll, wird die Verschattung zunächst geduldet. Diese Maßnahme erfolgt nicht im Zeitraum des Monitorings. Da die Wintermonate jedoch im Verhältnis den geringsten Ertrag liefern, ist der Einfluss auf die Gesamtbilanz gegenüber der Verschattung im August als gering einzuschätzen.



	PV-Ertrag (prognostizierter Wert)	PV-Ertrag nach Messung (2014-2015)	PV-Ertrag nach Messung (2015-2016)	Vergleich der Messung (2014-2015) zur Prognose	Vergleich der Messung (2015-2016) zur Prognose	Vergleich der Messung (2014-2015) zu (2015-2016)	mittlere Strahlungsintensität Messung, horizontal (2014-2015)	mittlere Strahlungsintensität Messung, horizontal (2015-2016)	Vergleich der Messung (2014-2015) zu (2015-2016)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]	[%]	[W/m²]	[W/m²]	[%]
Mai	1.224	959	1.076	-22	12	12	116	118	2
Jun	1.179	1.044	1.096	-11	-7	5	133	125	-6
Jul	1.308	966	1.134	-26	-13	17	124	133	8
Aug	1.154	823	1.058	-29	-8	29	102	124	21
Sep	898	567	583	-37	-35	3	79	77	-3
Okt	599	303	312	-49	-48	3	42	43	2
Nov	337	112	157	-67	-53	40	13	22	71
Dez	200	60	106	-70	-47	75	6	11	73
Jan	270	99	133	-63	-51	34	9	13	46
Feb	501	263	228	-47	-55	-14	32	23	-26
Mrz	735	691	547	-6	-26	-21	74	53	-28
Apr	1.023	1.216	913	19	-11	-25	134	93	-31
Summe	9.426	7.104	7.342						
Mittelwert				-34	-28	13	72	70	11

Abb. 35 Prognostizierte und von Mai 2014 – April 2015 sowie von Mai 2015 – April 2016 gemessene Stromerträge im Vergleich zur Globalstrahlung nach DIN 4108-6, der Referenzregion 12 (Berechnungsgrundlage) sowie zur gemessenen Globalstrahlung, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr wurde ein Stromertrag von 7.342 kWh erzielt. Im Vergleich zu dem prognostizierten Ertrag von 9.426 kWh ergibt sich eine Unterschreitung von ~22 %. Die Unterschreitung ist aufgrund der

Messunsicherheiten nicht abschließend mit einer geringeren Globalstrahlung zu begründen.

Es lässt sich jedoch annehmen, dass die Verschattung durch die Bäume am Bahndamm wieder zu einer Ertragsminderung beitrug. Zudem stellte der Bauherr fest, dass durch Pollen des umliegenden Baumbestandes (Ahorn) sich eine klebrige Schicht auf den Modulen bildete und sie somit dauerhaft verschmutzte.

Im Vergleich zu den Monatserträgen des ersten Monitoringjahres zeigt sich im zweiten Jahr in den Monaten Mai bis August ein deutlich höherer Ertrag (s. Abb.35 hellgrün vs. rot). Auch in den Folgemonaten bis Januar 2016 ist ein höherer Ertrag zu verzeichnen. In den Monaten Februar bis April fällt der Ertrag hinter dem des Vorjahres zurück. Insgesamt wurde im zweiten Monitoringjahr ein um ~238 kWh höherer Ertrag erzielt (+3,4 %).

Zum Teil korrespondiert dies mit dem Verlauf der Globalstrahlungsmessung. Auch im Abgleich beider Messjahre wird deutlich, dass in den Monaten Juli und August sowie November und Dezember höhere Globalstrahlung und höherer Ertrag einhergehen. In den Monaten Februar bis April 2016 liegt hingegen im Vergleich zum Vorjahr eine geringe Strahlungsintensität vor.

Auf die Wirkung des Baumschnitts lässt sich in dem Vergleich der Monitoringjahre nicht eindeutig schließen. Da es sich bei den Monaten Juli und August 2015 um sehr sonnenreiche Monate handelt, kann anhand des Ertragsvergleichs dieser beiden Monate mit denen des Vorjahres nicht allein auf die Wirkung des Baumschnitts geschlossen werden. Jedoch lässt sich vermuten, dass auch die Minderung der Verschattung in den Sommermonaten sowohl bei der Globalstrahlung als auch für den PV-Ertrag zu einer Erhöhung beitrug.

Die Ursache der Abweichung des gemessenen vom prognostizierten PV-Ertrag kann zudem durch die der Bilanz zugrunde gelegte Herstellerangabe bedingt sein, bei der dem durch die PV-Bilanzsoftware (PVSol) ermittelten Ertrag nochmals ein Aufschlag von 7 % berücksichtigt wurde. Gemäß PVSol wurden 940 kWh/kWp PV-Ertrag prognostiziert. Der Performance Ratio (PR) war bereits bei dieser Ertragsangabe für eine dachintegrierte Anlage mit 87,6 % eher zu optimistisch angesetzt. Zudem war die gegebene Verschattung bei Erstellung der Prognose noch nicht bekannt. Gemäß Herstellerangabe wird durch PVSol ein ~10 %iger Sicherheitsabschlag berücksichtigt. Weiterhin sei es bei Sunpower-Modulen nachweisbar und empirisch belegt, dass Sie einen 7 %igen Mehrertrag gegenüber einem „Top-Modul“ liefern. Daher wurde seitens des Herstellers anstelle des „konservativen“ spezifischen Jahresertrags von 940 kWh/kWp ein Wert von 1.005 kWh/kWp angesetzt.

Demgegenüber erwirtschaftete die Anlage im ersten Monitoringjahr einen Ertrag von ~757 kWh/kWp und im zweiten Monitoringjahr von ~783 kWh/kWp. Damit



zeigt das Ergebnis des Monitoring, dass der gemessene Wert weit hinter der Prognose zurück bleibt.

Grundlegend kann festgestellt werden, dass u.a. aufgrund der gegebenen Bedingungen vor Ort (wie Teilverschattung und voraussichtlich eine mäßige Hinterlüftung durch Dachintegration), die in der Herstellerangabe keine entsprechende Berücksichtigung fanden, der tatsächliche Ertrag die Prognose unterschreitet. Bei einer Anlage mit einer Süd-West-Orientierung und einer Dachneigung von 45° ist grundlegend ein höherer spezifischer Ertrag von mindestens 850 kWh/kWp zu erwarten.

Um einen technischen Defekt der Anlage auszuschließen ist ferner eine Untersuchung mit einer Wärmebildaufnahme zu empfehlen.

6.2 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch des „Pro-Klima-Hauses“ setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen, die gem. Effizienzhaus Plus-Standard bei der Bilanz zu berücksichtigen sind:

- Stromverbrauch für den Hausbetrieb (Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie, Lüftung, Licht, Haushalt- und Elektrogeräte),
- Stromverbrauch für projektspezifische Geräte (Monitoringtechnik, wie Sensoren, Wärmemengenzähler, Strommessgeräte).

6.2.1 Stromverbrauch für den Hausbetrieb im 1. Monitoringjahr

Für das erste Monitoringjahr wurden folgende Energieverbräuche für die einzelnen Dienstleistungen registriert (s. Abb.36):

- 2.710 kWh für Heizwärme- und Trinkwarmwasserbereitstellung über die Wärmepumpe inkl. Heizstab (41 % des Stromverbrauchs),
- 481 kWh für Hilfsenergie (Pumpen) der Anlagentechnik für Trinkwarmwasser und Heizung (7 %),
- 346kWh für Hilfsenergie für Lüftung und Sole WT (5 %),
- 283 kWh für Beleuchtung (4 %),
- 380 kWh für Kochen (E-Herd + Backofen) (6 %),
- 2.341 kWh für sonstige Haushalts- und Elektrogeräte (Spülmaschine, Waschmaschine, Kühlschrank und restlichen Verbraucher) (35 %).

In Summe beträgt der Stromverbrauch für den Hausbetrieb damit 6.541 kWh.

Hinzu kommt der projektspezifische Stromverbrauch von:

- 134 kWh für Messtechnik des Monitorings (2 %).

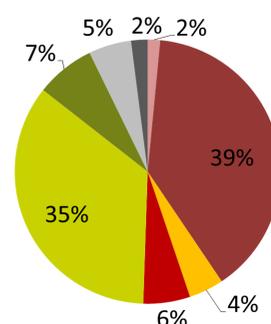
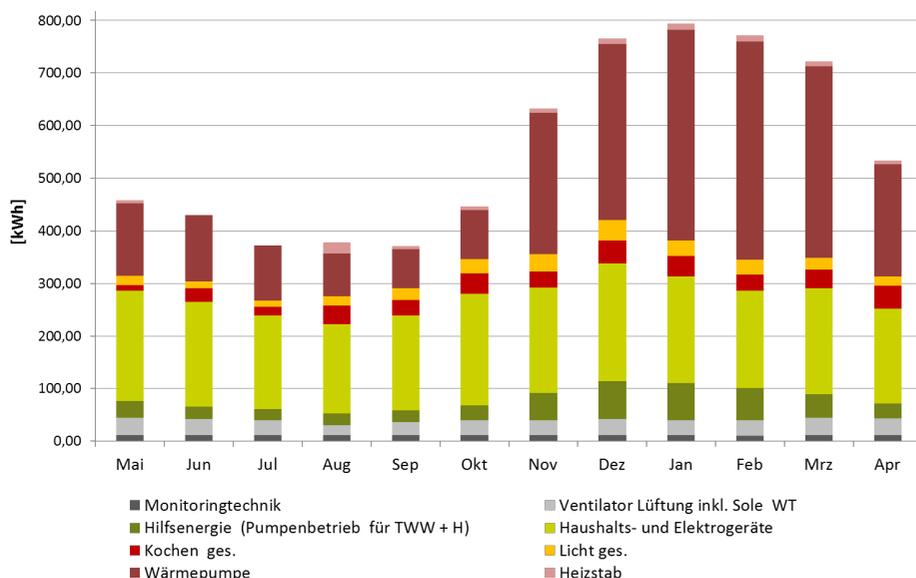


Abb. 36 Messung des gesamten Stromverbrauchs im Hausbetrieb von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft

6.2.2 Stromverbrauch für den Hausbetrieb im 2. Monitoringjahr

Für das zweite Monitoringjahr wurden folgende Energieverbräuche für die einzelnen Dienstleistungen registriert (s. Abb.37):

- 4.248 kWh für Heizwärme- und Trinkwarmwasserbereitstellung über die Wärmepumpe inkl. Heizstab (53 % des Stromverbrauchs),
- 316 kWh für Hilfsenergie (Pumpen) der Anlagentechnik für Trinkwarmwasser und Heizung (4 %),
- 381 kWh für Hilfsenergie für Lüftung und Sole WT (5 %),
- 270 kWh für Beleuchtung (3 %),
- 403 kWh für Kochen (E-Herd + Backofen) (5 %),
- 2.280 kWh für sonstige Haushalts- und Elektrogeräte (Spülmaschine, Waschmaschine, Kühlschrank und restlichen Verbraucher) (28 %).

In Summe beträgt der Stromverbrauch für den Hausbetrieb damit 7.898 kWh. Den nachwievor größten Anteil besitzt die Wärmepumpe inkl. Heizstab.

Hinzu kommt der projektspezifische Stromverbrauch von:

- 136 kWh für Messtechnik des Monitorings (2 %).

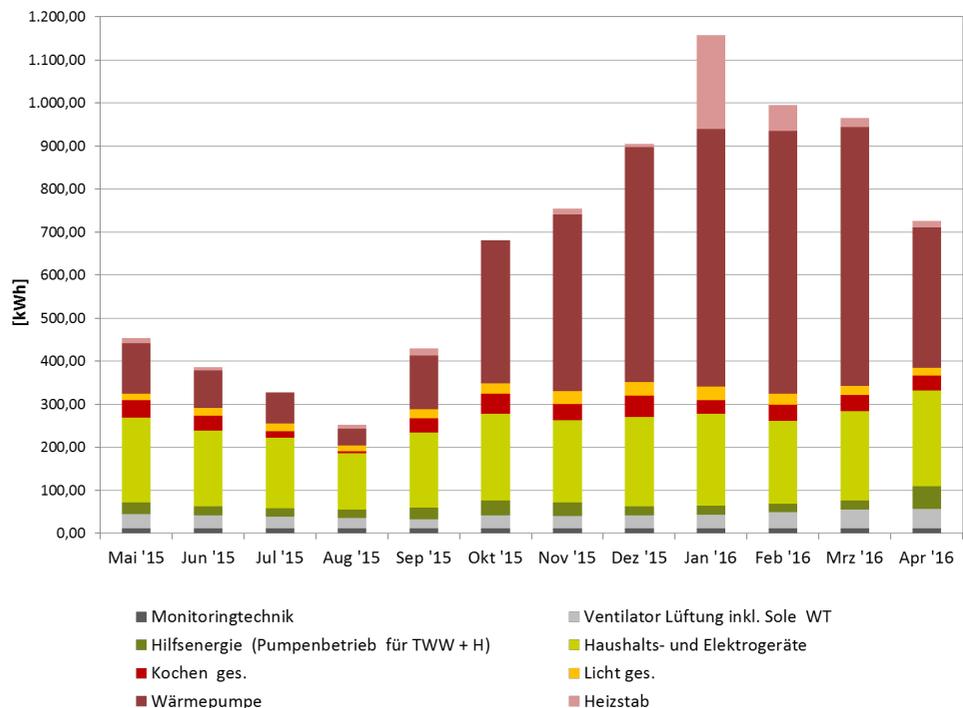
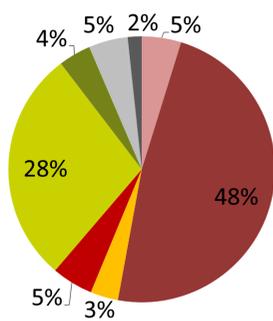


Abb. 37 Messung des gesamten Stromverbrauchs im Hausbetrieb von Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft

6.2.3 Vergleich des ersten mit dem zweiten Monitoringjahr

Im Vergleich zum ersten Monitoringjahr wurde im zweiten Jahr 1.357 kWh mehr Strom verbraucht (+21 %). Diese Verbrauchssteigerung ist vor allem durch den höheren Wärmepumpen- und Heizstabbetrieb aufgrund des Wegfalls des Kamins im zweiten Monitoringjahr zu begründen. Dies wurde vorgenommen, um u.a. die Effizienz der Wärmepumpe besser zu bewerten (s. Kap.6.4). Um den Stromverbrauch der Wärmepumpe und des Heizstabs besser miteinander vergleichen zu können, wird der Strombedarf für Heizwärme des zweiten Monitoringjahres ggü. dem ersten witterungsbereinigt.²⁷ Bereinigt beträgt der Stromverbrauch der Wärmepumpe inkl. Heizstab 4.675 kWh. Damit wurden im Vergleich zum Vorjahr (mit 2.710 kWh für Wärmepumpe inkl. Heizstab) ~73 % mehr Strom für Heizung und Trinkwarmwasser aufgewandt. Diese Erhöhung ist allein dem zusätzlichen Wärmepumpen- und Heizstabbetrieb zuzuweisen.

Stromverbrauch		Wärmepumpe	Heizstab	Hilfsenergie TWW u. Heizung	Hilfsenergie Lüftung	Beleuchtung	Kochen	Haushalt- und Elektrogeräte	Monitoringtechnik	Gesamtstromverbrauch (ohne Monitoringtechnik)
Messjahr 2014-2015	[kWh]	2.608	101	481	346	283	380	2341	134	6.541
Messjahr 2015-2016	[kWh]	3.864	383	316	381	270	403	2.280	136	7.898
Messjahr 2015-2016 (witterungsber.)*	[kWh]	4.675		316**	381	270	403	2.280	136	8.009
Abweichung des 2. zum 1. Messjahr (witterungsber.)*	[%]	73		-34	10	-5	6	-3	1	22

* Witterungsbereinigung mit dem Klimafaktor 1,15 (in Verhältnis zum Vorjahr 2014-2015)

** Da aus diesem Wert der Pumpenstrom für den Heizkreis nicht separiert werden kann, ist dieser Wert nicht witterungsbereinigt.

Abb. 38 Stromverbrauchvergleich des Monitoringjahres 2014-2015 zu 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

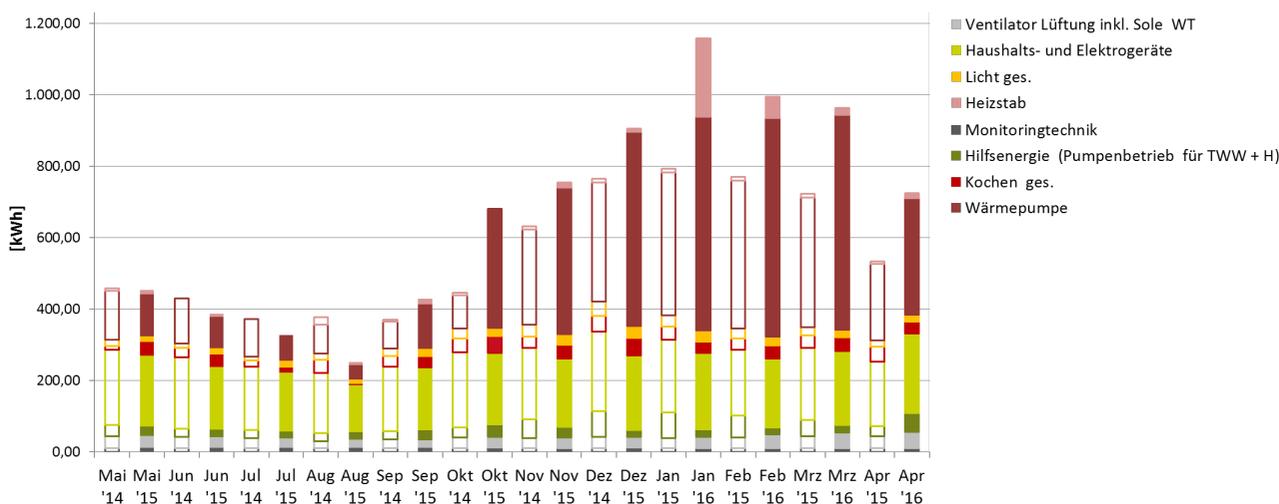


Abb. 39 Messung des gesamten Stromverbrauchs im Hausbetrieb von Mai 2014 – April 2015 im Vergleich zu Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft

²⁷ Klimafaktor $KF = 2690 \text{ Kd} / 2342 \text{ Kd} = 1,15$ (Witterungsbereinigung des Messjahres 2015-2016 im Verhältnis zum Messjahr 2014-2015)

Der Hilfsstrombedarf für den Pumpenstrom hat sich hingegen um 165 kWh (~34 %) verringert, was u.a. mit dem Wegfall des Pumpenstroms für die Umwälzpumpe des Kamins zu begründen ist. Eine Witterungsreinigung des Pumpenstroms für den Heizkreis ist an dieser Stelle nicht möglich, da der Strombedarf von dem der Zirkulationspumpe nicht separiert werden kann.

Auch der Hilfsstrombedarf für die Lüftung hat sich um 35 kWh (~10 %) erhöht. Dies ist u.a. damit zu begründen, dass Anfang Februar 2016 der Volumenstrom aufgrund hoher CO₂-Werte im Innenraum angehoben wurde. Die nutzerspezifischen Verbräuche für Kochen, Haushaltsführung und Beleuchtung sind auf geringem Niveau weitgehend konstant.

Im Vergleich zum Vorjahr wurde vor allem im Monat August 2015 deutlich weniger Strom verbraucht. Es ist ersichtlich, dass u.a. die Wärmepumpe weniger betrieben, die Küche deutlich weniger genutzt und das Licht weniger betätigt wurde (s. Abb.39). Dies ist mit einer urlaubsbedingten zehntägigen Abwesenheit aller Bewohner und einer achtzehntägigen Anwesenheit von nur einem Bewohner zu begründen (s. Abb.40). Auf den Verbrauch in der Abwesenheit der Nutzer in der Urlaubszeit wird in dem Kapitel 6.2.6 nochmals genauer eingegangen.

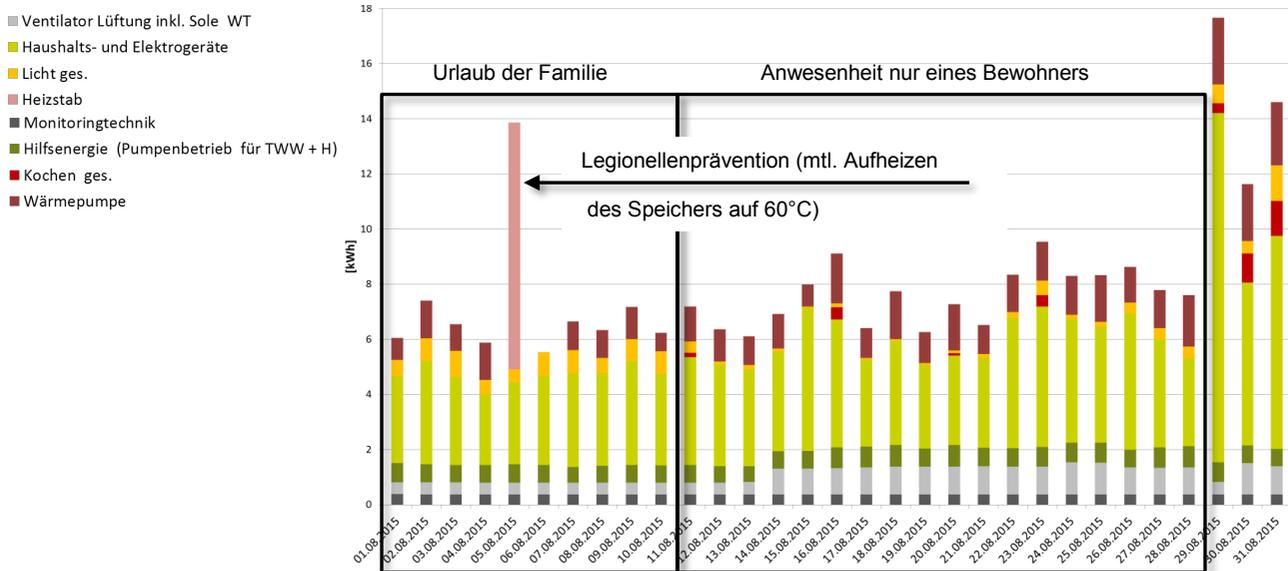


Abb. 40 Gesamtstromverbrauch des Monat August 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

6.2.4 Haushaltsstromverbrauch im 1. Monitoringjahr

Im Vergleich zum bilanziellen Ansatz von 2.500 kWh/a für den Haushaltsstrom inkl. Beleuchtung weist der gemessene Wert mit ~3.004 kWh/a eine Überschreitung des prognostizierten Werts um ~17 % auf.

Gemäß Bilanz nach Effizienzhaus Plus werden für den Haushaltsstrombedarf (inkl. Beleuchtung) 20 kWh/(m²a) in Ansatz gebracht, jedoch maximal 2.500 kWh/a je Wohneinheit. Damit beziehen sich die pauschalen m²-Angaben auf eine Wohneinheit von max. 125 m². Aufgrund einer Energiebezugsfläche von 304 m² wurde die Begrenzung auf 2.500 kWh/a angewandt.

Der Haushaltsstrombedarf für "Kochen" beträgt bilanziell gem. Effizienzhaus Plus 3 kWh/(m²a), für einen 125 m²-Haushalt sind dies 375 kWh/a. Gemessen wurden 380 kWh/a. Der gemessene Wert beinhaltet die Energie für einen Herd der Effizienzklasse A mit 193 kWh/a (bei durchschnittlich 1 – 2 Nutzungen pro Tag) und eines Backofens der Effizienzklasse A+ mit einem Verbrauch von 187 kWh/a. Der Gasverbrauch für das Kochen ist in den Bilanzwerten nicht enthalten, dieser ist jedoch mit 8,53 kWh²⁸ vernachlässigbar gering.

Der Verbrauch für Beleuchtung von 283 kWh/a unterschreitet den bilanzierten Bedarf von ~375 kWh/a um ~25 %, was mit dem Einsatz effizienter LED-Beleuchtung zu begründen ist.

Für Haushaltsgeräte bringt der Effizienzhaus Plus-Standard bilanziell 10 kWh/(m²a) zum Ansatz. Bezogen auf 125 m² sind dies 1.250 kWh/a. Gemessen wurden für Kühlschrank (A+++, ~108 kWh/a), Waschmaschine (A+++, ~162 kWh/a) und Spülmaschine (A++, ~201 kWh/a) ein Verbrauch von insgesamt ~472 kWh/a. In dem Pauschalwert der Bilanz ist ein Wäschetrockner enthalten, der im gemessenen Haushalt nicht vorliegt. Ein Wäschetrockner würde ca. 160 kWh/a²⁹ (A+++) bis 240 kWh/a³⁰ (A++) verbrauchen, was die Differenz nicht ausgleicht. Damit liegt mit den A+++-Geräten ein effizienter Einsatz der Haushaltsgeräte vor.

Der restliche Strombedarf von 1.878 kWh ist den übrigen Geräten und Leuchtmitteln (an Steckdosen) im Haushalt zuzuweisen. Davon wird eine Steckdose im Wohnzimmer (Stereoanlage und Telefon, 15 kWh/a), wie auch in der Küche (Wasserkocher, Mikrowelle, Kaffeemaschine und Küchenmaschine, 195 kWh/a) separat erfasst. Das bedeutet, dass die gemessenen Geräte in der

²⁸ Umrechnungsfaktor für Brennwert: 13,98 kWh/kg Propangas, http://www.wpg-energie.de/media/filebase/files/fluessiggas/physikalische_daten.pdf (06. 2015)

²⁹ Bezogen auf 160 Trockengänge pro Jahr mit Voll- und Teilbeladung, Quelle: Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V. (Hrs.), „Stromsparen im Haushalt“, 11.2013

³⁰ Bezogen auf 3 Anwendungen pro Woche, Quelle: M. Hegger et al., „Aktiv-Stadthaus Entwicklungsgrundlage für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 und zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main“, 2014

Küche ca. einen Verbrauch einer A++-Spülmaschine aufweisen. Dies ist mit schlechteren Geräteeffizienzklassen zu begründen. So handelt es sich beispielsweise bei der Mikrowelle um ein Altgerät. Der restliche Bedarf von 1.668 kWh ist nicht separat erfasst und bedingt sich über die Nutzung im Haushalt (Staubsauger, Rechner, Föhn, Standby-Verluste etc.) (s. Abb.41, hellgrauer Balken). Zudem ist in dem Reststrombedarf ein Hauswasserwerk enthalten, dass die Toilettenspülung und die Gartenbewässerung über eine Regenwasserzisterne versorgt. Dessen Verbrauch wurde überschlägig mit ~60 kWh/a ermittelt, ~4 % des restlichen Strombedarfs.

Der Effizienzhaus Plus-Standard rechnet überschlägig mit 4 kWh/(m²a) für sonstige Geräte. In Bezug auf 125 m² wären dies maximal 500 kWh/a. Gegenüber dem Messwert liegt hier eine deutliche Überschreitung von 275 % vor.

Damit ist die Abweichung des Gesamtstromverbrauchs für den Haushalt (~3.004 kWh/a) gegenüber dem bilanziellen Ansatz (2.500 kWh/a) vor allem mit dem höheren sonstigen Stromverbrauch zu begründen. Dieser macht 63 % des gesamten Haushaltsstromes aus (s. Abb.41). Die geringeren Verbräuche im Bereich der Haushaltsgeräte (Spülmaschine, Waschmaschine, Kühlschrank) kompensieren den Mehrverbrauch weitgehend, so dass der bilanzielle Ansatz angesichts der Größe des Gebäudes nahezu passt.

Eine Gegenüberstellung der Messwerte zu den Bilanzangaben des Effizienzhaus Plus sowie die einzelnen prozentualen Anteile der Verbraucher am Gesamthaushaltsstromverbrauch können der Anlage 12.1.7 zum Endbericht entnommen werden.

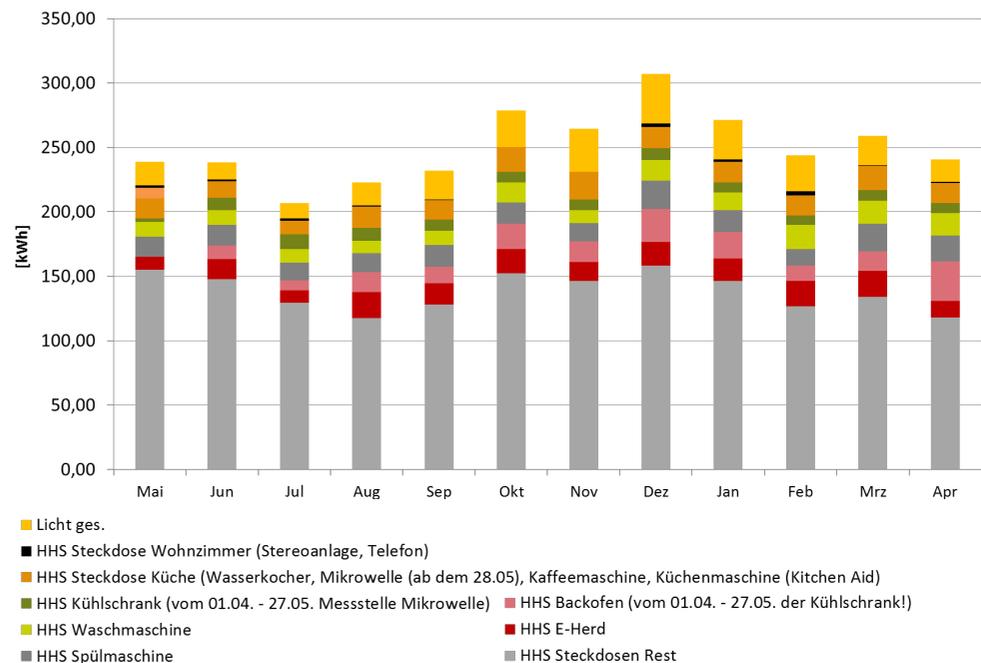


Abb. 41 Stromverbrauchsmessung der einzelnen Verbraucher des Haushaltstrombedarfs von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft

6.2.5 Haushaltsstromverbrauch im 2. Monitoringjahr

Im zweiten Monitoringjahr entspricht der Verbrauch des Haushaltsstroms inkl. Beleuchtung annähernd dem des Vorjahres (s. Abb.42). Insgesamt wurden 2.953 kWh/a verbraucht. Damit wurde der Vorjahresverbrauch von ~3.004 kWh/a um ~ 2 % unterschritten. Die Einsparungen beruhen hauptsächlich auf der Beleuchtung und dem Verbrauch der Haushaltsgeräte (s. Anlage 12.1.7). Vor allem im Monat August konnte stark an Haushaltsstrom eingespart werden, das mit dem dort stattfindenden Urlaub zu begründen ist.

Der Vergleich zu den Bilanzangaben des Effizienzhaus Plus können der Anlage 12.1.7 entnommen werden. Die prozentualen Unterschiede haben sich, wie im ersten Monitoringjahr beschrieben, wieder ähnlich eingestellt.

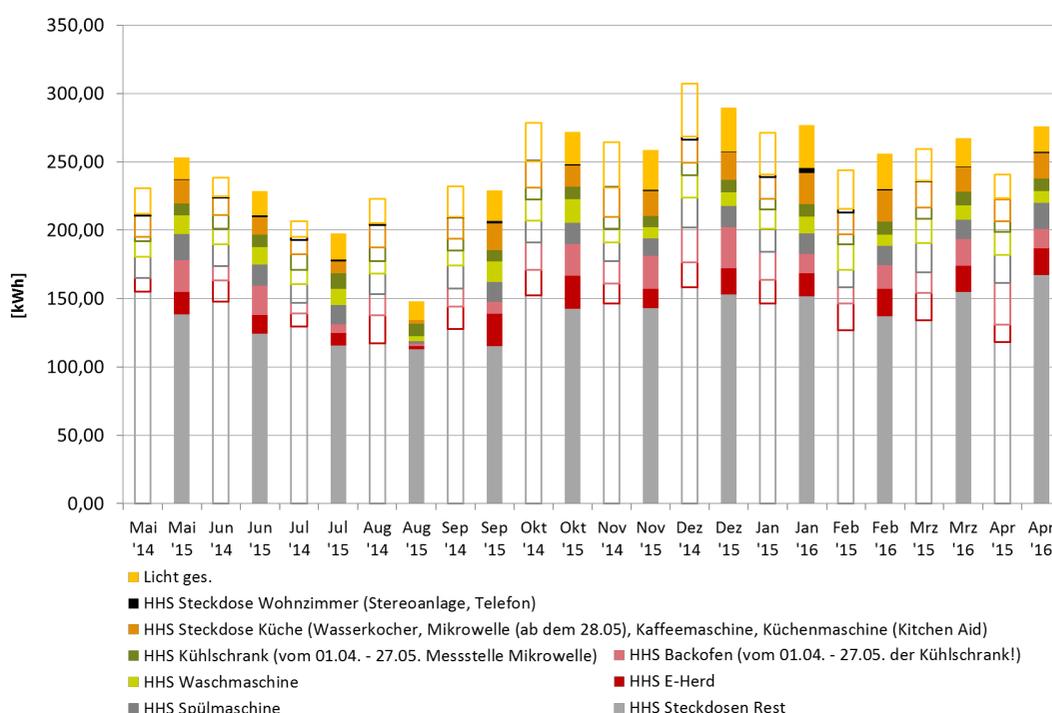


Abb. 42 Stromverbrauchsmessung der einzelnen Verbraucher des Haushaltstrombedarfs inkl. Beleuchtung vom Messjahr 2014-2015 im Vergleich zum Messjahr 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft

6.2.6 Analyse des Stromverbrauchs bei Abwesenheit

Die Betrachtung der Stromverbrauchsmessung in der Urlaubszeit vom 27.07. bis 11.08.2015 (s. Abb. 44-46, Monat Juli) bot die Möglichkeit, den hohen „Reststromverbrauch“ des Haushaltsstroms genauer zu analysieren. Die Analyse zeigt, dass der Stromverbrauch der Monitoringtechnik konstant blieb. Der Stromverbrauch der Beleuchtung war aufgrund einer vorhandenen Automation in der Urlaubszeit ebenfalls nahezu konstant. Im Vergleich zum

Durchschnittsverbrauch des Monat Juli stieg dieser sogar leicht (+11 %) an (s. Abb.43). Auch der Hilfsstrombedarf für die Zirkulationspumpe stieg mit ca. 14 % leicht an, da keine Zapfungen für einen Austausch in den Warmwasserleitungen sorgen. Der Hilfsstrombedarf für die Lüftung wurde durch eine niedrigere Betriebsstufe um ~54 % gesenkt.

Die Wärmepumpe hat weiterhin den TWW-Speicher auf 45 - 50 °C gehalten (s. Abb.46). Aufgrund der ausgebliebenen TWW-Zapfungen war der WP-Betrieb (Wärmemengenbereitstellung) in der Urlaubszeit jedoch um ca. 50 % geringer (s. Abb.46) und deren Stromverbrauch um 40 % gesunken. Die Wärmepumpe kann auf einen Urlaubsbetrieb eingestellt werden. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass der TWW-Speicher nach der Urlaubszeit bzgl. Legionellen einmal auf hohem Temperaturniveau (min. 60 °C) durchzuladen ist. Auch die Zirkulationspumpe kann in der Urlaubszeit abgeschaltet werden. Dies wurde dem Bauherrn mitgeteilt. Wird der Haushaltsstromverbrauch und separat betrachtet (s. Abb.45), so wird deutlich, dass sich der Stromverbrauch aus dem Kühlschrank, der Beleuchtung und der Messung der nicht einzeln erfasster Steckdosen zusammensetzt. Vom 27.07. - 31.07. belief sich dieser „HHS Stromverbrauch Rest“ auf ~ 2 kWh/d.

Insgesamt ist der Verbrauch für die Haushalts- und Elektrogeräte gegenüber dem Monatsmittel mit Anwesenheit um ~ 60 % gesunken, jedoch besitzt er auch bei Abwesenheit der Nutzer den größten Anteil am Gesamtstromverbrauch (~40%) (s.Abb.43). Dies ist u.a. mit Standby-Verlusten von Geräten zu begründen. Auch die automatische Kontrollfunktion der Sonnenschutzvorrichtung ist in der Urlaubszeit aktiv. Der Wärmepumpenbetrieb der 25 % am Stromverbrauch in Abwesenheit ausmacht kann wie oben beschrieben vermieden bzw. gesenkt werden.

Stromverbrauch im Monat Juli		Wärmepumpe	Heizstab	Hilfsenergie TWW u. Heizung	Hilfsenergie Lüftung	Beleuchtung	Kochen	Haushalt- und Elektrogeräte	Monitoring-technik	Stromverbrauch ges.
Mittelwert in Anwesenheit	[kWh]	2,5	0	0,6	1,0	0,6	0,7	5,9	0,4	11,5
Mittelwert in Urlaubszeit	[kWh]	1,5	0	0,7	0,4	0,7	0,0	2,3	0,4	6,0
Differenz	[kWh]	-0,9	0	0,1	-0,5	0,1	-0,7	-3,7	0	-5,5
prozentuale Abweichung	[%]	-39	0	14	-54	11	-100	-62	0	-48

Abb. 43 Vergleich des Haushaltsstromverbrauchs in An- und Abwesenheit der Bewohner, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

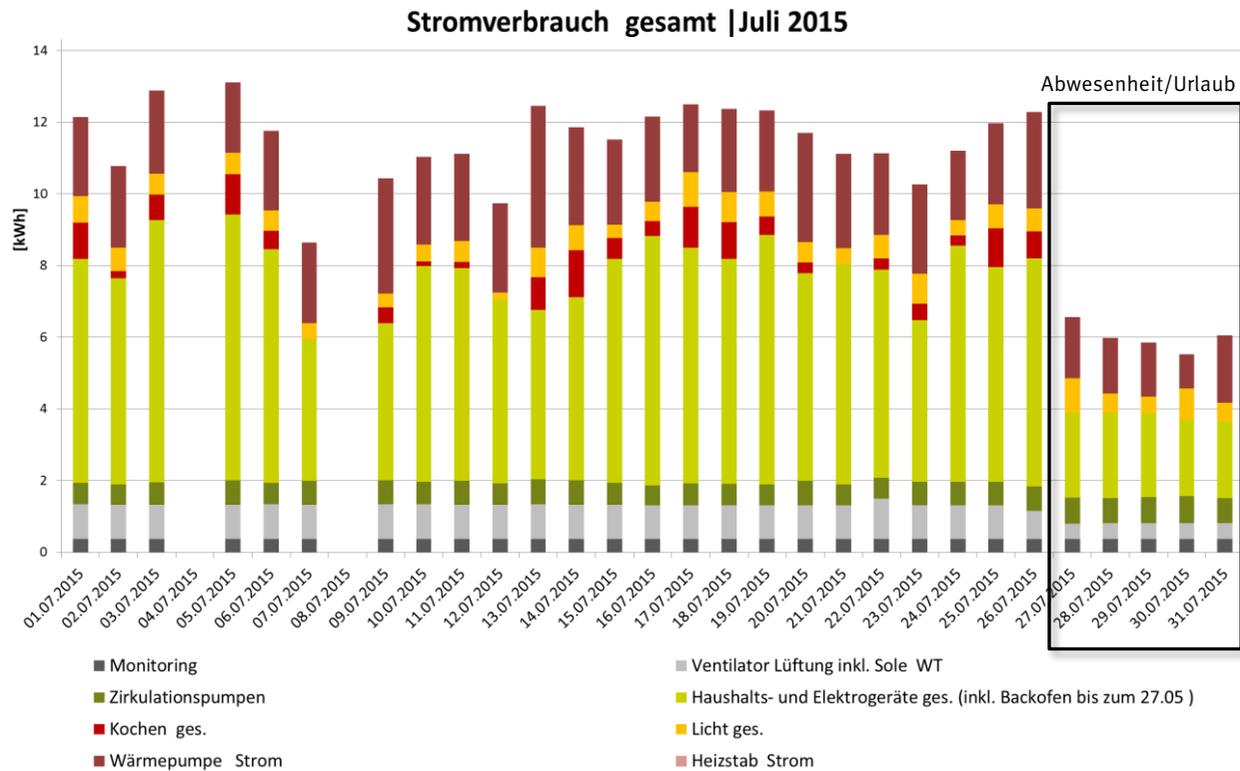


Abb. 44 Gesamtstromverbrauch des Monat Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

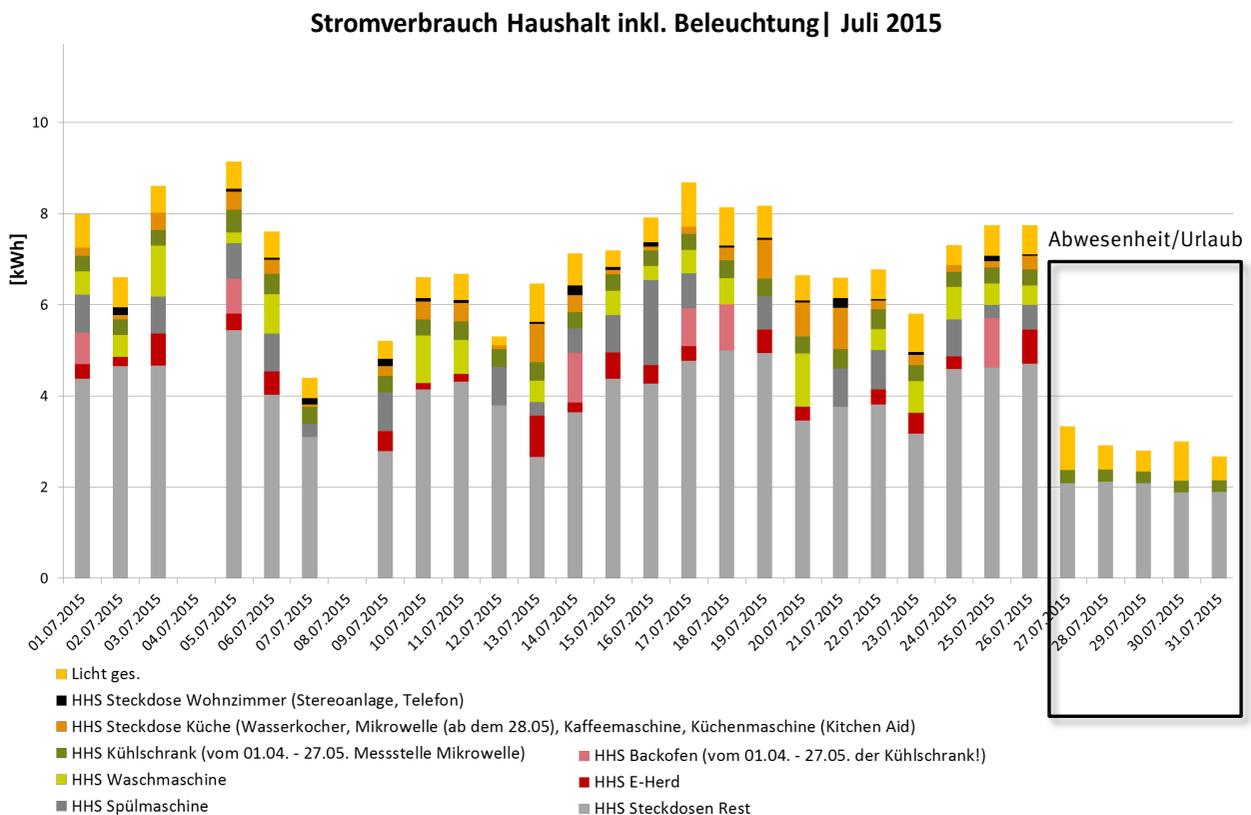


Abb. 45 Haushaltsstromverbrauch inkl. Beleuchtung des Monat Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Wärmemenge und Temperatur TWW-Speicher | Juli 2015

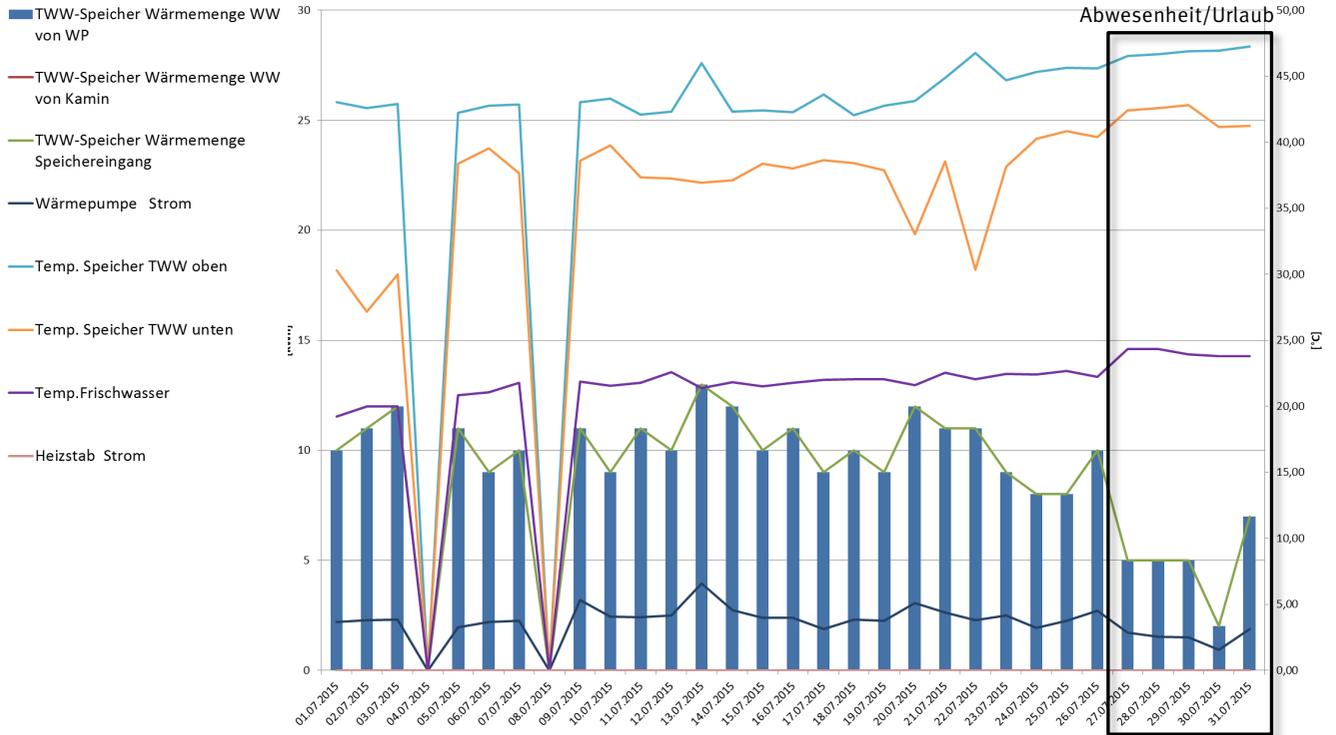


Abb. 46 Wärmemengenmessung des TWW-Speichers, Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

6.3 Biomasseverbrauch (Kamin)/ Gasverbrauch

Neben Strom werden in dem Gebäude zwei weitere Energieträger eingesetzt. Dies sind Holz, für die Heizung- und Warmwasserbereitung über den Kamin, sowie Gas zum Kochen.

Da der Kamin handbestückt wird, wird die Energiemenge über Wiegen des Holzes pro Monat erfasst und darüber der Heizwert³¹ ermittelt. Im ersten Monitoringjahr hat der Bauherr ~2.500 kg/a Holz verfeuert, was ca. einem Heizwert von ~10.063 kWh/a entspricht (s. Abb.47). In der Bilanz wurden für den Kamin endenergetisch 1.893 kWh/a (Brennwert) bestimmt.

Witterungsbereinigt³² und brennwertbezogen³³ steht diesem Bedarf ein Verbrauch von ~13.620 kWh³⁴ der Messung gegenüber. Damit wurde der bilanzierte Wert um das Siebenfache überschritten.

An dieser Stelle ist jedoch darauf zu verweisen, dass ein handbestückter Kamin bilanziell nach DIN V 18599:2007 nicht korrekt abgebildet werden kann. Zum einen wird das Heizsystem in dieser Weise nicht berücksichtigt. Es konnte also nur eine bilanzielle Näherung über die Berücksichtigung eines mit Biomasse befeuerten Kessels erfolgen. Zum anderen ist es schwierig das tatsächliche Nutzungsszenario in der Bilanz abzubilden, da ein handbestückter Kamin, unabhängig von Temperatur und Speicherladungsintervallen, u.a. aus Behaglichkeitsempfinden oder dem Wunsch des Bewohners heraus betrieben wird. In gut gedämmten und effizienten Häusern ist die zusätzliche Heizwärme (im Raum) zudem nicht immer erforderlich, sondern kann im Gegenteil noch zu Übertemperaturen beitragen. Dies führt zu einem nicht effizienten Einsatz des Brennstoffs Holz. Eine Untersuchung der Raumtemperaturen hat gezeigt, dass der Raum nicht überhitzt, jedoch auch eine zusätzliche Raumheizung nicht zwingend erforderlich war (s. dazu Kap. 6.6.3). Neben der Raumwärme wird der Kamin auch zur Speicherladung des TWW-Speichers sowie des Pufferspeichers genutzt (gem. Hersteller ca. 71 % der Wärmebereitstellung³⁵ des Kamins). Damit konnten über den Kamin 28 % der Wärme für TWW und Heizung gedeckt werden.

³¹ Zugrundeliegende Annahme für den Heizwert: 4,02 kWh/kg, Nadelholz, 20 % Feuchte, Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), "Merkblatt 12, Der Energieinhalt von Holz und seine Bewertung", Dez. 2007

³² Berechneter Klimafaktor: 1,34 (bezogen auf das dt. Normklima), gem. Kap. 5.3

³³ Umrechnungsfaktor Brennwert zu Heizwert (HS/HI): 1,08, gem. DIN V 18599-1

³⁴ Bezug der Witterungsbereinigung auf Heizwärmebereitstellung für den Raum und den Heizpufferspeicher: Bereitstellungsanteil für Raumwärme: 29 % und Speicherladung: 71 %, davon Ladung Pufferspeicher: 0,64 %.

³⁵ Mit Berücksichtigung der Erzeugerverluste: Wirkungsgrad 81 %

■ Holz für Kamin (Heizwert)

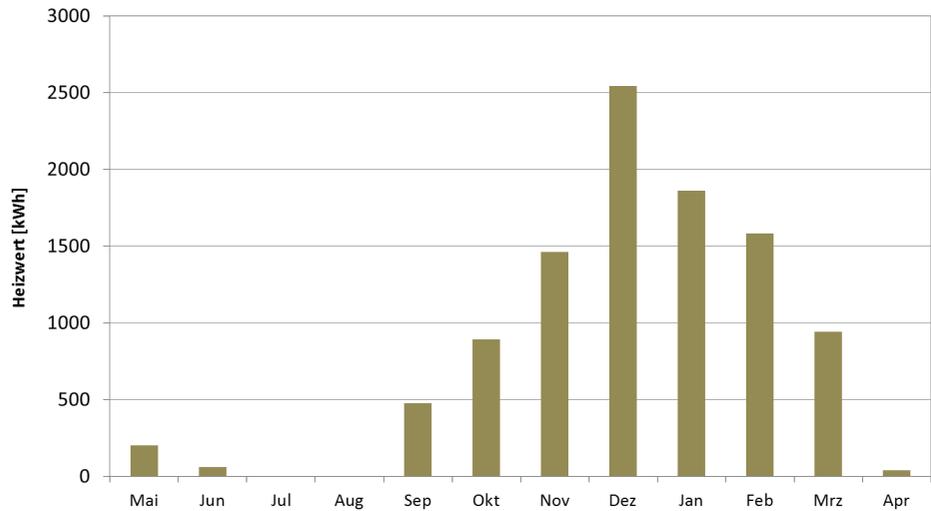


Abb. 47 Holzverbrauch (Heizwert) des Kamins (Angabe als Heizwert = kg Holz *4,2 kWh/kg) von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr wurde der Kamineinsatz auf ein Minimum reduziert und lediglich 27 kg/a Holz verfeuert. Heizwertbezogen³⁶ sind dies ~109 kWh/a (s. Abb.48). Damit wurden ~ 0,3 % der Wärme für TWW und Heizung gedeckt.

■ Holz für Kamin (Heizwert)

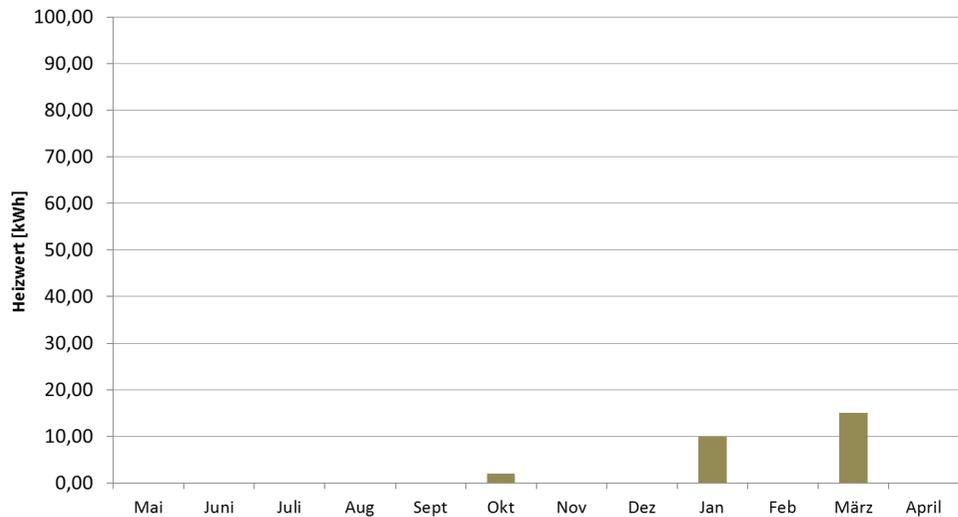


Abb. 48 Holzverbrauch (Heizwert) des Kamins (Angabe als Heizwert = kg Holz *4,2 kWh/kg) von Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

³⁶ Zugrundeliegende Annahme für den Heizwert: 4,02 kWh/kg, Nadelholz, 20 % Feuchte, Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), "Merkblatt 12, Der Energieinhalt von Holz und seine Bewertung", Dez. 2007

Witterungsbereinigt³⁷ und auf den Brennwert³⁸ bezogen steht dem bilanzierten Bedarf (1.893 kWh/a) ein Verbrauch von 150 kWh³⁹ gegenüber. Damit wurde der Bilanzwert im zweiten Monitoringjahr um das Zwölfwache unterschritten. Da die Reduktion der Nutzung des Kamins auf nahezu Null jedoch gewünscht war, ist der Vergleich mit dem Bilanzwert nicht für weitere Untersuchungen heranzuziehen.

Mit der geringen Kaminnutzung im Vergleich soll im zweiten Monitoringjahr die Einsparung der Wärmepumpennutzung und damit eine mögliche Verbesserung deren Performance (JAZ) (geringere Nutzung der WP in den kalten Wintermonaten) durch die Kaminnutzung untersucht werden. Die Analyse ist dem Kapitel 6.6.2 zu entnehmen.

Das Gas wird zum Kochen für eine separate Kochstelle über eine Gasflasche zur Verfügung gestellt. Da hier kein separater Gaszähler angeschlossen werden konnte, wird der Gasverbrauch ebenfalls über das Wiegen der Flasche am Ende des Monats erfasst.

Der Gasverbrauch belief sich im ersten Monitoringjahr auf 0,61 kg, was einem Brennwert von 8,53 kWh⁴⁰ entspricht. Damit ist der Gasverbrauch im Verhältnis zum restlichen Haushaltsverbrauch verschwindend gering.

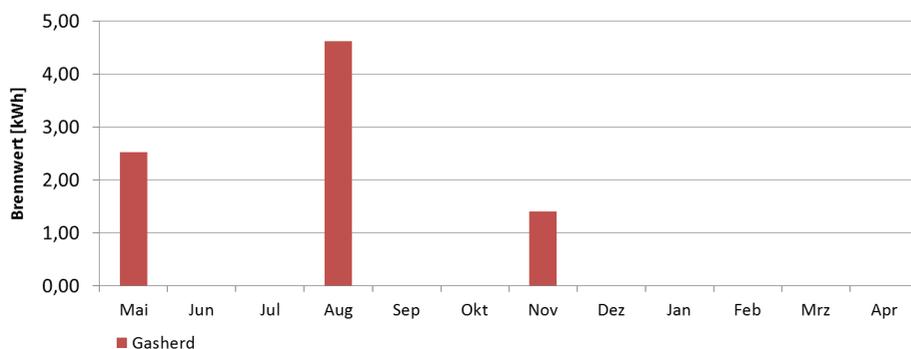


Abb. 49 Gasverbrauch für das Kochen (Angabe als Brennwert = kg Gas * 13,98 kWh/kg) von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr wurde kein Gas verbraucht.

³⁷ Berechneter Klimafaktor: 1,34 (bezogen auf das dt. Normklima), gem. Kap. 5.3

³⁸ Umrechnungsfaktor Brennwert zu Heizwert (HS/HI): 1,08, gem. DIN V 18599-1

³⁹ Bezug der Witterungsbereinigung auf Heizwärmebereitstellung für den Raum und den Heizpufferspeicher: Bereitstellungsanteil für Raumwärme: 29 % und Speicherladung: 71 %, davon Ladung Pufferspeicher: 0,32 %.

⁴⁰ Umrechnungsfaktor für Brennwert: 13,98 kWh/kg Propangas, http://www.wpg-energie.de/media/filebase/files/fluessiggas/physikalische_daten.pdf (06. 2015)

6.4 Gegenüberstellung von Energieverbrauch und Stromgewinnung

In der Gegenüberstellung des Energieverbrauchs mit der regenerativen Stromgewinnung zeigt sich am Jahresende des ersten Monitoringjahres endenergetisch eine deutliche Überschreitung der Ertragsgröße und damit die Nichterfüllung der Plus-Energie-Bilanz (s. Abb.50).

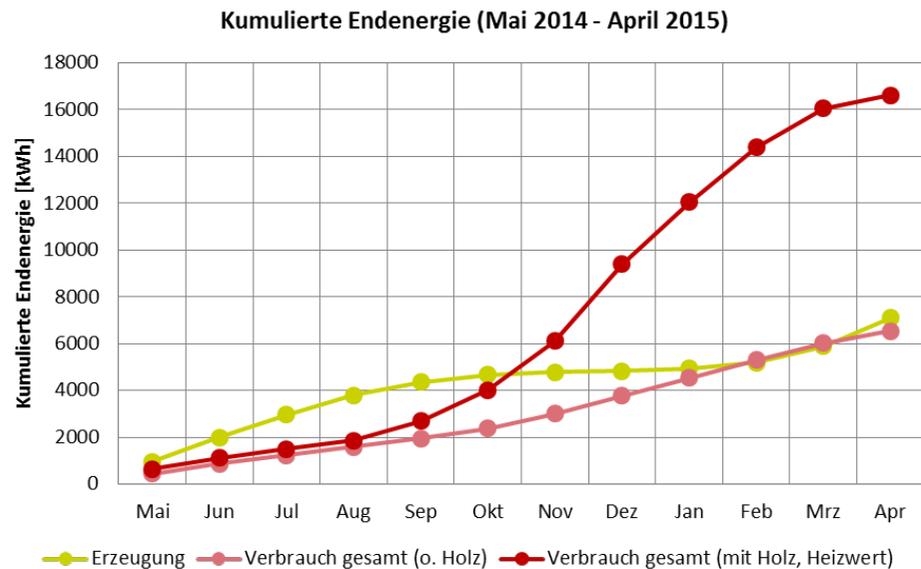


Abb. 50 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Endenergie) von Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Diese Entwicklung ist vor allem auf den hohen Einsatz des Holzes für die Kaminbefuerung zurückzuführen (s. Abb.51). Neben dem Kamin hat auch eine geringere Stromerzeugung, u.a. aufgrund der Verschattung⁴¹, zu einem Nichterlangen des Plus beigetragen. Die Differenz des gemessenen PV-Ertrags zum prognostizierten Wert beträgt ca. 2.320 kWh.

Von der Photovoltaik wurden im Messzeitraum ~7.104 kWh/a Strom erzeugt. Diesem stehen 6.541 kWh/a⁴² Stromverbrauch, 10.063 kWh/a Holzverbrauch (Heizwert)⁴³ sowie 8,5 kWh/a Gasverbrauch gegenüber. Der Stromverbrauch allein, lag unter dem Ertrag. Ein Rückschluss auf die Erfüllung der Plus-Energie-Bilanz ohne Kamin lässt dies jedoch nicht zu, da der Kamin in der Heizzeit die Wärmepumpe z. T. ersetzt hat.

⁴¹ Die Abweichung der Globalstrahlung des langjährigen Mittels zum Messzeitraum als Ursache eines geringeren PV-Ertrags ließ sich nicht abschließend verifizieren.

⁴² Exkl. des projektspezifischen Verbrauchs der Monitoring-Technik von 134 kWh/a (gem. Messung)

⁴³ Zugrundeliegende Annahme für den Heizwert: 4,02 kWh/kg, Nadelholz, 20 % Feuchte, Quelle: [1]

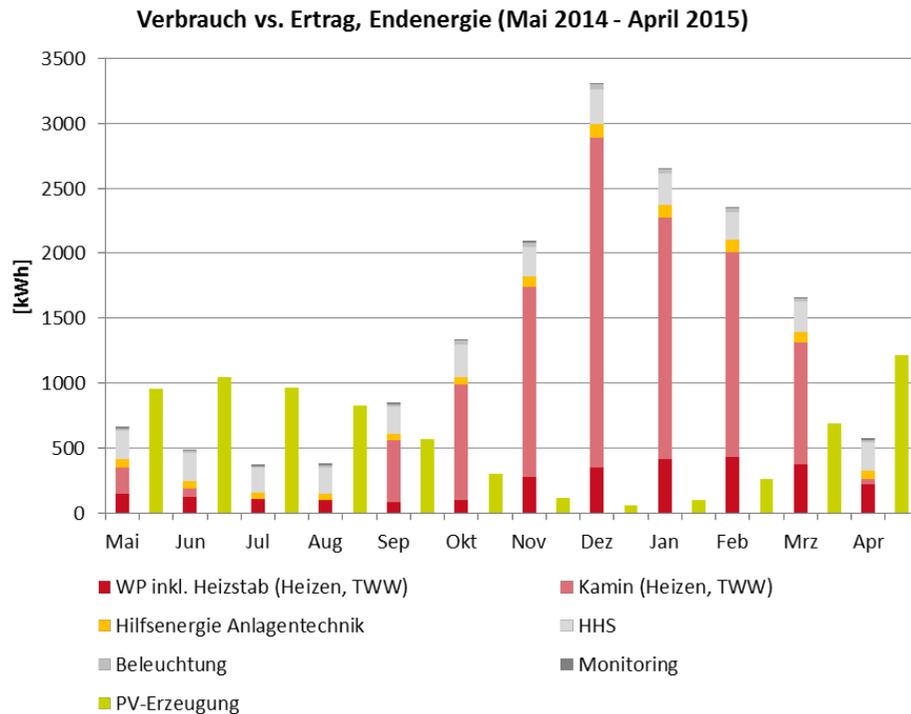


Abb. 51 Endenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Primärenergetisch wurde das Plus trotz des hohen Holzeinsatzes erfüllt (s. Abb. 52). Dies ist mit dem guten Primärenergiefaktor (f_p) von 0,2 für den nachwachsenden, regenerativen Rohstoff Holz zu begründen. Der Netzstrombezug wird im Vergleich mit einem f_p von 2,4 (Bezug EnEV 2009) bewertet und die Netzeinspeisung des PV-Ertrags mit einem f_p von 2,8 gutgeschrieben.

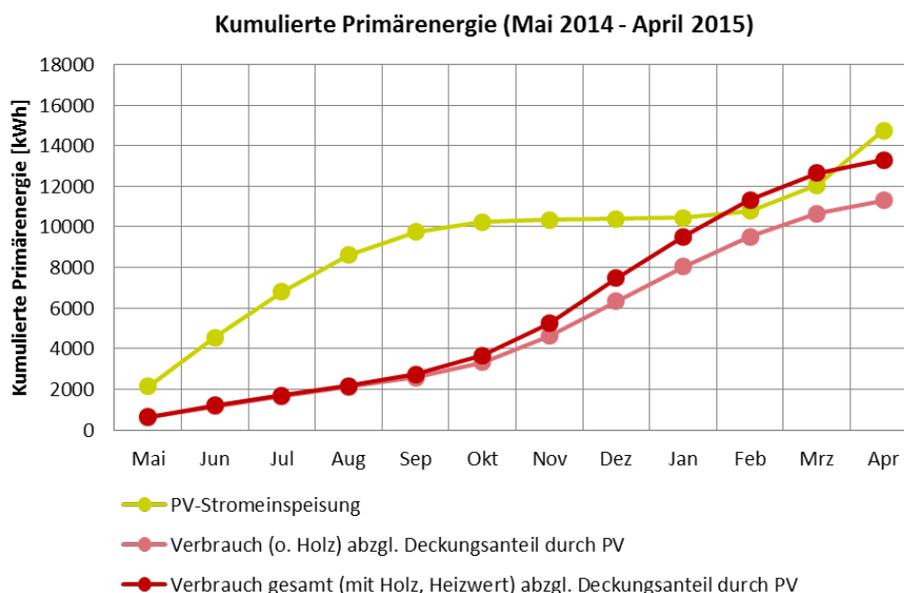


Abb. 52 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Primärenergie) von Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

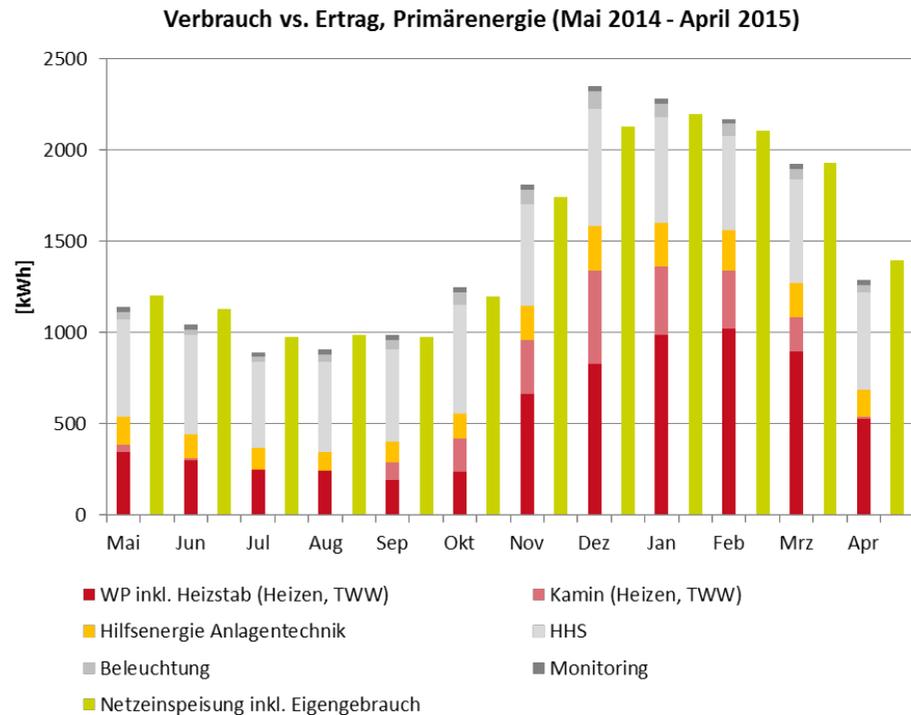


Abb. 53 Primärenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag, ohne bilanziellen Abzug des Eigengebrauchs, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Hier wird deutlich, dass der Einsatz von Biomasse primärenergetisch von Vorteil ist, jedoch endenergetisch einen negativen Einfluss auf die Bilanz hat. Wärmepumpen-Konzepte ohne den Einsatz von Biomasse sind dem gegenüber in der Bilanzierungsmethode des Effizienzhaus Plus im Vorteil.

Um die Plus-Energie-Bilanz und die Effizienz der Wärmepumpe richtig bewerten zu können wurde im zweiten Monitoringjahr nur wenig bis gar kein Holz verfeuert. Die Analyse ist dem folgenden Kapitel 6.6.2 zu entnehmen.

In dem zweiten Monitoringjahr wurde das endenergetische Plus trotz minimalem Holzverbrauchs erneut nicht erreicht (s. Abb.54 und 55). Der Stromverbrauch des Hausbetriebs von $\sim 7.898 \text{ kWh/a}$ ⁴⁴ inklusive der $\sim 109 \text{ kWh/a}$ für Holz überschreitet den Ertrag von $\sim 7.342 \text{ kWh/a}$ jedoch mit $\sim 665 \text{ kWh/a}$ im Verhältnis nur geringfügig.

Die Überschreitung ist dem im Vergleich zum prognostizierten Wert geringeren Stromertrag zuzuschreiben. Im Vergleich zum Vorjahr wurden $\sim 238 \text{ kWh/a}$ mehr erzeugt. Zum Bilanzwert weicht der Ertrag hingegen weiterhin um $\sim 2.084 \text{ kWh/a}$ ab. Die geringere Stromerzeugung ist u.a. auf die weiter anhaltende Verschattung⁴⁵ durch den Bahndamm wie auch auf die Verschmutzung zu

⁴⁴ Exkl. des projektspezifischen Verbrauchs der Monitoring-Technik von 136 kWh/a (gem. Messung)

⁴⁵ Die Abweichung der Globalstrahlung des langjährigen Mittels zum Messzeitraum als Ursache eines geringeren PV-Ertrags ließ sich nicht abschließend verifizieren.

beziehen. Die Verschattung war in dem Bilanzwert nicht berücksichtigt (s. Kap.6.1). Den Verbrauch betreffend wurden im Vergleich zum Vorjahr ~1.357 kWh/a mehr Strom verbraucht, dessen Hauptanteil der Wärmepumpe zuzuweisen ist (s. Kap.6.2.3). Demgegenüber wurden im zweiten Monitoringjahr ~9.954 kWh/a an Holz sowie das Gas vollständig eingespart.

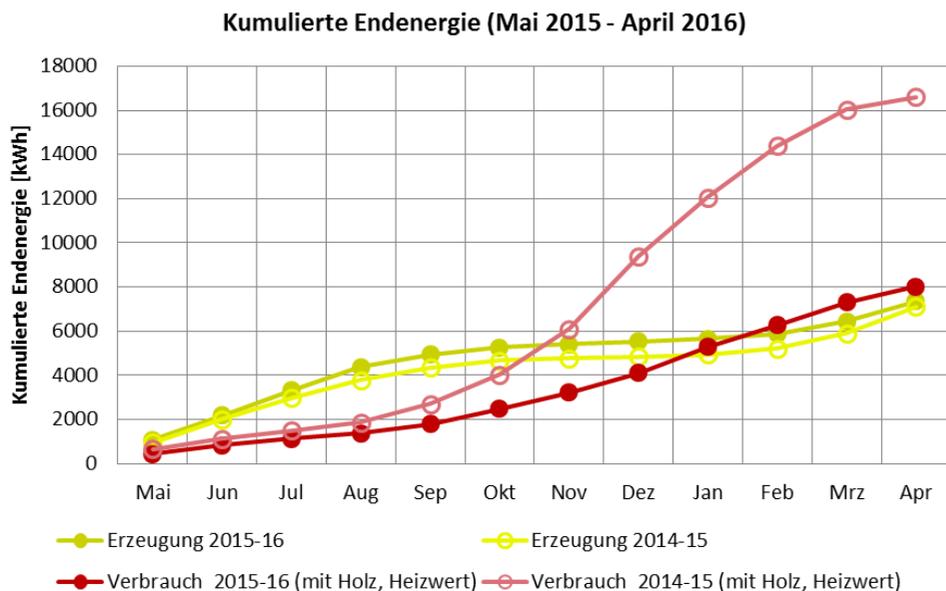


Abb. 54 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Endenergie) von Mai 2015 bis April 2016 gegenüber dem ersten Monitoringjahr Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

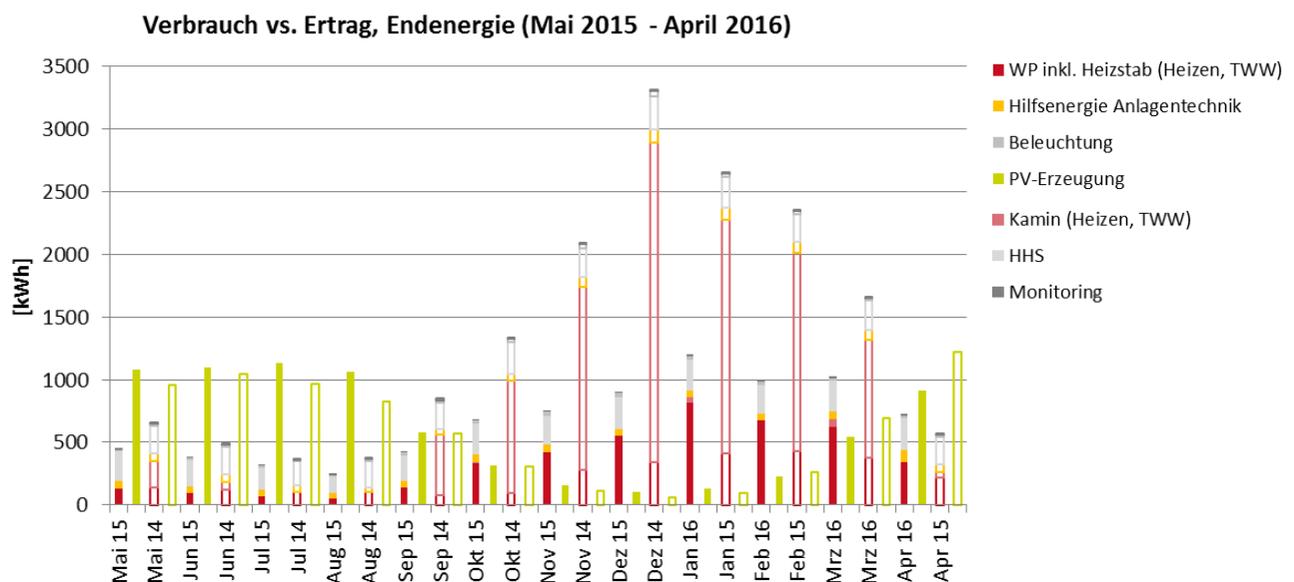


Abb. 55 Endenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag des zweiten Monitoringjahres (Mai 2015 bis April 2016) gegenüber dem ersten Monitoringjahres (Mai 2014 bis April 2015), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Primärenergetisch wurde ein Plus erzielt (s. Abb. 56). Trotz des im Vergleich zum Vorjahr höheren Stromverbrauchs (s. Abb.57) konnte durch die primärenergetische Berücksichtigung des Netzstrombezugs mit $f_p = 2,4$ (Bezug EnEV 2009) und der Gutschrift der Netzeinspeisung mit $f_p = 2,8$ der Verbrauch insgesamt um 714 kWh/a überschritten werden.

Kumulierte Primärenergie (Mai 2015 - April 2016)

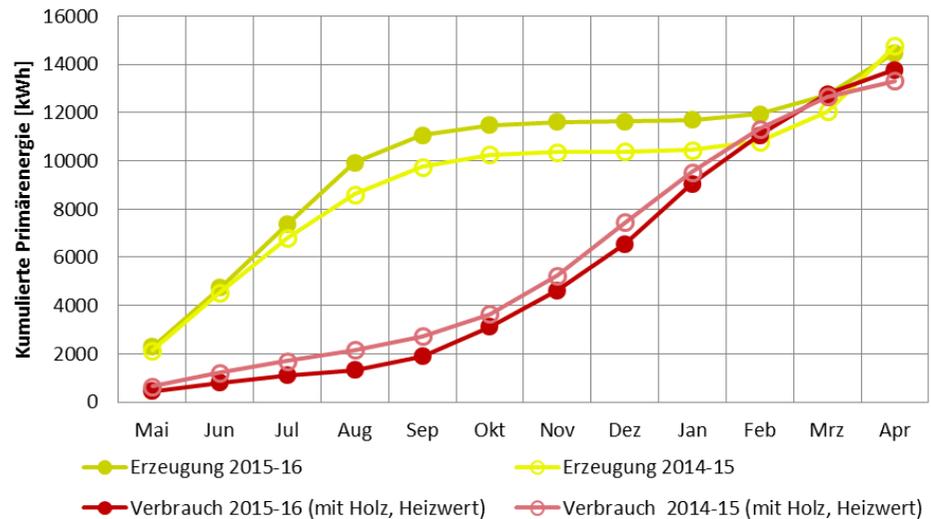


Abb. 56 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Primärenergie) von Mai 2015 bis April 2016 gegenüber dem ersten Monitoringjahr Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Verbrauch vs. Ertrag, Primärenergie (Mai 2015 - April 2016)

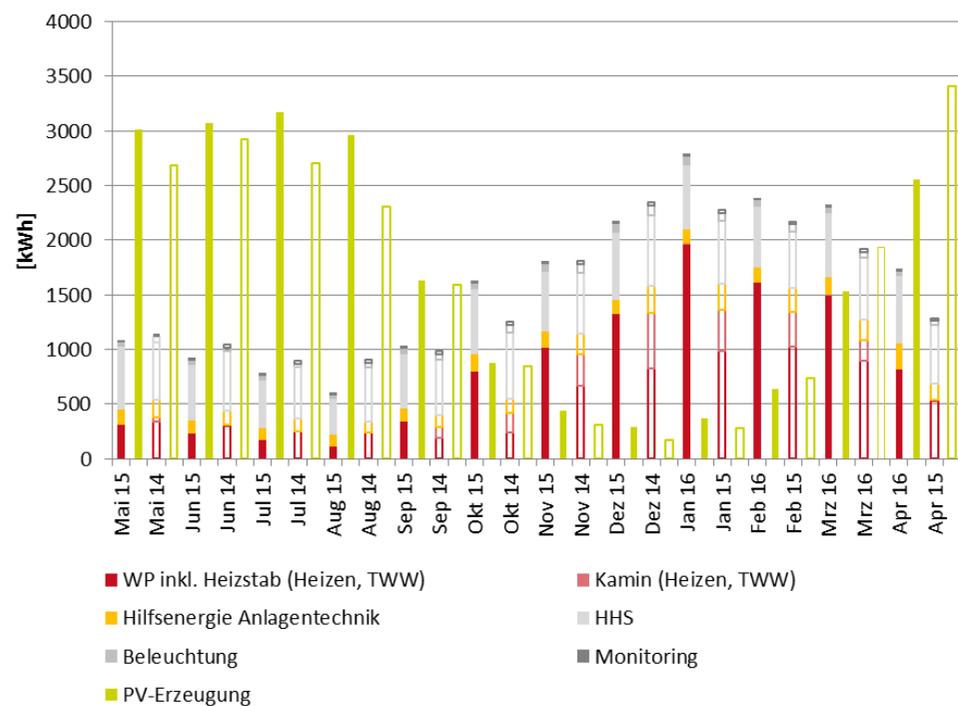


Abb. 57 Primärenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag des zweiten Monitoringjahres (Mai 2015 bis April 2016) gegenüber dem ersten Monitoringjahres (Mai 2014 bis April 2015), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

6.5 Eigenstromnutzung

Der Eigennutzungsanteil des PV-Ertrags beläuft sich für das erste Monitoringjahr auf ~1.834 kWh/a von einem Ertrag von 7.104 kWh/a. Damit konnten ~26 % im Haushalt selbst genutzt werden. In Bezug auf den Stromverbrauch von 6.675 kWh/a⁴⁶ wurden damit ~28 % aus eigenen Quellen gedeckt (s. Abb.58).

Mit sinkendem Ertrag nahm der monatliche Eigennutzungsanteil in den Wintermonaten bis auf ~78 % zu, wodurch jedoch nur noch ~10 % des Stromverbrauchs gedeckt werden konnten. In den Sommermonaten lag der Eigengebrauch des PV-Stroms im Durchschnitt bei 20 %. Damit konnten durchschnittlich 43 % des Stromverbrauchs über PV-Strom gedeckt werden.

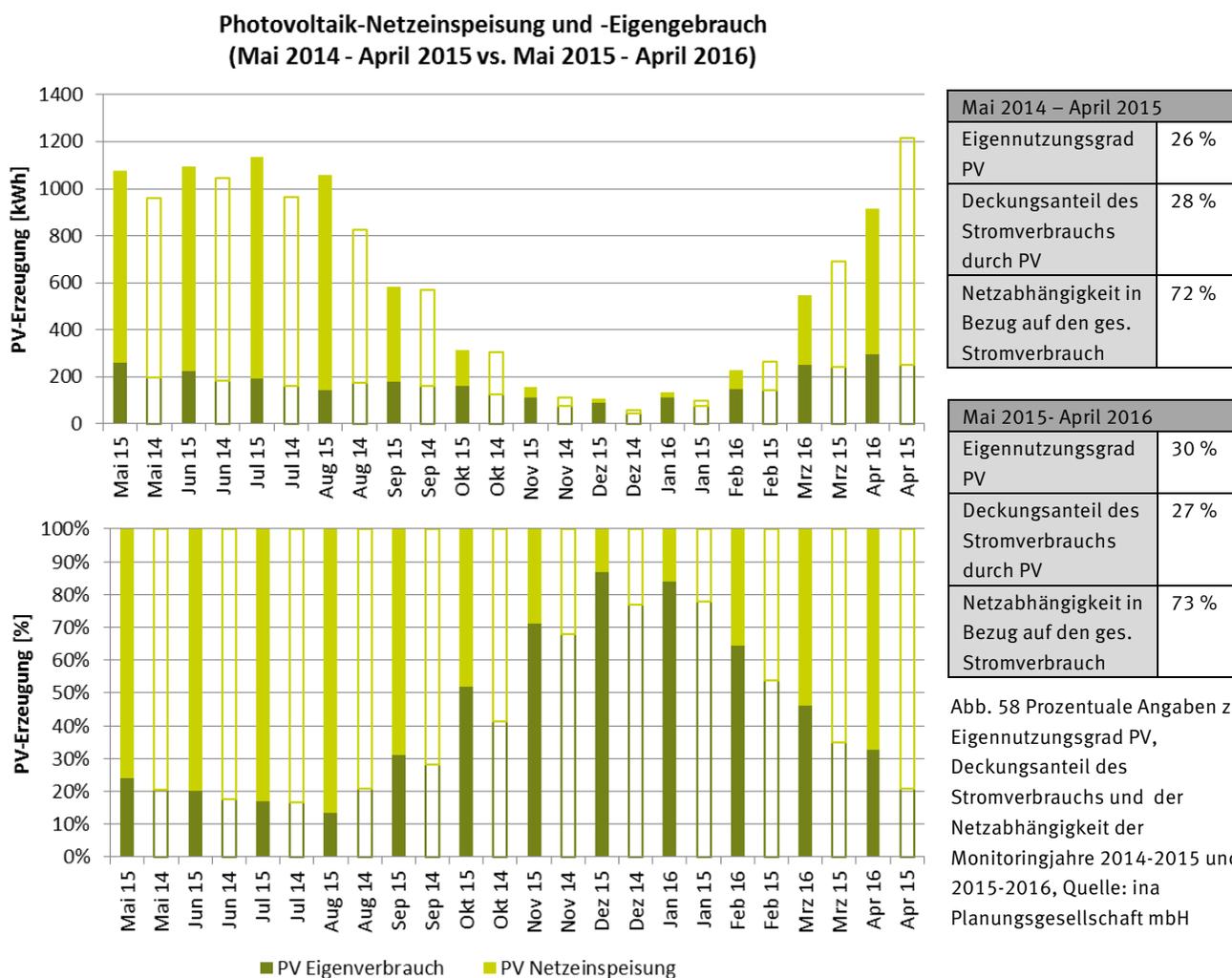


Abb. 59 Anteil des Eigengebrauchs am PV-Ertrag, absolut (oben) und prozentual (unten), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Abb. 58 Prozentuale Angaben zum Eigennutzungsgrad PV, Deckungsanteil des Stromverbrauchs und der Netzabhängigkeit der Monitoringjahre 2014-2015 und 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

⁴⁶ Inkl. des spezifischen Verbrauchs der Monitoring-Technik von 134 kWh/a (gem. Messung)

Die Netzeinspeisung im Sommerhalbjahr (April – Sept.) ist mit 4.448 kWh ca. dreimal so hoch wie der Netzstrombezug von 1.414 kWh. Bezogen auf diesen Zeitraum von ~180 Tagen, können im Mittel 8 kWh/d PV-Strom mit Hilfe eines Stromspeichers vom Tag in die Nacht verschoben werden und den Netzstrombezug ersetzen (s. Anlage 12.1.8; vgl. auch Abb.60). Ein taggenauer Abgleich im Juli zeigt, dass von 211 kWh Netzstrombezug ~200 kWh und damit 95 % zusätzlich aus PV gedeckt werden könnten.

Mit dem verbleibenden Rest von ~3.000 kWh im Sommerhalbjahr könnte die Batterie eines Elektrofahrzeugs geladen werden.

In den trüben Wintermonaten (Nov. – Jan.) besteht eine Netzeinspeisung von nur 72 kWh. Der Netzstrombezug ist hingegen mit 1.993 kWh ein Vielfaches. Durch den geringen Überschuss wäre eine Tag-Nacht-Verschiebung des PV-Ertrags durch einen Stromspeicher auf 1 kWh/d limitiert.

Im Jahresmittel würde sich das Potenzial einer zusätzlichen Nutzung des PV-Stroms über einen Stromspeicher auf ca. 5 kWh/d bzw. 1.800 kWh/a belaufen. Dies bedeutet eine Verdopplung des Eigengebrauchs (~50 %).

Im zweiten Monitoringjahr beläuft sich der Eigengebrauch auf ~30 % (s. Abb.58). Damit konnten ~2.171 kWh/a von einem Ertrag von 7.342 kWh/a im Haushalt selbst genutzt werden. In Bezug auf den Stromverbrauch von 8.034 kWh/a⁴⁷ wurden damit ~27 % gedeckt. Da der Stromverbrauch anstieg, blieb der Deckungsgrad im Vergleich zum ersten Monitoringjahr annähernd gleich. Ferner trug der höhere Stromverbrauch durch u.a. die Wärmepumpe im Verhältnis zu einem nur geringfügig höheren Ertrag zu einer Steigerung des Eigengebrauchs bei.

Im zweiten Monitoringjahr nahm der monatliche Eigengebrauch in den Wintermonaten bis auf ~87 % im Dezember zu, bei einer Deckungsrate des Stromverbrauchs von ~10 %. In den Sommermonaten beträgt der Eigengebrauch des PV-Stroms im Durchschnitt ~19 %, bei einer Deckungsrate des Stromverbrauchs von ~58 %.

Die Netzeinspeisung im Sommerhalbjahr (April – Sept.) ist mit 4.563 kWh ca. dreieinhalbmals so hoch wie der Netzstrombezug von 1.278 kWh (s. Anlage 12.1.8; vgl. auch Abb.64). Dies sind im Vergleich zum Vorjahr 135 kWh weniger Verschiebepotenzial durch einen Stromspeicher. Damit weicht das zweite Monitoringjahr nur geringfügig vom ersten ab und bestätigt die mögliche Steigerung des PV-Eigengebrauchs durch einen Stromspeicher auf >50 %.

⁴⁷ Inkl. des spezifischen Verbrauchs der Monitoring-Technik von 136 kWh/a (gem. Messung)

6.5.1 Änderung des Wärmepumpenbetriebs

Zu Beginn des Monitorings (Mai – Ende Juli 2014) hat der WP-Betrieb zur Trinkwarmwasserbereitung vor allem zu den frühen Morgen- und späten Abendstunden stattgefunden. Daher waren PV-Ertrag und WP-Betrieb in der Regel nicht deckungsgleich (s. Abb.61). Da eine automatische Regelung der Wärmepumpe nach der Stromerzeugung der Photovoltaik nicht besteht, wurde der WP-Betrieb für die TWW-Bereitung auf die Tagzeit beschränkt. Dafür setzt der Bauherr in Absprache mit dem Hersteller ab Anfang August 2014 eine Zeitschaltuhr ein, zwischen Steckdose und Umwälzpumpe des Trinkwarmwasserspeichers. Die Intention ist folgende: Das warme Wasser im Speicher wird am Morgen in der Regel nicht gänzlich aufgebraucht, so dass am Mittag im oberen Bereich des Speichers – in welchem Bereich der Temperaturfühler für die Wärmepumpe verortet ist – immer noch hohe Temperaturen vorherrschen und kein Impuls für eine erneute Ladung gesendet wird. Um 13 Uhr wird daher über die Zeitschaltuhr die Umwälzpumpe im Speicher gestartet, die das kältere Wasser im unteren Bereich des Speichers mit dem oberen, wärmeren Wasser mischt. Spätestens dann wird die Warmwassererzeugung der Wärmepumpe ausgelöst. Da die Umwälzpumpe ca. 2h läuft, wird der Speicher gänzlich durchgeladen, so dass bei moderaten Zapfungen das bereitete Trinkwarmwasser bis zum nächsten Morgen reichen kann. Zusätzlich ist die Wärmepumpe von Mitternacht bis ca. 12.00 Uhr am Mittag für die Warmwasserbereitung gänzlich abgeschaltet. Damit entstehen in den Sommermonaten mehr Deckungsmöglichkeiten der Wärmeproduktion durch PV-Strom und darüber ein höherer Anteil der Wärmepumpe am Gesamteigengebrauch (s. Abb.62). Die Heizwärmeproduktion besitzt indes für eine gleichmäßige Wärmebereitstellung keine Beschränkung. In den Wintermonaten, in denen die Heizwärmeerzeugung überwiegt, ist der PV-Ertrag auch so gering, dass es einer Regulierung des Heizwärmesystems nicht bedarf, um einen hohen Eigengebrauchsanteil zu bewirken (s. Abb.63).

Der Eigengebrauchsanteil der Wärmepumpe von $\sim 822 \text{ kWh/a}^{48}$ (exkl. Heizstab) beträgt $\sim 46 \%$ vom Gesamteigengebrauch des PV-Stroms von 1.834 kWh/a . Aufgrund zu vieler Abhängigkeiten (PV-Ertrag, Wärmepumpenverbrauch, sonstige Verbraucher am Eigengebrauch) kann die Erhöhung des Eigennutzungsanteils bzw. die Erhöhung der Deckung des WP-Betriebs über PV-Strom in einer monatsweisen Betrachtung nicht nachgewiesen werden (s. Abb.60).

⁴⁸ Berechnete Größe durch Abgleich des PV-Eigengebrauchs mit dem WP-Betrieb auf Stundenbasis.

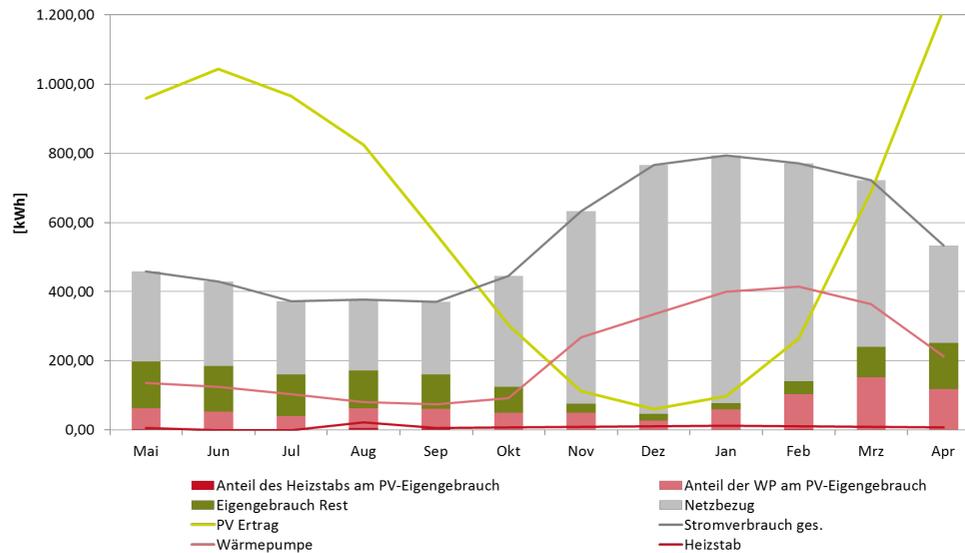


Abb. 60 Abgleich PV-Eigengebrauch am WP-Betrieb, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Ein Vergleich ist nur in einem Monat mit ähnlichen Bedingungen möglich. Wenn man hier die Tagesgänge betrachtet, ist der Effekt im Einzelnen nachweisbar. In den folgenden Abbildungen (s. Abb.61 und 62) ist ein Tageslastgang des WP-Betriebs vor der Umstellung und nach der Umstellung gegenübergestellt. Durch die Verschiebung des WP-Betriebs in die Zeit des PV-Betriebs konnte der Anteil der Wärmepumpe am Eigengebrauch deutlich erhöht werden.

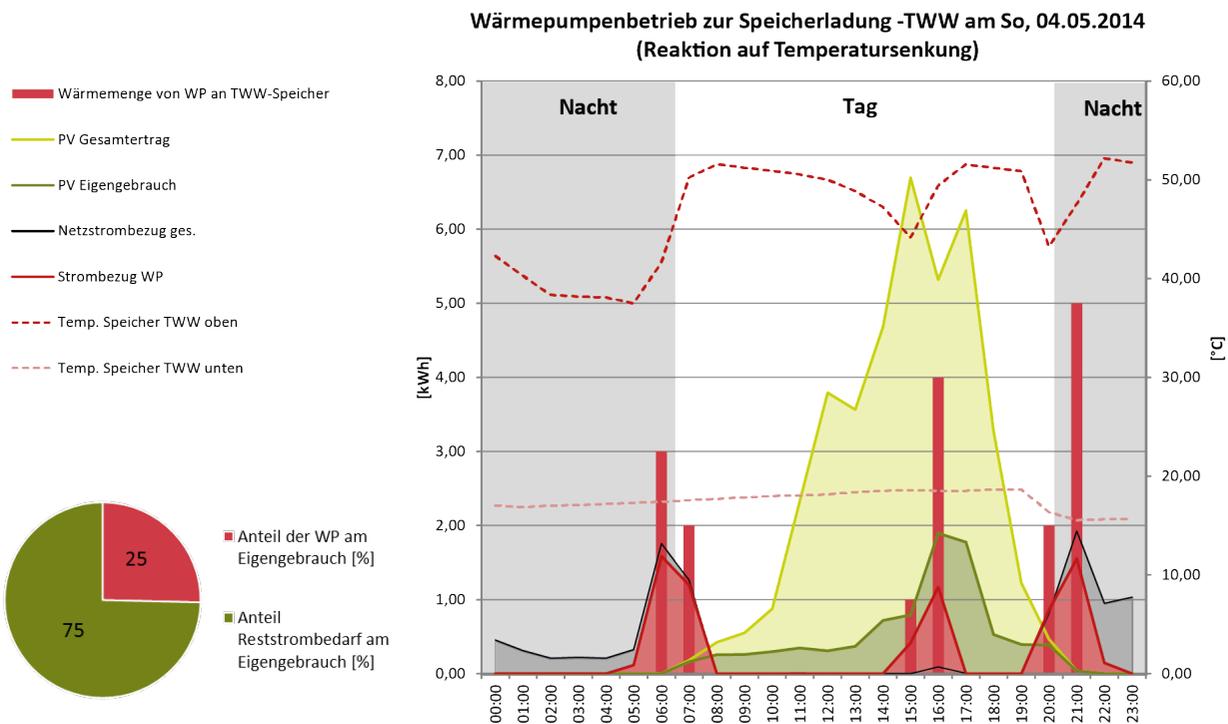


Abb. 61 Exmpl. Tagesausschnitt des Wärmepumpenbetriebs in Abgleich mit der PV-Erzeugung vor der Umstellung der Betriebszeit für TWW am 04.05.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

**Wärmepumpenbetrieb zur Speicherladung-TWW am Mi, 09.09.2015
(Reaktion auf Temperatursenkung)**

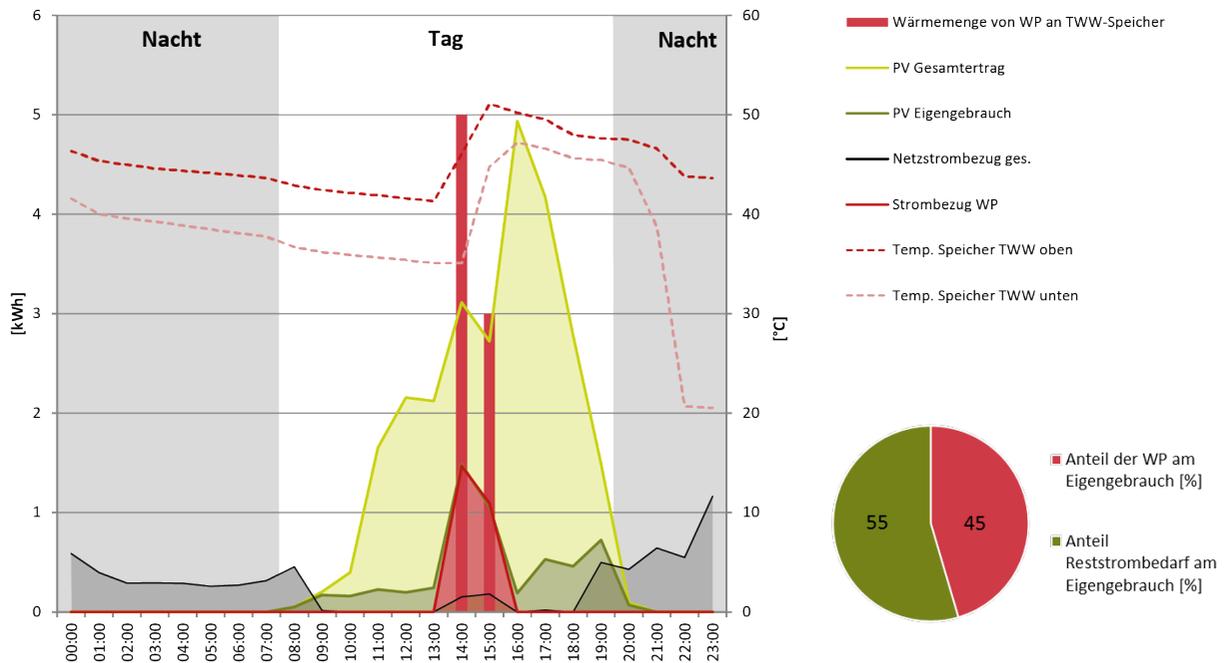


Abb. 62 Exmpl. Tagesausschnitt des Wärmepumpenbetriebs in Abgleich mit der PV-Erzeugung nach der Umstellung der Betriebszeit für TWW am 09.09.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

**Wärmepumpenbetrieb zur Speicherladung - TWW + Heizn am So, 09.12.2015
(Reaktion auf Temperatursenkung)**

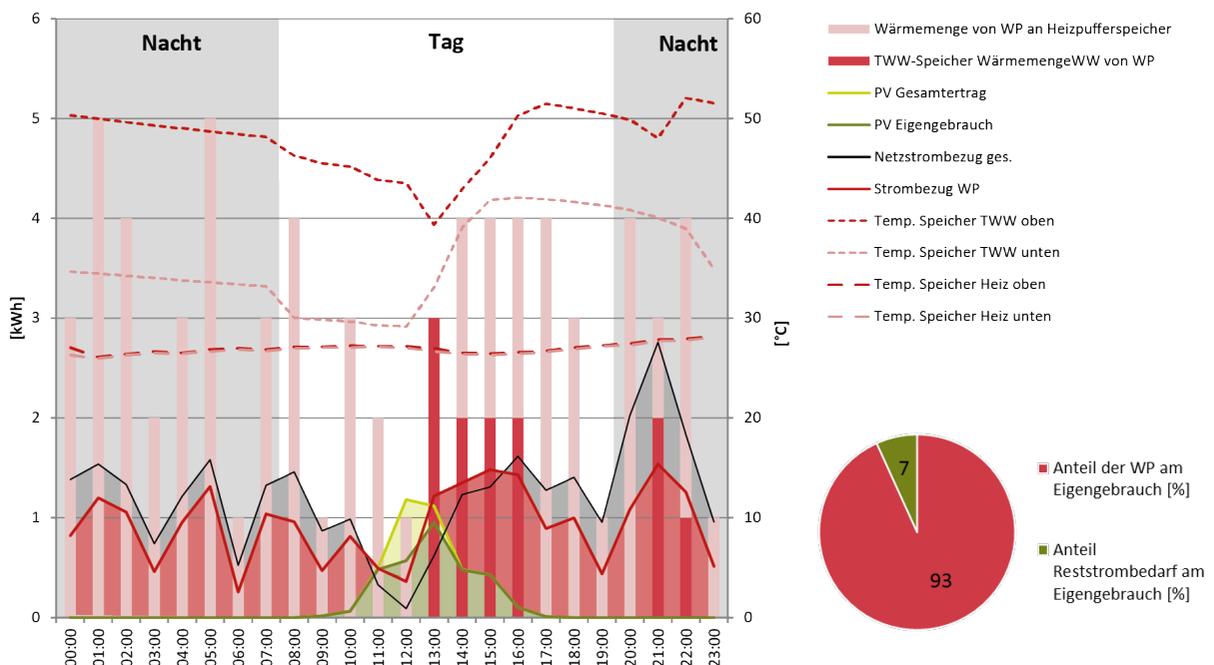


Abb. 63 Exmpl. Tagesausschnitt des Wärmepumpenbetriebs in Abgleich mit der PV-Erzeugung nach der Umstellung der Betriebszeit für TWW (inkl. Heizpufferspeicherladung in den Wintermonaten) am 09.12.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr konnte von einem Eigengebrauchsanteil von ~2.171 kWh/a insgesamt ~1.196 kWh/a⁴⁹ (55 %) (exkl. Heizstab) für den WP-Betrieb genutzt werden. Dies kann vor allem auf den längeren Betrieb der Wärmepumpe durch den Wegfall des Kamins zurückgeführt werden.

Ein Nachweis durch den direkten Vergleich mit dem ersten Monitoringjahr ist jedoch nicht möglich, da auch hier zu viele Variablen bestehen.

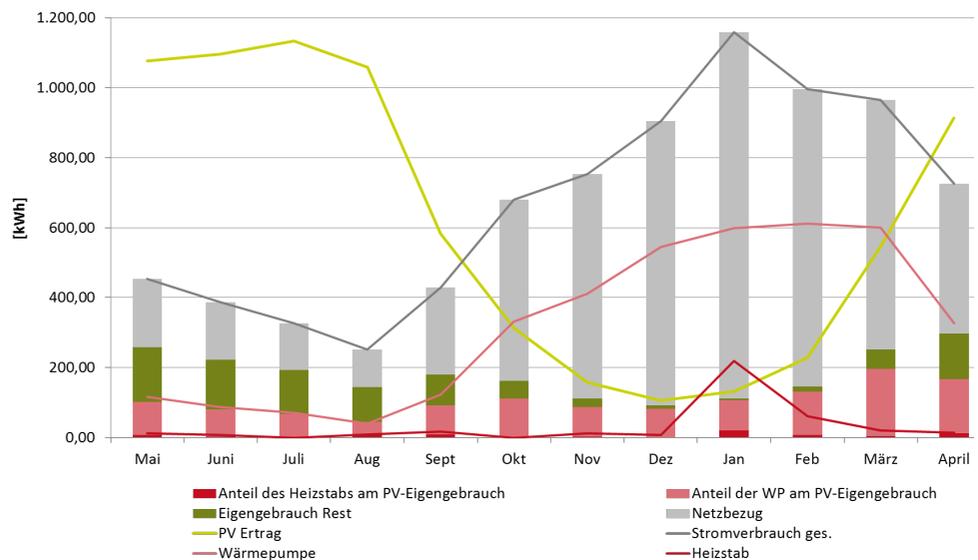


Abb. 64 Abgleich PV-Eigengebrauch am WP-Betrieb, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

6.6 Anlagenperformance

6.6.1 Wärmeerzeuger

Die Wärmeerzeugung für Trinkwarmwasser und Heizwärme erfolgt hauptsächlich über die Luft/Wasser-Wärmepumpe. In der Heizperiode wird die Wärmeerzeugung über den Scheitholzkamin unterstützt, der die Wärme über einen Wärmetauscher („Wassertasche“) an den Heizpuffer- und Trinkwarmwasserspeicher übergibt. Die Messungen des ersten Monitoringjahrs zeigen, dass der Kamin in den Monaten November bis März intensiv genutzt wurde und insgesamt 27 % zu der Trinkwarmwasserbereitung sowie 28 % zu der Heizwärmebereitung beigetragen hat (s. Abb.65).

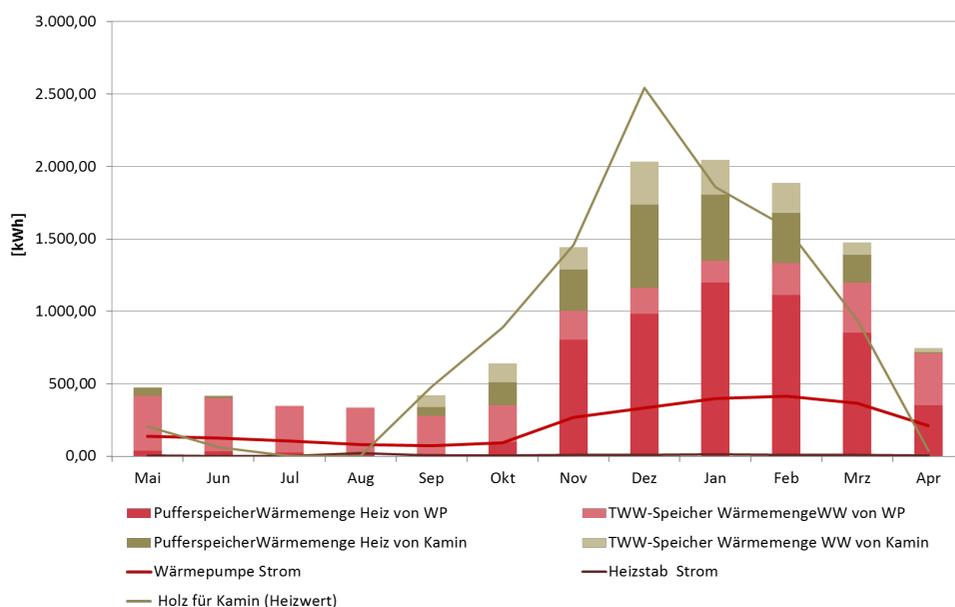
Die monatlichen Wärmemengen der Wärmepumpe zeigen ansonsten einen typischen Verlauf: hauptsächliche TWW-Bereitung in den Sommermonaten, sowie höhere Anteile an der Heizwärmebereitstellung in den Wintermonaten.

⁴⁹ Berechnete Größe durch Abgleich des PV-Eigengebrauchs mit dem WP-Betrieb auf Stundenbasis.

Insgesamt wurden 38 % der Gesamtwärmebereitstellung der Wärmepumpe für TWW genutzt und 62 % für Heizwärme (s. Abb.65).

Der Kamin hat in den ersten fünf Monitoring-Monaten (2014) vorrangig den Heizpufferspeicher geladen. Grund für diese Einstellung ist, dass der Kamin gewöhnlich in der Heizzeit betrieben wird und in dieser Zeit den Heizwärmeerzeuger unterstützen kann. Da jedoch in Kombination mit der Wärmepumpe diese immer die hohen Temperaturen des TWW-Speichers bereiten musste, wurde die Ladelogik geändert. Ab Oktober 2014 wurde die Reihenfolge der Beladung umgekehrt. Die Wärme des Kamins wird nun vorrangig dem TWW-Speicher zugeführt. Ist bei diesem die maximale Temperatur (ca. 55 °C) erreicht, wird der Heizpufferspeicher geladen.

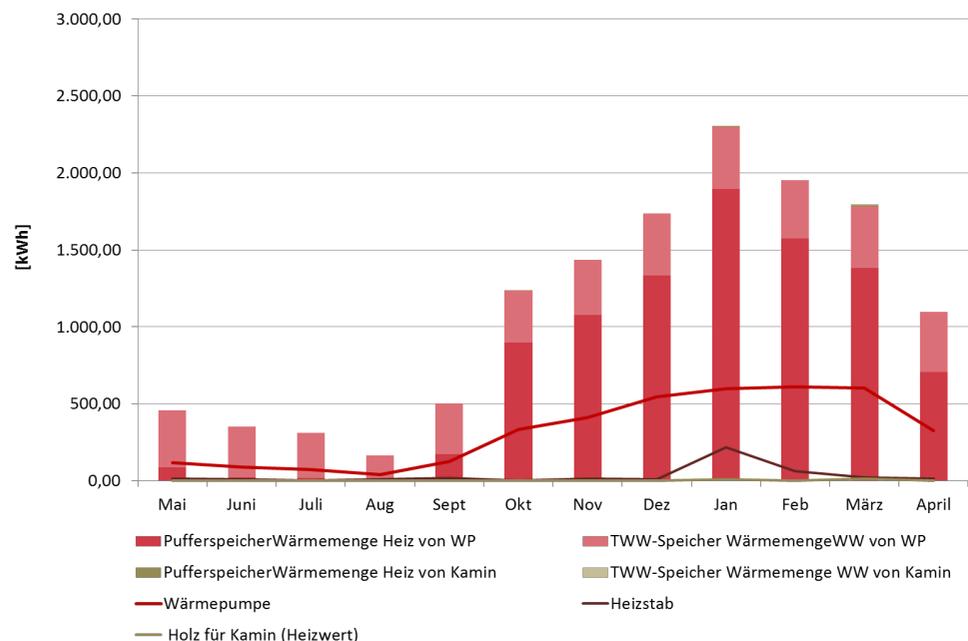
Da die Wärmepumpe in Betriebszeiten des Kamins einen geringeren Temperaturhub leisten muss, ist eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl (JAZ) zu erwarten. Dies konnte jedoch nicht verifiziert werden, da im zweiten Jahr der Kamin nicht betrieben wurde.



		Gesamt	TWW	Heizung
Wärmemenge von Kamin	[kWh/a]	3.377	1.222 (36%)	2.155 (64%)
Wärmemenge von WP	[kWh/a]	8.891	3.351 (38%)	5.540 (62%)
Summe	[kWh/a]	12.268	4.573	7.695
Anteil WP an Wärmebereitstellung	[%]	72	73	72
Anteil Kamin an Wärmebereitstellung	[%]	28	27	28

Abb. 65 Speicherladung getrennt nach Kamin und Wärmepumpe für TWW und Heizung, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr trug der Kamin durch dessen geringen Nutzung nur 0,2 % zur Wärmebereitung bei. Somit kann man von einer hundertprozentigen Wärmebereitstellung durch die Wärmepumpe sprechen. Wie im Jahr zuvor zeigt sich über die Monate hinweg ein typischen Verlauf: hauptsächliche TWW-Bereitung in den Sommermonaten, sowie höhere Anteile an der Heizwärmebereitstellung in den Wintermonaten. Im zweiten Jahr wurde jedoch insgesamt weniger Trinkwarmwasser (-9 %) und mehr Heizwärme (+19 %) erzeugt. Letzteres obwohl das zweite Jahr gegenüber dem ersten, mit nur 178 zu 183 Heiztagen des Vorjahres, ein wärmeres Jahr⁵⁰ gewesen ist. Der Vergleich der Monatsmitteltemperaturen der Innenräume in der Heizperiode (Okt. – Apr.) zeigen jedoch mit 19,5 -19,9°C im ersten Monitoringjahr und 20,1°C – 21,5°C im zweiten Monitoringjahr (s. dazu Anlage 12.1.4) deutlich höhere Raumtemperaturen und infolge mehr Heizwärmebedarf. Die Zunahme von 1-1,5°C Innenraumtemperatur kann eine Erhöhung von 5-10 % am Heizwärmebedarf bedingen.



		Gesamt	TWW	Heizung
Wärmemenge von Kamin	[kWh/a]	31,00	21,00 (68 %)	10,00 (32%)
Wärmemenge von WP	[kWh/a]	13.325	4.149 (31%)	9.176 (69%)
Summe	[kWh/a]	13.356	4.170	9.186
Anteil WP an TWW /Heizwärme	[%]	99,8	99,5	99,9
Anteil Kamin an TWW /Heizwärme	[%]	0,2	0,5	0,1

Abb. 66 Speicherladung getrennt nach Kamin und Wärmepumpe für TWW und Heizung, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

⁵⁰ Klimafaktor $KF = 2690 \text{ Kd} / 2342 \text{ Kd} = 1,15$ (Witterungsberreinigung des Messjahres 2015-2016 im Verhältnis zum Messjahr 2014-2015)

6.6.2 Wärmepumpe

Für die Beurteilung der Effizienz der Wärmepumpe wird im Folgenden die Jahresarbeitszahl aus den zur Verfügung stehenden Messwertangaben bestimmt.

Die Angabe zur Jahresarbeitszahl (JAZ) (s. folgende Tabelle) berücksichtigt die von der WP bereitete Wärmemenge sowie den Strombedarf der Wärmepumpe inklusive Heizstab. Die Wärmemenge des Heizstabs wird über dessen Strombedarf angerechnet. Die Speicherverluste sind in der Berechnung nicht berücksichtigt, da in der Wärmemengenzählung am Speicherausgang die Wärmemenge des Kamins enthalten ist. Der Pumpenstrom der Umwälz- und Zirkulationspumpe findet ebenfalls keine Berücksichtigung, da auch hier die Betriebszeiten des Kamins enthalten sind.

Messzeitraum	JAZ - WP inkl. Heizstab
Mai 2014 – April 2015	3,3
Mai 2015 – April 2016	3,2

Systemgrenzen einer Wärmepumpheizung

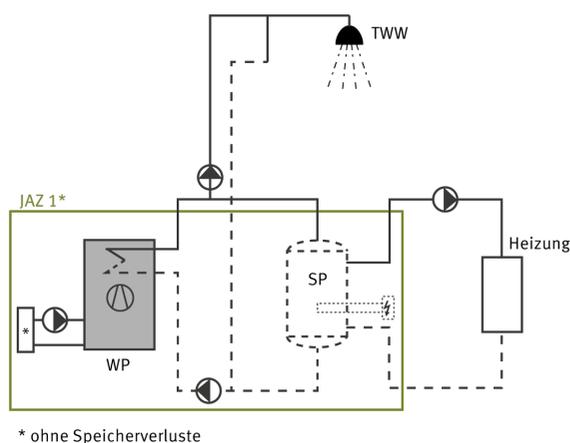


Abb. 67 Bilanzgrenzen der Berechnung der JAZ, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH, basierend auf www.jahresarbeitszahlen.info

Die Angabe der JAZ wird in der Regel nach VDI 4650 für den Bilanzraum 1 (WP-Strom-inkl. Heizstab, exklusive der Speicherverluste) ermittelt, mit deren Anwendungen auch Nachweise für das EEWärmeG geführt werden. Das EEWärmeG fordert für Luft/Wasser-Wärmepumpen (bei Heizwärme- und TWW-Bereitung) eine JAZ von mindestens 3,3.⁵¹ Mit der JAZ des ersten Monitoringjahres befindet sich die Wärmepumpe noch im Regelbereich.

Im zweiten Monitoringjahr ist durch den geringeren Kamineinsatz und einem erhöhten WP-Betrieb zu Zeiten mit niedrigeren Temperaturen im Winter eine

⁵¹ EEWärmeG, Ausfertigungsdatum: 07.08.2008, S. 16

Verschlechterung der JAZ zu vermuten gewesen. Tatsächlich stellte sich mit einer JAZ von 3,2 jedoch nur eine geringfügige Verschlechterung um 0,1 ein. Dies bedeutet, dass auch ohne den hohen Einsatz des Kamins ein effizienter Betrieb gegeben war.

6.6.3 Scheitholzkamin

Über den handbestückten Kamin wurden im ersten Monitoringjahr ~ 2.500 kg Holz verfeuert. Dies entspricht einem Heizwert von ~ 10.063 kWh/a.⁵² Gemäß Herstellerangabe besitzt der Kamin einen Wirkungsgrad von 81 %. Davon werden 71 % an Wärme an die Wassertasche übergeben, der Rest geht über das Sichtfenster (Wärmestrahlung) und über Konvektion direkt an den Raum. In Bezug auf den eingesetzten Heizwert sind dies theoretisch ~ 5.790 kWh/a für die Speicherladung und ~2.360 kWh/a an den Raum.

Gemäß Messung wurde vom Kamin eine Wärmemenge von 3.377 kWh/a (41 %) für die Beladung des Trinkwarmwasser- und Pufferspeichers zur Verfügung gestellt, 18 % Differenz im Vergleich zu der theoretischen Berechnung von 5.790 kWh/a (s. Abb.68). Diese Differenz kann zum Teil mit Wärmeverlusten über die Leitungsführung zu den Speichern begründet werden. Ansonsten kann die Abweichung als moderat eingeschätzt werden.

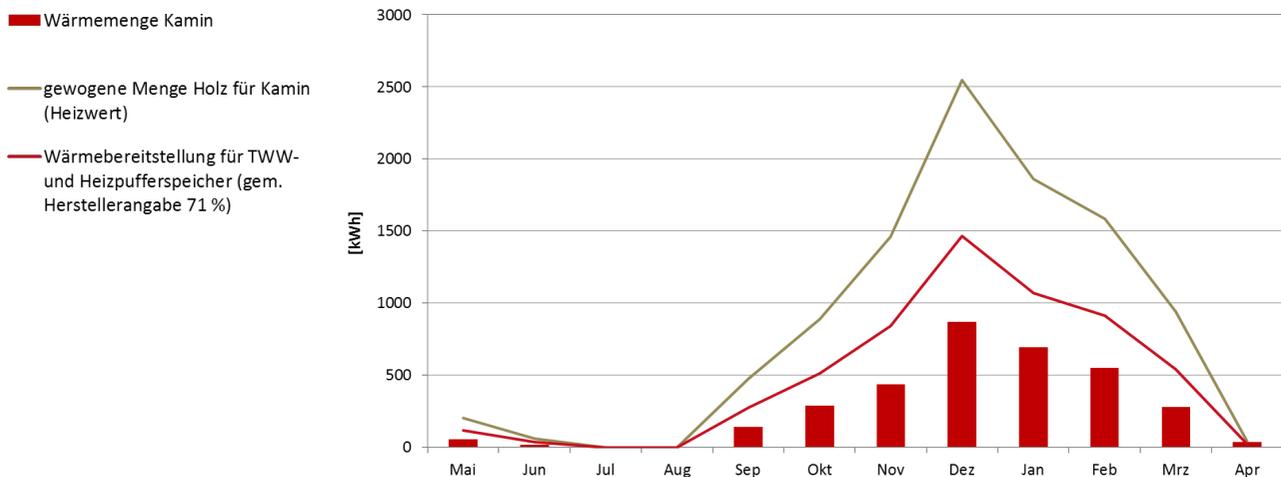


Abb. 68 Holzverbrauch (Heizwert) in Gegenüberstellung mit der gemessenen Wärmeerzeugung (Speicherladung TWW + Heizpufferspeicher) sowie der berechneten Wärmebereitstellung gem. Herstellerangaben (Mai 2014-April 2015), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Der Anteil der Wärmemenge, der direkt dem Raum zur Verfügung gestellt wird, zeigt je nach Kaminbeladung einen deutlichen Temperaturanstieg des Aufstellungsortes des Kamins (Wohnzimmer) um 1°C bis 3 °C.

⁵² Annahme für Heizwertberechnung: 4,02 kWh/kg, Nadelholz, 20 % Feuchte, Quelle: [1]

In der folgenden Grafik ist die Temperaturänderung exemplarisch anhand des Kaminbetriebs am 23.02.15 dargestellt. Die Kaminbeladung (Holzmenge in kg) ist anteilig auf die gemessene Wärmemenge des Kamins für die Speicherladung bezogen. Die tatsächliche Kaminbeladung kann hiervon geringfügig abweichen. Jedoch zeigen die Temperaturmessungen mit dem berechneten Wert eine stimmige Korrespondenz. Insgesamt wurden an diesem Tag 43,5 kg Holz (ein Heizwert von 182,7 kWh) verfeuert.

Die Temperatur im Wohnzimmer zeigt im Zuge des Kaminbetriebs einen Anstieg der Temperatur von ca. 1 bis 2,5°C. Mit einer Höchsttemperatur von ~ 23°C kommt es jedoch zu keiner Überhitzung des Raumes. Die Temperatur der Abluft der Lüftungsanlage wird ebenfalls geringfügig (um 0,3 °C) erhöht und auch in den angrenzenden Räumen (Küche) ist nur ein leichter Temperaturanstieg von ca. 0,7 °C zu verzeichnen. Der über den Flur nach oben offene Luftraum lässt einen Aufstieg der Wärme unter das Dach vermuten. Die Änderung der Temperaturen kann jedoch auch auf ein Stoßlüften und darauffolgende „reguläre“ Beheizung zurückzuführen sein.

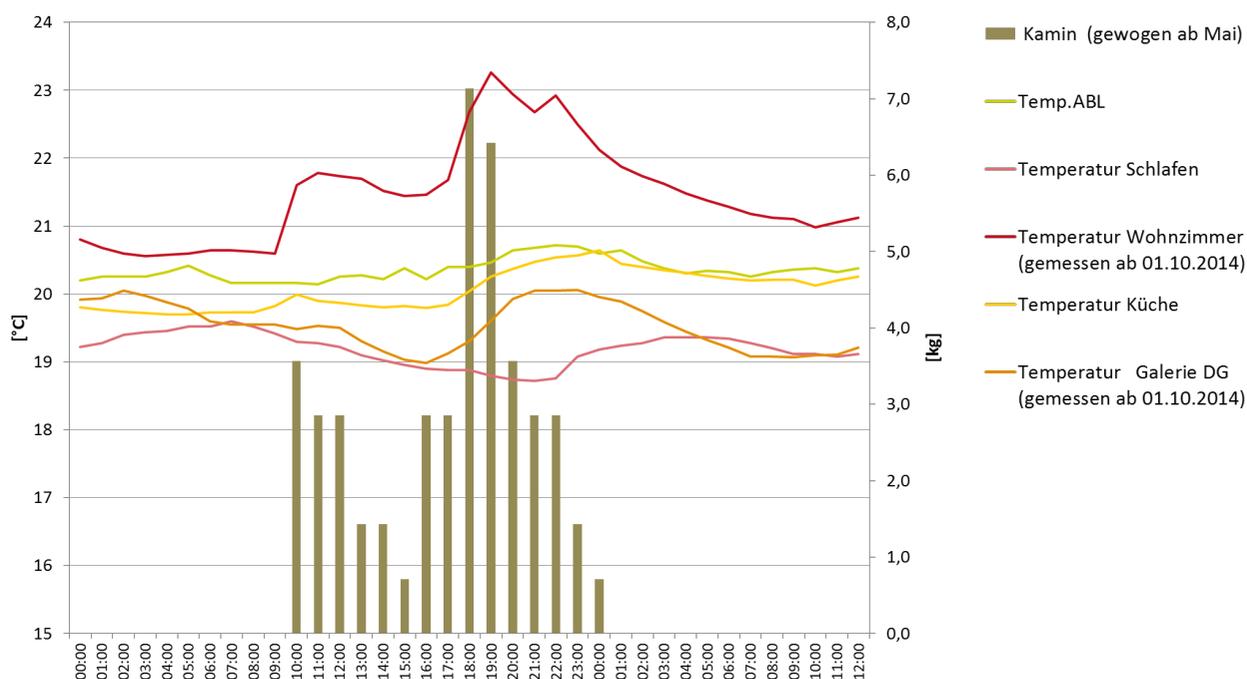


Abb. 69 Temperaturmessung während des Kaminbetriebs am 23.02.15, 0:00 Uhr bis 24.02.15, 12:00 Uhr, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Ein direkter Nutzen der Strahlungswärme des Kamins ist somit hauptsächlich im Wohnzimmer zu spüren, jedoch führt die Wärmeabgabe auch zu keiner deutlichen Überhitzung des Aufstellungsortes. Dies ist mit der höheren Wärmeabgabe des Kamins an die Wassertasche zu begründen (gem. Hersteller

71 % der Wärmebereitstellung⁵³), über die der Kamin indirekt auch zur Beheizung der übrigen Räume sowie zur Trinkwarmwasserbereitung beiträgt. Der direkte Beitrag für die Raumwärme (gem. Hersteller 29 % der Wärmebereitstellung⁵⁴), wäre jedoch aufgrund der vorherrschenden ~20,6 °C nicht zwingend erforderlich gewesen.

6.6.4 Wärmerückgewinnung über die Abluft

Die Lüftungsanlage besitzt nach Herstellerangaben einen Wärmebereitstellungsgrad von 85,4 %.⁵⁵

Auf Grundlage der Messpunkte ließ sich im ersten Monitoringjahr eine Wärmerückgewinnung von ~89 % erzielen. In dieser Berechnung sind die Tagesmitteltemperaturen der Messpunkte der Zu-, Abluft sowie Außenluft nach dem Sole-Wärmetauscher gem. EN 308 berücksichtigt (zusätzliche Wärmegevinne durch z.B. Ventilatoren inbegriffen) (vgl. Abb.20). Der Wärmerückgewinnungsgrad ist für die kältesten Monate (Dezember, Januar, Februar) ermittelt worden. Zugrunde gelegt wurden die niedrigste Tagesmitteltemperatur nach dem Sole-Wärmetauscher von ~5°C. Geringere Temperaturen stellten sich in den Messungen nicht ein.

Im zweiten Monitoringjahr stellte sich mit ~ 2°C die niedrigste Temperatur nach dem Sole-Wärmetauscher im Januar ein. Hier ließ sich eine Wärmerückgewinnung von ~ 83 % erzielen.

Betriebsoptimierung / Lüftungsanlage mit WRG

In den Sommermonaten des ersten Monitoringjahres haben sich in den Räumen sehr hohe Innenraumtemperaturen eingestellt, die auch trotz geringerer Außentemperaturen nicht sanken. Nach Feststellung des Bauherrn und in Betrachtung der Zulufttemperaturen der Sommermonate fällt auf, dass bereits die Zuluft mit zu hohen Temperaturen die Luft in den Raum einbrachte (s. Abb.70, Abb.71). Grund für die zu hohen Temperaturen war ein nicht installierter Bypass der Lüftungsanlage. Dieser wurde am 07.08.2014 nachgerüstet. Nach der Installation konnten wieder deutlich geringere Zulufttemperaturen (s. Abb.72) und sinkende Innenraumtemperaturen festgestellt werden. In den folgenden Monaten pendelte sich die Zulufttemperatur im Monatsmittel um 20 °C ein. Die niedrigste Zulufttemperatur wurde im Februar mit ~17°C gemessen, bei einer Außentemperatur von 5°C und einen Temperaturhub durch den Sole-WT von ~2 K.

⁵³ Mit Berücksichtigung der Erzeugerverluste: Wirkungsgrad 81 %

⁵⁴ Mit Berücksichtigung der Erzeugerverluste: Wirkungsgrad 81 %

⁵⁵ PLUGGIT, Technische Daten, Lüftungsgerät AP310

Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage, im Monatsmittel | Mai 2014 - April 2015

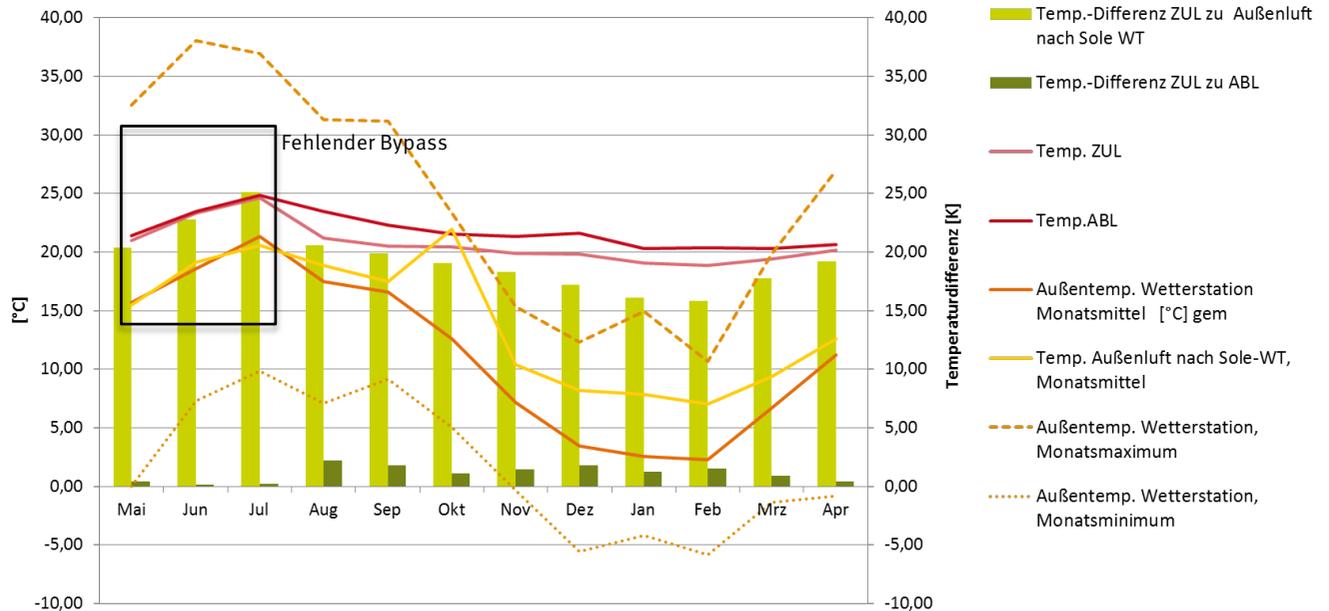


Abb. 70 Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage im Monatsmittel von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage im Tagesmittel | Juli 2014

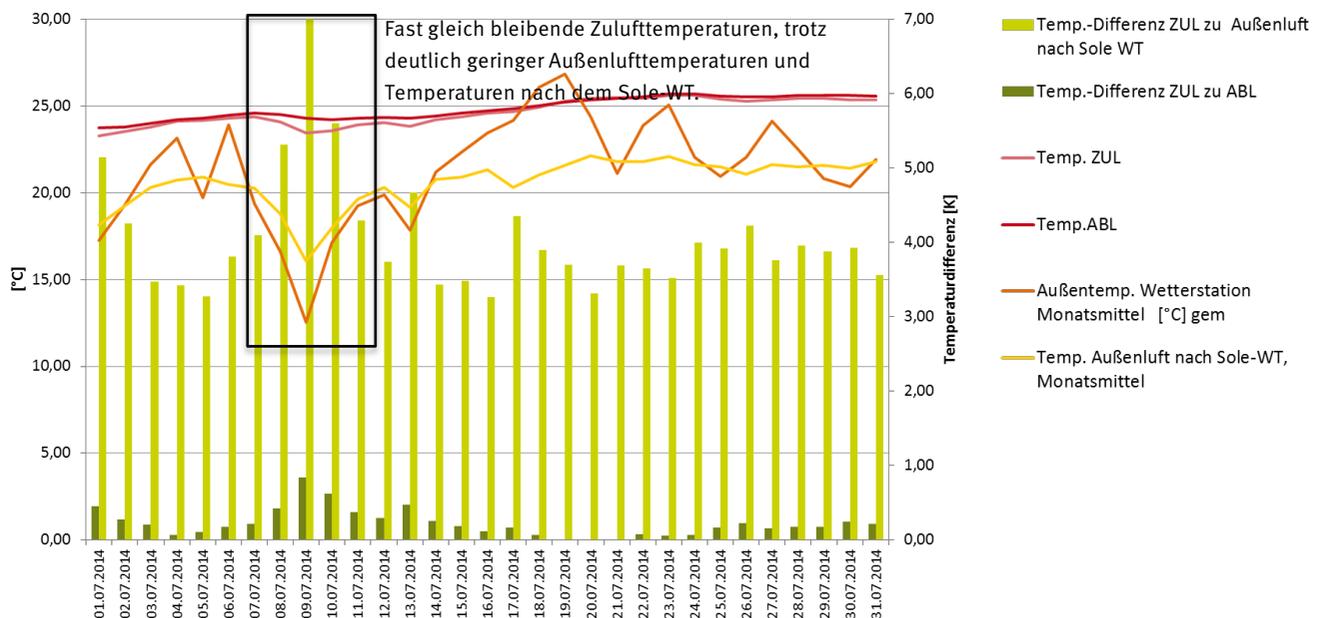


Abb. 71 Ab und Zulufttemperatur der Lüftungsanlage im Tagesmittel, Juli 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage im Tagesmittel | Aug 2014

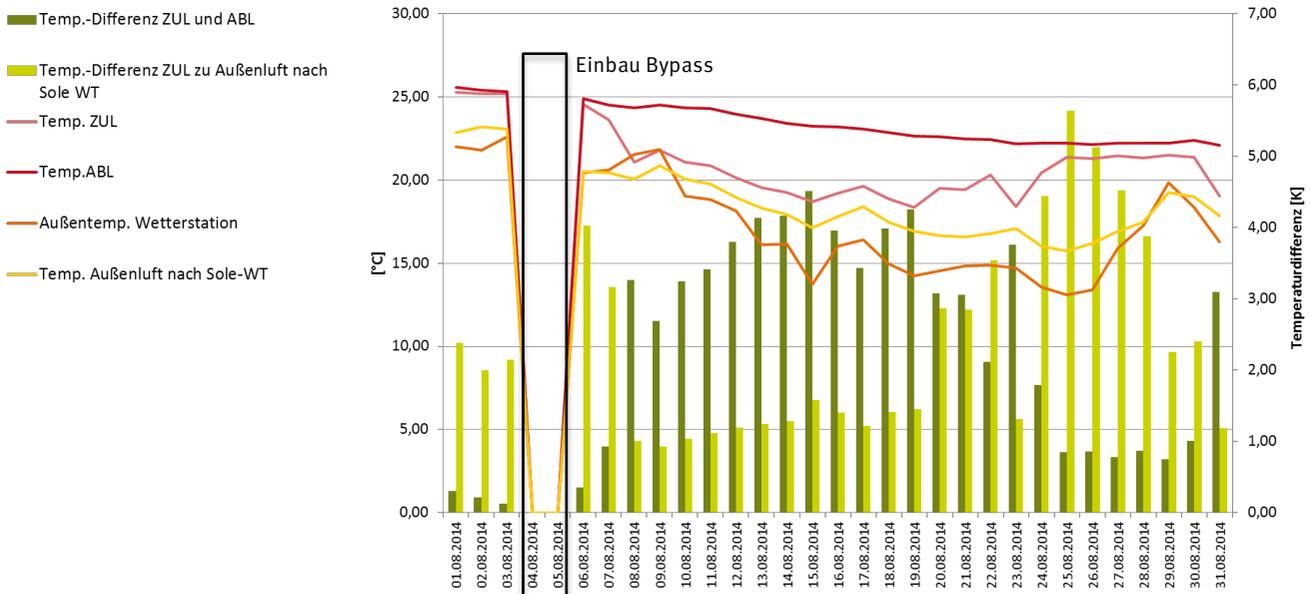


Abb. 72 Ab- und Zulufttemperatur der Lüftungsanlage im Tagesmittel, August 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr zeigte sich, dass die Zulufttemperatur in den Monaten Juli und August 2015 deutlich unter den Temperaturen nach dem Sole-WT lag. Dieser Sachverhalt wird in Kap. 6.6.5 (Betriebsoptimierung / Sole-WT) näher erörtert. In den Monaten mit einer maximalen Außentemperatur von >40°C stieg die Zulufttemperatur im Mittel auf 23°C (maximal auf 26°C) an. In den restlichen Monaten pendelte die Zulufttemperatur im Monatsmittel um 20°C.

Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage, im Monatsmittel | Mai 2015 - April 2016

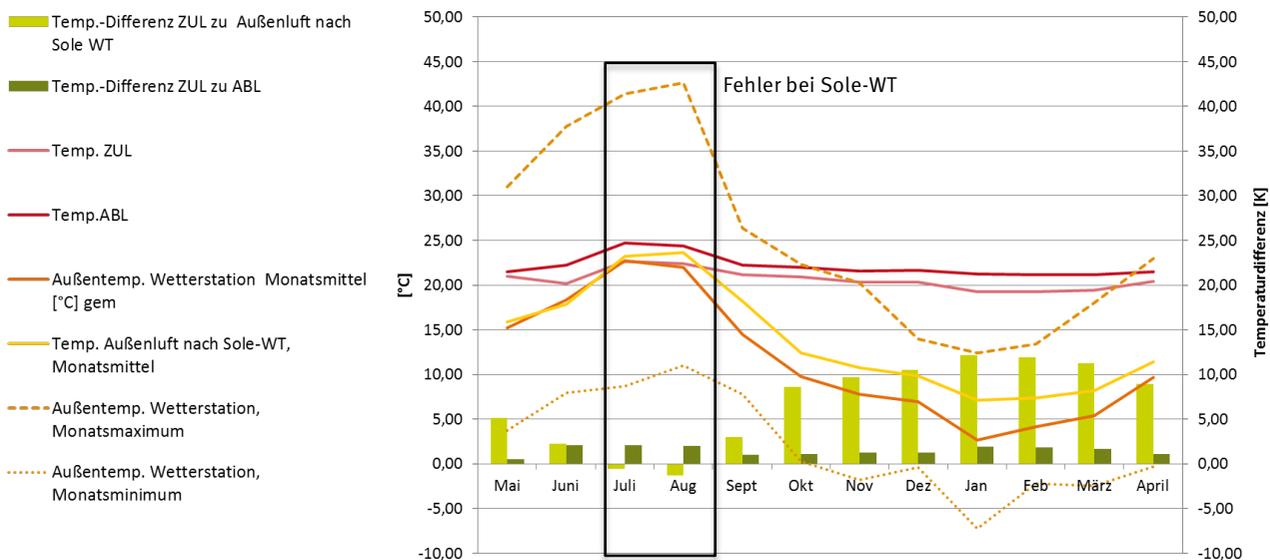


Abb. 73 Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage im Monatsmittel von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

6.6.5 Effizienz des Sole-Wärmetauschers (WT)

Die Vorheiz- bzw. Vorkühlleistung des Sole-Wärmetauschers ist abhängig von der Außentemperatur, der Temperatur des Erdreichs sowie dem Luftvolumenstrom. Nach Herstellerangaben kann eine Temperaturänderung von bis zu 10 K erfolgen.⁵⁶

Die Messungen zeigen, dass im ersten Monitoringjahr ein Temperaturhub bzw. eine -senkung im Maximum von bis zu 8 bis 10 K erzielt werden konnte (s. Abb.74). Die Maxima wurden bei Tiefsttemperaturen der Außenluft von < 0°C und Höchsttemperaturen von > 30°C erreicht. Im Monatsmittel hat der Sole-Wärmetauscher die Temperatur um 1 bis 2 K angehoben bzw. gesenkt.

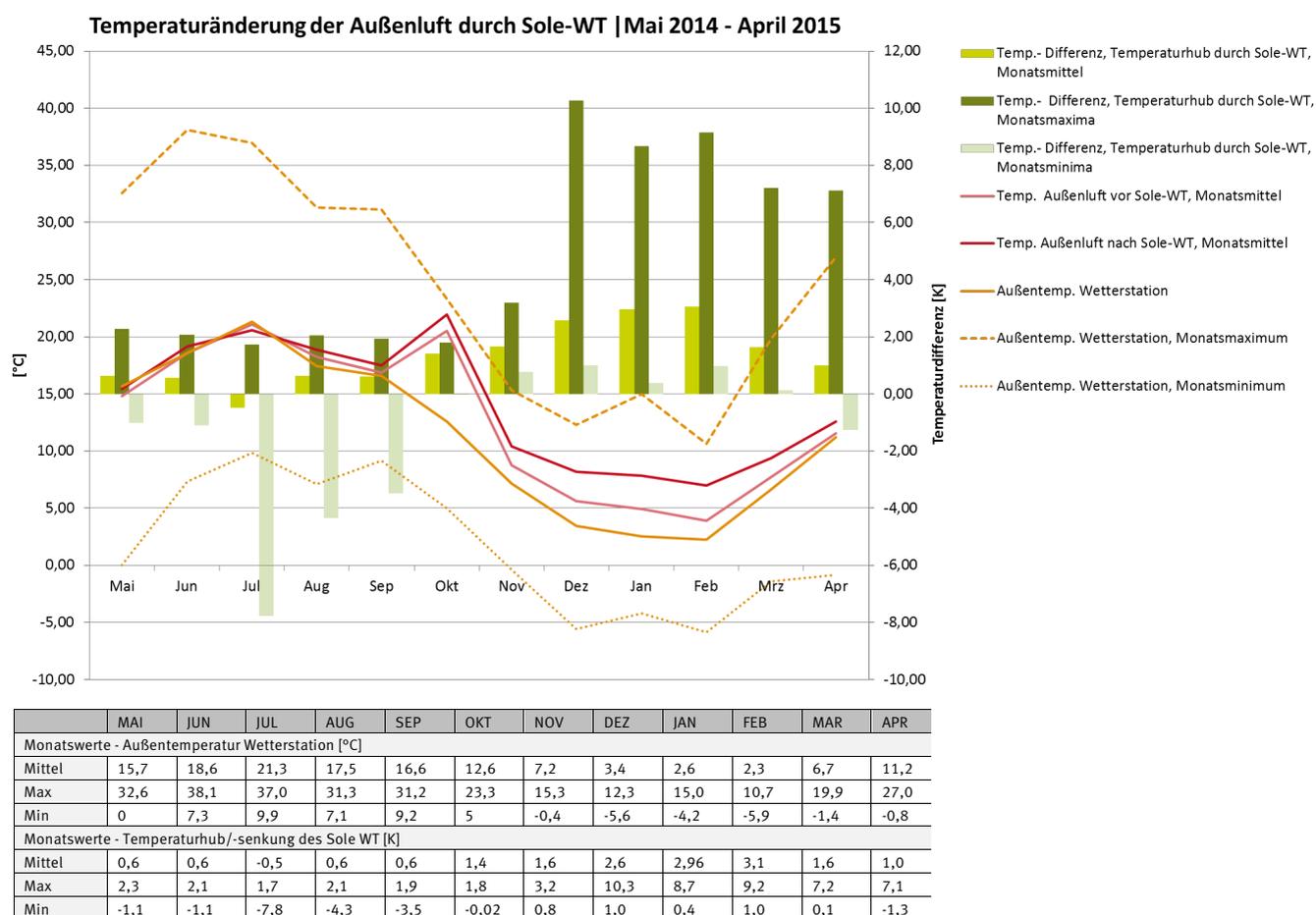


Abb. 74 Temperaturänderungen durch den Sole-Wärmetauscher, Monatsmittelwerte, Maxima und Minima, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr zeigen die Messungen einen Temperaturhub bzw. eine -senkung im Maximum von ~6 bis ~12K (s. Abb.75). Die Maxima wurden

⁵⁶ PLUGGIT, „Betriebs- und Installationsanleitung, Sole-Erdreichwärmetauscher SWT 180“, S.13

bei Tiefsttemperaturen der Außenluft von $\sim -7,0\text{ °C}$ und Höchsttemperaturen von 41 °C erreicht. Im Monatsmittel hat der Sole-Wärmetauscher die Temperatur auch im zweiten Monitoringjahr um 1 bis 2 K angehoben bzw. gesenkt.

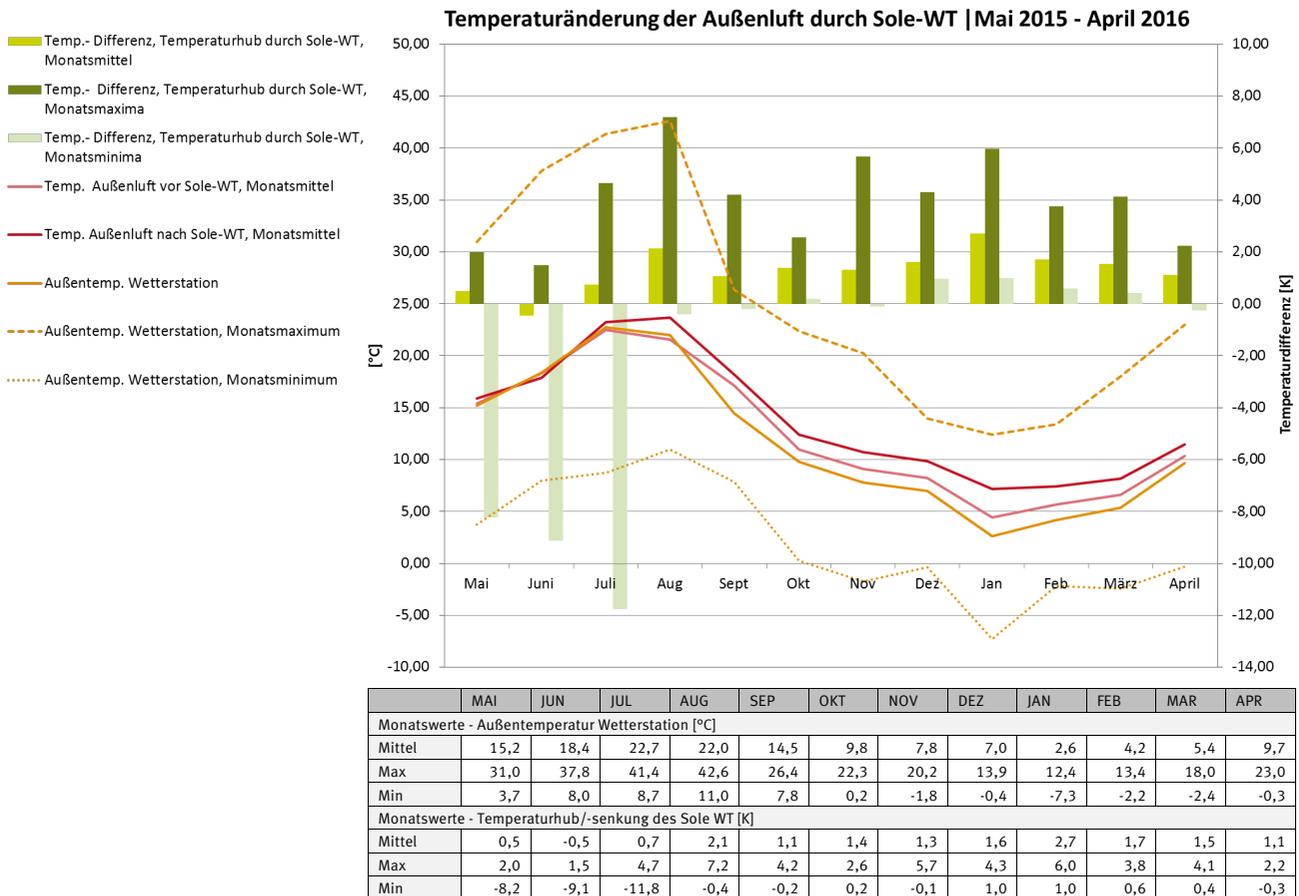


Abb. 75 Temperaturänderungen durch den Sole-Wärmetauscher, Monatsmittelwerte, Maxima und Minima, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Sowohl im ersten als auch im zweiten Monitoringjahr zeigte sich jedoch auch ein Fehlverhalten des Sole-WT, das im Folgenden beschrieben wird.

Betriebsoptimierung / Sole-Wärmetauscher (WT)

Im Juni 2014 stellte der Bauherr fest, dass die Pumpe des Sole-WT heiß läuft. Die Messungen zeigten, dass der Sole-WT trotz hoher Außentemperaturen die Außenluft in einem geringen Temperaturbereich (im Tagesmittel bis $0,8\text{ K}$) weiter anhub (s. Abb.76). Durch eine Funktionsprüfung wurde festgestellt, dass die Pumpe des WT verklemmt war. Nach einer Reparatur zeigten die Messungen des Monats Juli, dass der WT die Außenluft $< 20\text{ °C}$ bis 1 K im Tagesmittel

vorwärmt und $> 20^{\circ}\text{C}$ bis zu 3,5 K vorkühlt (s. Abb.77). Damit konnte wieder von einem funktionsfähigen WT ausgegangen werden.

Temperaturänderung der Außenluft durch Sole-WT, Tagesmittel | Juni 2014

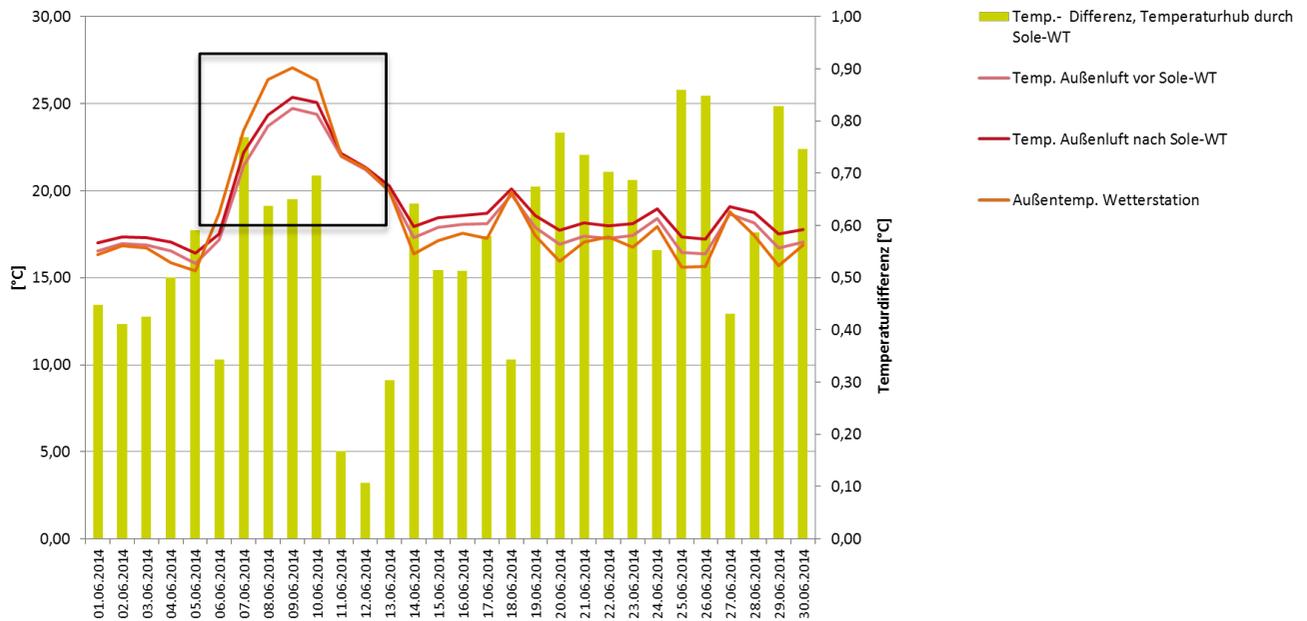


Abb. 76 Temperaturänderung durch den Sole-Wärmetauscher im Tagesmittel, Juni 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Temperaturänderung der Außenluft durch Sole-WT, Tagesmittel | Juli 2014

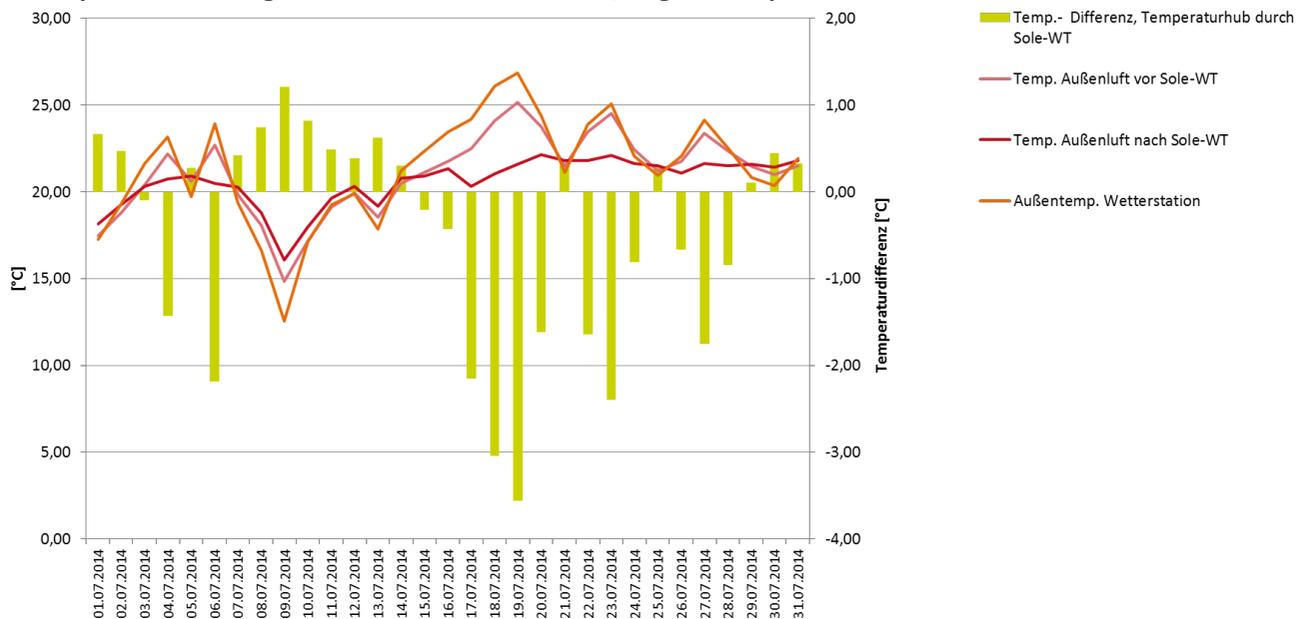
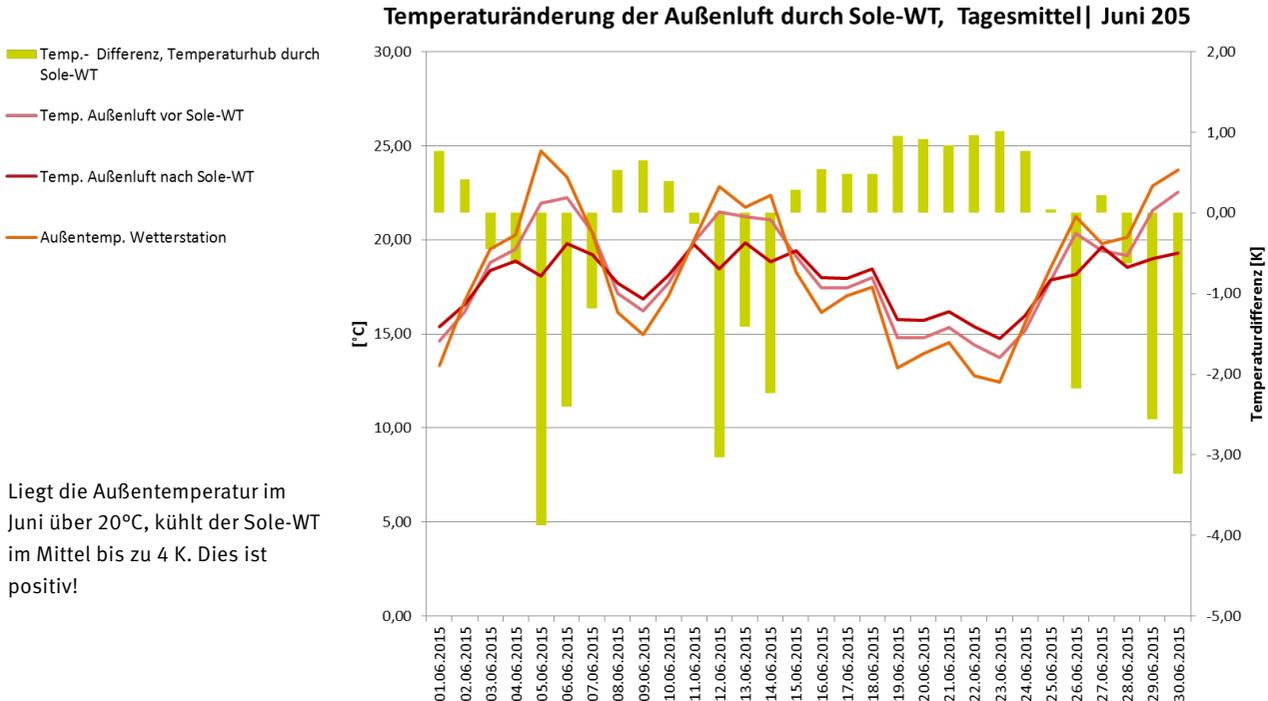


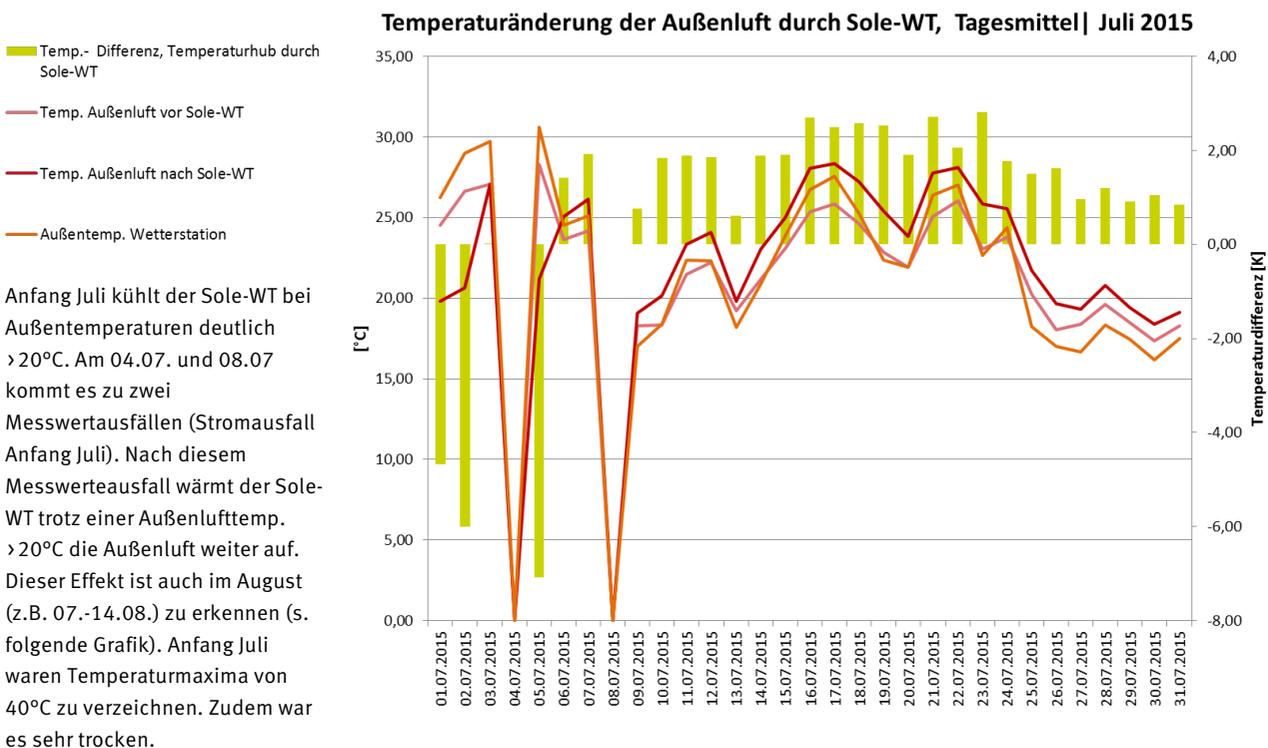
Abb. 77 Temperaturänderung durch den Sole-Wärmetauscher im Tagesmittel, Juli 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im zweiten Monitoringjahr zeigte der Sole-WT in den Monaten Juli bis August 2015 trotz hoher Außentemperaturen ($> 20^{\circ}\text{C}$) eine weitere Temperaturerhöhung der Außenluftzufuhr der Lüftungsanlage an. Dies verdeutlichen die folgenden Messungen (Abb. 78 bis Abb. 81).



Liegt die Außentemperatur im Juni über 20°C , kühlt der Sole-WT im Mittel bis zu 4 K. Dies ist positiv!

Abb. 78 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat Juni 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH



Anfang Juli kühlt der Sole-WT bei Außentemperaturen deutlich $> 20^{\circ}\text{C}$. Am 04.07. und 08.07 kommt es zu zwei Messwertausfällen (Stromausfall Anfang Juli). Nach diesem Messwertausfall wärmt der Sole-WT trotz einer Außenlufttemp. $> 20^{\circ}\text{C}$ die Außenluft weiter auf. Dieser Effekt ist auch im August (z.B. 07.-14.08.) zu erkennen (s. folgende Grafik). Anfang Juli waren Temperaturmaxima von 40°C zu verzeichnen. Zudem war es sehr trocken.

Abb. 79 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Temperaturänderung der Außenluft durch Sole-WT, Tagesmittel | August 2015

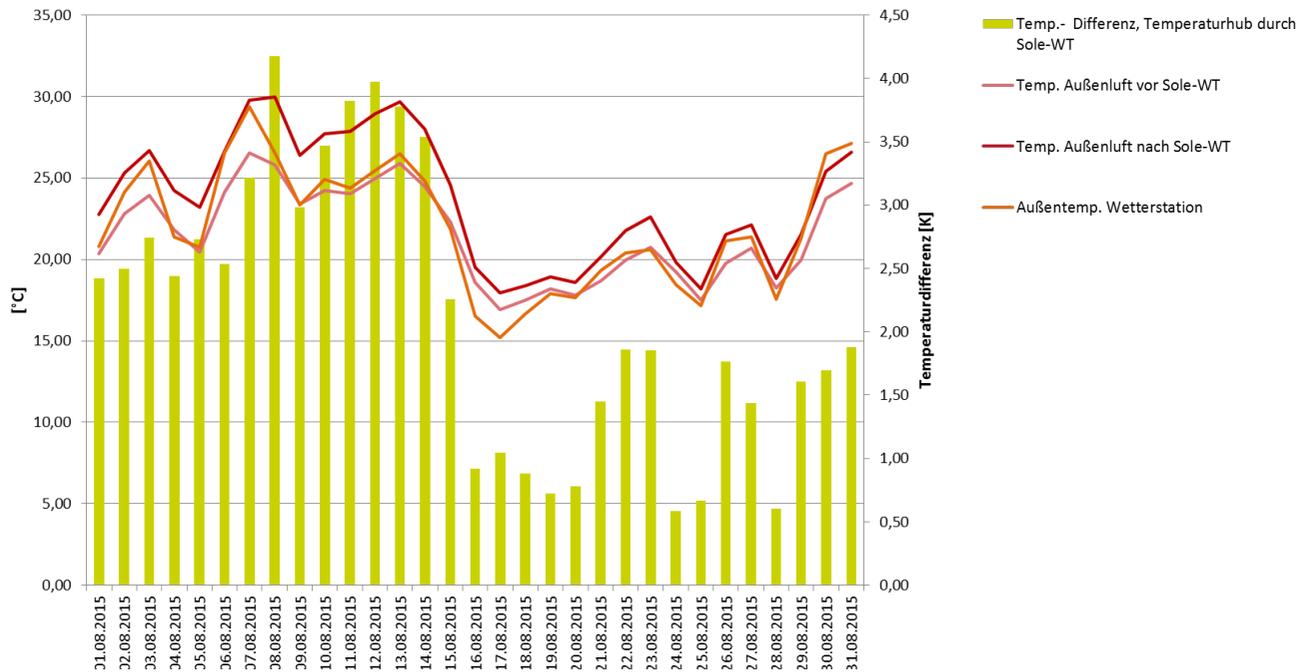
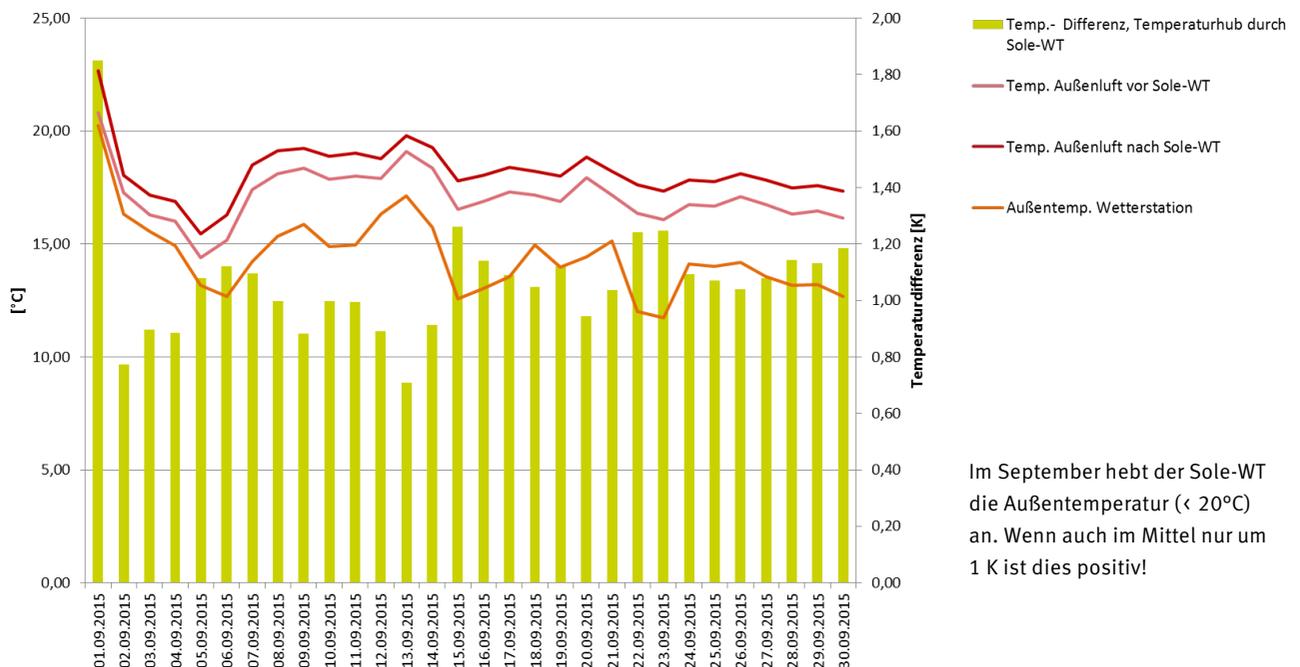


Abb. 80 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat August 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Temperaturänderung der Außenluft durch Sole-WT, Tagesmittel | September 2015



Im September hebt der Sole-WT die Außentemperatur (< 20°C) an. Wenn auch im Mittel nur um 1 K ist dies positiv!

Abb. 81 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat September 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Datum	Uhrzeit	WETTERDATEN			LÜFTUNG					
		Globalstrahlung horizontal	Globalstrahlung senkrecht	Außentemp. Wetterstation (Messung ab 22.05., 9:00 Uhr)	Temp. ZUL	Temp.ABL	Temp.-Differenz zwischen ABL und ZUL	Temp. Außenluft vor Sole-WT	Temp. Außenluft nach Sole-WT	Temp.-Differenz, Temperaturhub durch Sole-WT
		15 min	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min
		[W/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
		gem	gem	gem	gem	gem	ber	gem	gem	ber
29.08.2015	20:45	0	0	24,32	23,04	23,12	0,08	26,16	32,48	6,32
29.08.2015	21:00	0	0	23,68	23,04	23,12	0,08	26,16	32,48	6,32
29.08.2015	21:15	0	0	23,12	23,04	23,04	0	26,16	32,64	6,48

Abb. 82 Temperaturmessungen der Außenluft, der Zu- und Abluft der Lüftungsanlage sowie des Sole-WT (15min-Taktung) am 29.08.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

In Abbildung 82 ist exemplarisch die Messung des 29.08.15 dargestellt. Betrachtet man die Messung, so zeigt sich, dass der Sole-WT die 24grädige Außenluft auf 32 °C aufheizt. Die Zulufttemperatur geht jedoch mit 23°C in den Raum ein. Der Bypass war gemäß Aussage des Bauherrn aktiv. So lässt sich nur vermuten, dass die Messangabe des Sole-WT nicht korrekt ist und der Sole-WT weiterhin aktiv war.

In einer Betriebskontrolle Anfang Februar 2016 hat der Hersteller die Steuerungseinheit des Sole-WT getauscht. Außerdem war aufgefallen, dass kein Druck mehr auf der Soleflüssigkeit war. Dies wurde ebenfalls behoben. Eine Kontrolle der korrekten Funktion des Sole-Wärmetauschers kann erst im kommenden Sommer an Tagen mit heißen Außentemperaturen nach dem Monitoring erfolgen.

6.7 Innenraumtemperaturen und Behaglichkeit

Die Messungen der Innenraumtemperaturen im ersten Monitoringjahr (Mai 2014 - April 2015) zeigen, dass während der Heizperiode⁵⁷ die Temperaturen im Mittel bei ca. 20°C (s. Anlage, 12.1.4) lagen. Damit lag eine im Durchschnitt behagliche Temperatur vor, zudem wurde nicht übermäßig geheizt.

Eine Ausnahme bilden die Messungen des Wohnzimmers, sowie des Schlafzimmers, die in der Heizzeit des ersten Monitoringjahres im Mittel 2-3°C höher waren. Dieser Temperaturunterschied bedingte sich jedoch nicht durch einen höheren Heizbetrieb, sondern über eine fehlerhafte Messung.

Vergleichsmessungen in denselben Räumen zeigten, dass hier die Temperaturmessungen der Fühler des Monitorings durchgehend um ca. 3°C höhere Temperaturen anzeigten (s. Abb.83). Gerade im Schlafzimmer waren in den Wintermonaten Temperaturen von im Monatsmittel bis zu 24°C nach Angaben des Bauherrn nicht realistisch. Im Februar 2015 wurden die Sensoren daher einem Temperaturabgleich unterzogen (s. Abb.84).

In den Sommermonaten des Jahres 2014 wies das Schlafzimmer im Monatsmittel vor dem Temperaturabgleich Temperaturen von bis zu 28,6°C auf. Auch mit einer rechnerischen Reduktion von 3 K, waren es zu dieser Zeit noch 25,6°C. Grundsätzlich ließ sich feststellen, dass die Temperaturen des Schlafzimmers in den Sommermonaten z.T. stark erhöht waren. Dies ist unter anderem mit der Lage des Schlafzimmers unter dem Dach sowie mit einem unverschatteten Dachfenster zu begründen. Das nord-östliche Dachfenster wurde daher im Mai 2015 mit einem außenliegenden Sonnenschutz versehen.

Die Messungen im zweiten Monitoringjahr (Mai 2015 – April 2016) zeigen, dass während der Heizperiode⁵⁸ die Temperaturen im Mittel bei ca. 20°C – 21,5°C (s. Anlage, 12.1.4) lagen. Die höheren Temperaturen besitzen die Wohn- und Arbeitsräume, wie Wohnzimmer, Küche und Studio mit 21-21,5 °C im Monatsmittel. Das Schlafzimmer und die Kinderzimmer weisen um 20°C im Monatsmittel auf. Die höchsten Raumtemperaturen waren im Juli und August mit im Mittel 23 – 25°C zu verzeichnen. In diesen Monaten wurden jedoch auch Außentemperaturen von > 40°C erreicht. Im Schlafzimmer, in dem im Vorjahr im Mittel 26°C in den Sommermonaten vorherrschte, stellten sich im zweiten Jahr in diesen Monaten – trotz extremer Außentemperaturen – im Monatsmittel 24 – 25 °C ein.

⁵⁷ Heizperiode: Oktober 2014 bis April 2015

⁵⁸ ebd.

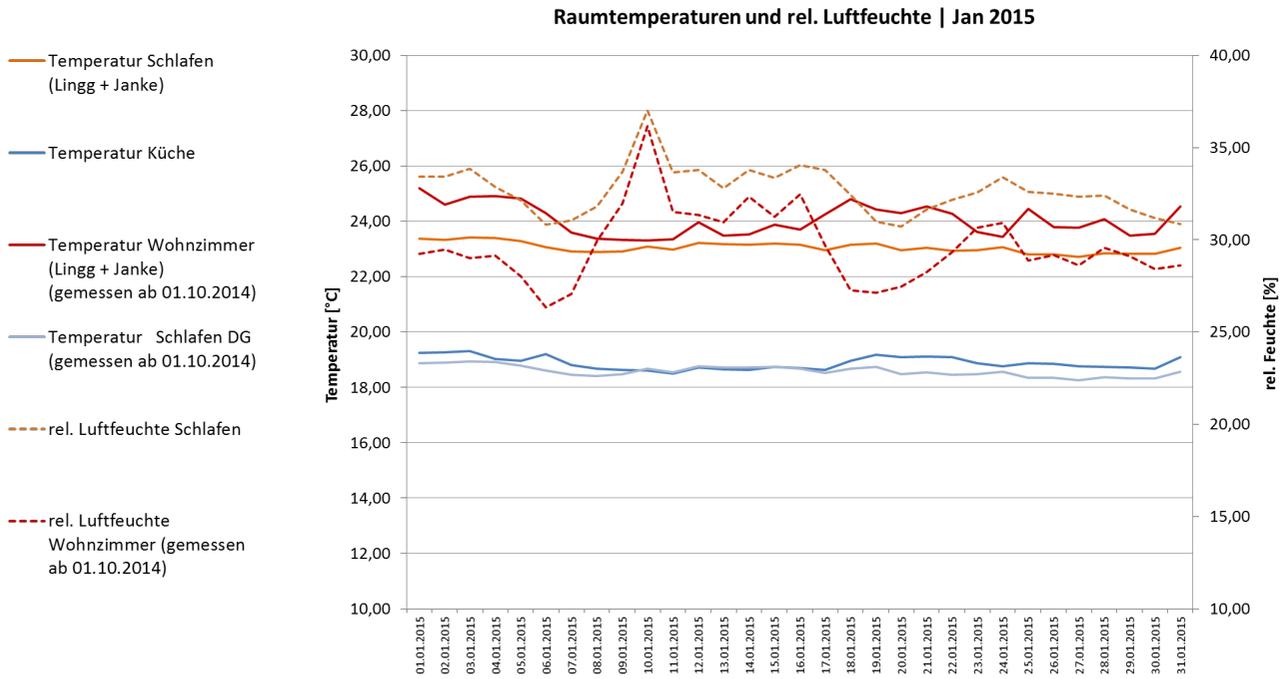


Abb. 83 Raumtemperaturen und rel. Raumlufffeuchte der Räume Schlafen, Wohnzimmer, Küche des Monat Januar 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

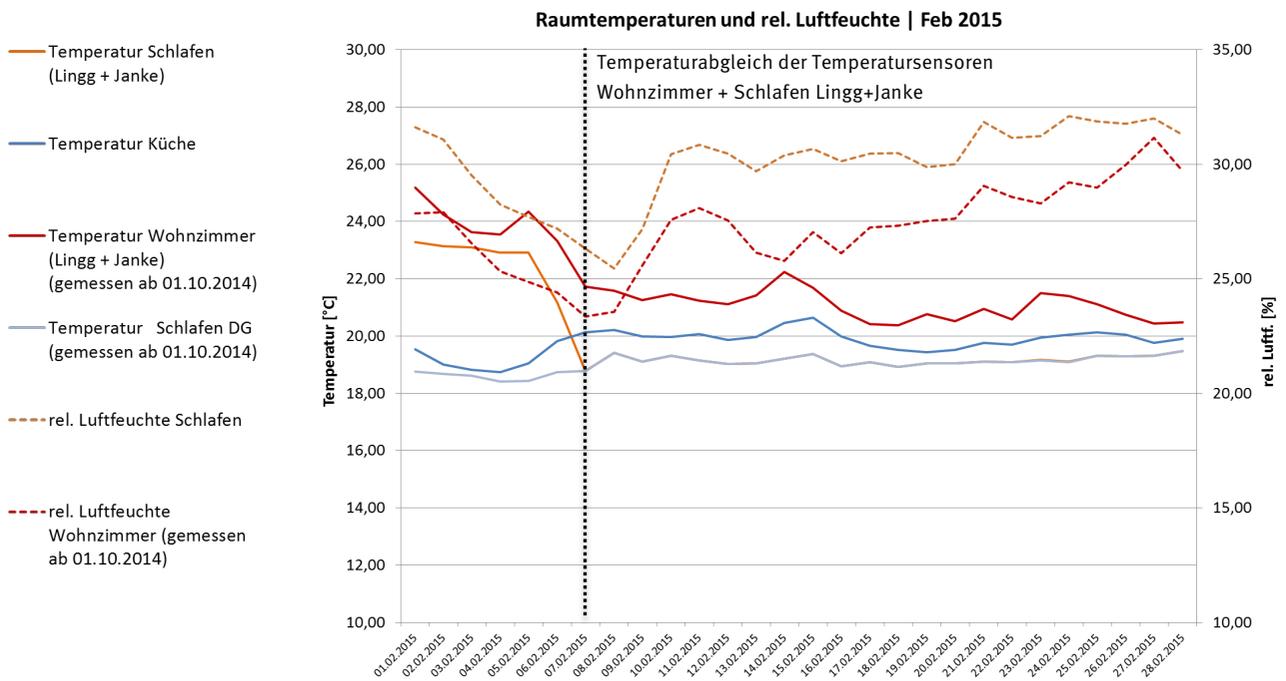


Abb. 84 Raumtemperaturen und Raumlufffeuchte der Räume Schlafen, Wohnzimmer, Küche des Monat Februar 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Die Messungen der relativen Luftfeuchte in Wohn- und Schlafzimmer zeigen in beiden Monitoringjahren in den Sommermonaten im Monatsmittel 40 % - 50 rel. Feuchte und in den Wintermonaten im Monatsmittel 28- 32 % rel. Feuchte an (s. Anlage, 12.1.5). Gerade im Winter war dies ein Indiz für trockene Raumluft. Jedoch wiesen auch hier Vergleichsmessungen höhere Abweichungen (bis zu 20 %) auf. So zeigte bspw. eine Vergleichsmessung im Schlafzimmer anstelle von 37 % rel. Feuchte (gem. Monitoring) 46 % rel. Feuchte (gem. Vergleichsmessung) bei gleicher Raumtemperaturmessung an. Nach Angabe des Bauherrn ließ das Raumempfinden zudem nicht auf übermäßig trockene Luft schließen.

6.7.1 Bewertung der thermischen Behaglichkeit

Im Folgenden wird eine Behaglichkeitsbewertung mit den Messwerten des Hauses auf Grundlage der DIN EN 15251:2007 vorgenommen. Bei der DIN EN 15251 beziehen sich Richtwerte einer „operativen“ Temperatur – auch Empfindungstemperatur genannt – immer auf die zeitgleiche Außenlufttemperatur. Der Hintergrund ist, dass man bei hohen Außentemperaturen sehr niedrige Innenraumtemperaturen nicht immer als behaglich empfindet. Das gleiche gilt für sehr niedrige Außentemperaturen und hohe Innenraumtemperaturen. So ist das thermische Behaglichkeitsempfinden im Innenraum auch immer in Abhängigkeit mit der Jahreszeit und der dort vorherrschenden Außentemperatur zu beurteilen.

Die Abbildungen 85-87 zeigen den behaglichen Bereich operativer bzw. empfundener Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur. Der empfohlene Komfortbereich befindet sich innerhalb der grau angelegten Fläche. Dabei wird von einer überwiegend sitzenden, ruhigen Tätigkeit ausgegangen. Zudem ist in diesem Temperaturbereich die Anpassung der Behaglichkeit über die Kleidung möglich.

Bei hohen Außentemperaturen im Sommerbetrieb und bei kurzzeitig auftretenden hohen thermischen Lasten wird ein Anstieg der empfundenen Raumtemperatur zugelassen (oberhalb 26°C). Häufig wird die Kühllast von Räumen nicht nur von den Außen-, sondern von den thermischen Innenlasten bestimmt. Treten diese Lasten nur kurzzeitig auf, so darf die operative Raumtemperatur ebenfalls ansteigen. Bei bestimmten Lüftungssystemen (z.B. in den Bodenauslässen, wie bei dem Pro-Klima-Haus) können operative Raumtemperaturen von 20° C und 22°C ohne weiteres als behaglich eingestuft werden.⁵⁹

⁵⁹ K. Daniels, Technologie des ökologischen Bauens Grundlagen und Maßnahmen, Beispiele und Ideen, 2. erweiterte Auflage, Birkhäuser Verlag, 1999

Die operative Temperatur entspricht dem arithmetischen Mittel zwischen der Raumlufttemperatur und der gemittelten Oberflächentemperatur des Raumes, wie Wand-, Fenster- und Heizflächen.⁶⁰ Da Oberflächentemperaturen in der Messung des Monitorings nicht erfasst wurden, wird sich auf die Innenraumtemperatur bezogen. Die operative Raumtemperatur kann davon leicht abweichen. Da es sich um einen nahezu Passivhausstandard der Fassaden handelt, wird von einem geringen Temperaturgefälle zwischen Wandoberflächen und Innenraumtemperatur ausgegangen. Die Behaglichkeitsgrenzen in den folgenden Grafiken wurden gem. DIN 15251 beibehalten.

Um einen Wohn- und einen Schlafbereich zu betrachten wurden exemplarisch das Wohn-, ein Kinderzimmer sowie das Elternschlafzimmer im Dachgeschoss gewählt. Dargestellt sind die Temperaturen des Messjahres Mai 2015 – April 2016 im Stundenmittel. Da die Temperatursensoren im Schlaf- und Wohnzimmer im Februar 2015 einem Temperaturabgleich unterzogen wurden (s. dazu Kap.6.7), wird sich in dieser Auswertung auf das zweite Monitoringjahr beschränkt.

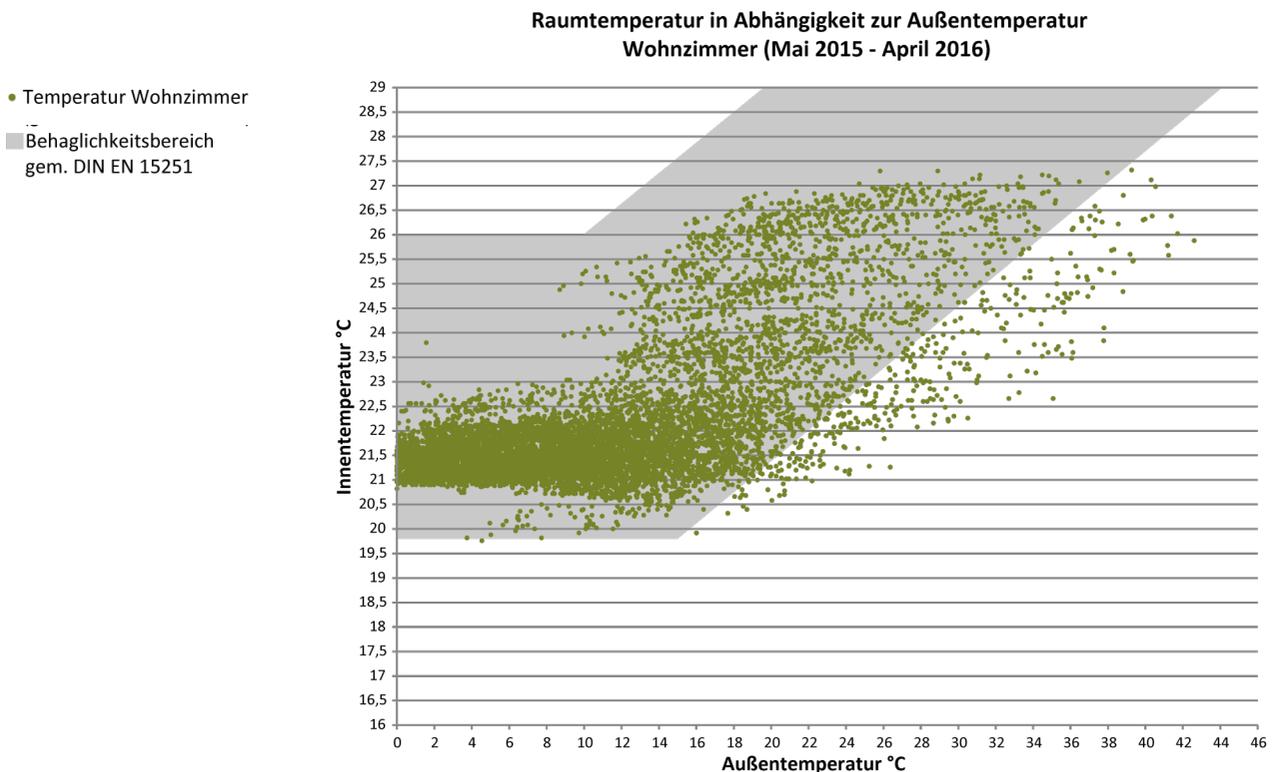


Abb. 85 Innenraumtemperatur in Abhängigkeit zur Außentemperatur im Stundenmittel des Wohnzimmers, im Messzeitraum Mai 2015-April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

⁶⁰ www.energynet.de; dena Broschüre „Thermische Behaglichkeit in Niedrigenergiehäusern“

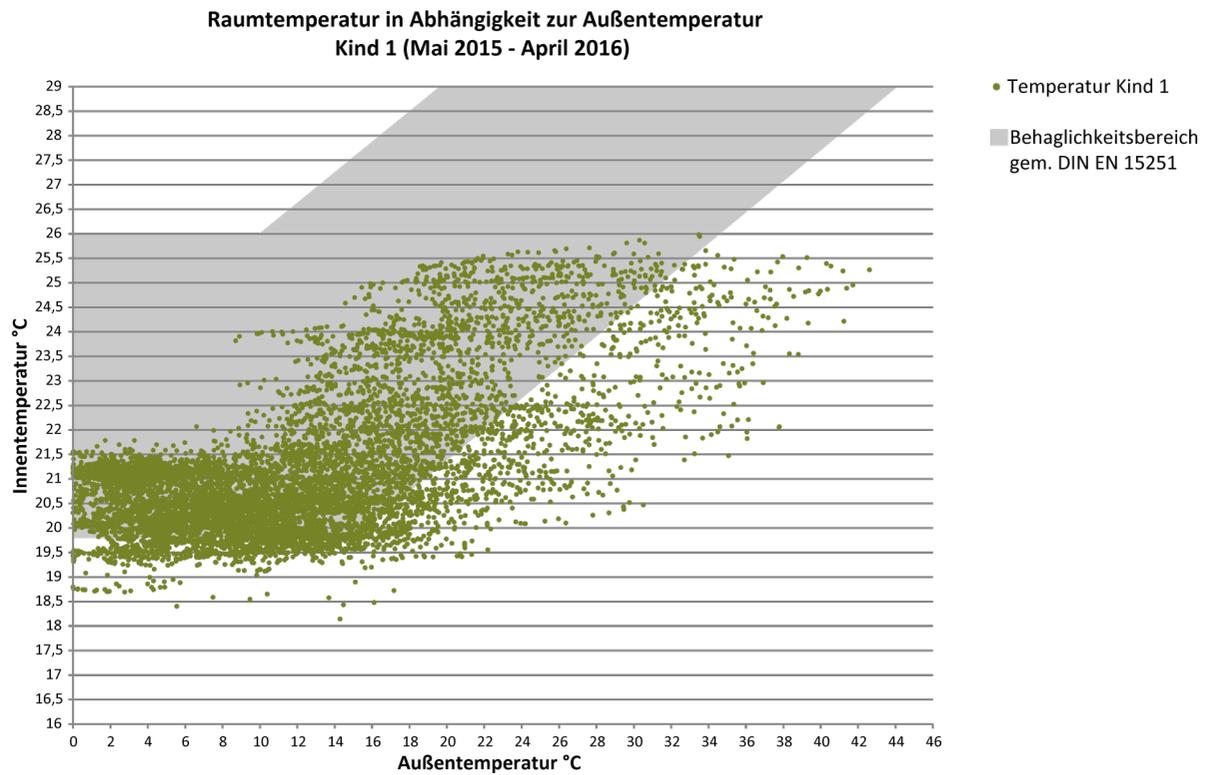


Abb. 86 Innenraumtemperatur in Abhängigkeit zur Außentemperatur im Stundenmittel des Kinderzimmers, im Messzeitraum Mai 2015-April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

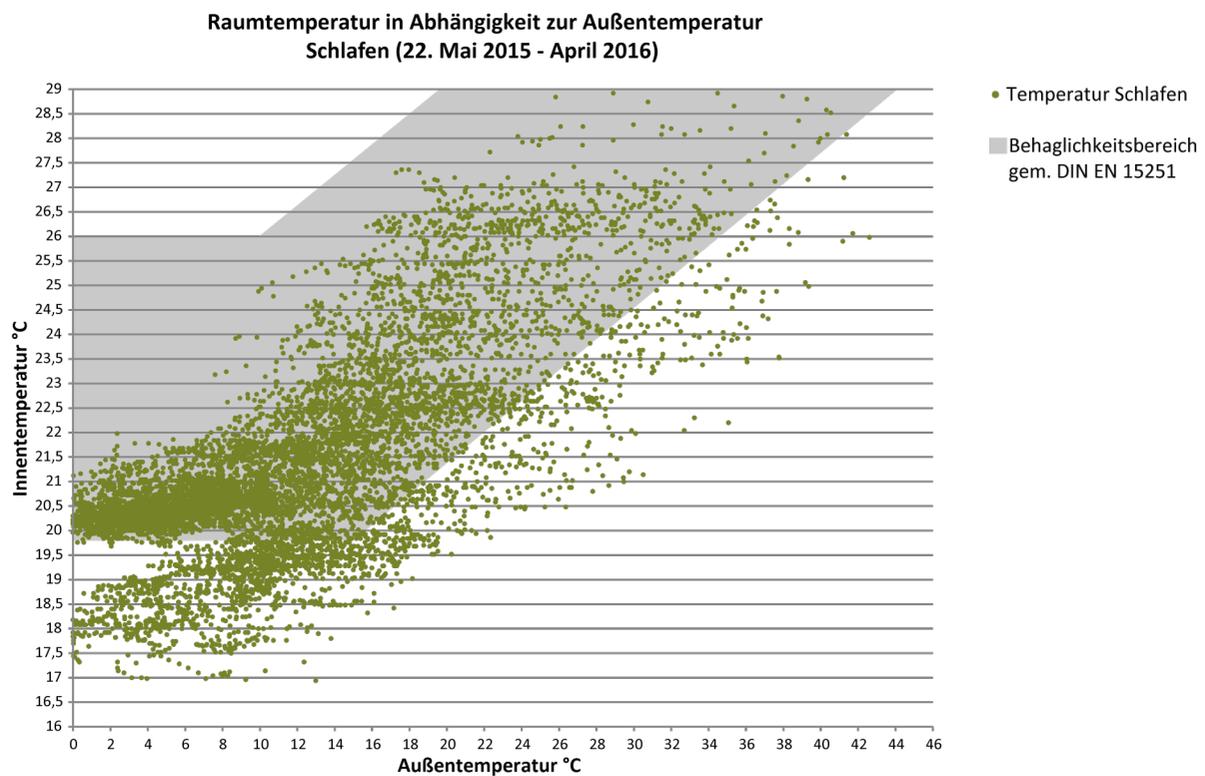


Abb. 87 Innenraumtemperatur in Abhängigkeit zur Außentemperatur im Stundenmittel des Schlafzimmers, im Messzeitraum Mai 2015-April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Im Wohnzimmer liegt die Innentemperatur im Stundenmittel bei einer Außentemperatur von 0°C bis 16°C überwiegend zwischen 20°C und 21°C und damit behaglichen Bereich (s. Abb.85).

Das Kinderzimmer besitzt bei einer Außentemperatur von 0°C bis 16°C überwiegend niedrigere Temperaturen zwischen 19,5°C und 21,5°C (s. Abb.86). Da es sich um einen Schlaf- bzw. Spielraum handelt (geringere Temperaturen erwünscht bzw. höhere Aktivität) sind diese Temperaturen auch unterhalb des Behaglichkeitsbereichs nach DIN EN 15251 als zulässig einzuschätzen.

Das Schlafzimmer weist vereinzelt höhere Innentemperaturen bis 29° C bei Außentemperaturen >25°C auf (s. Abb.87). Dies kann mit der Verortung des Schlafzimmers unter dem Dach und dem ggf. teilweise unverschatteten Dachfenster begründet werden. Bei einer Außentemperatur von 0°C bis 12°C liegt die Innenraumtemperatur überwiegend im Bereich von 20°C bis 21°C und damit im behaglichen Bereich. Zudem stellte sich auch bei einer Außentemperatur von 0°C bis 18°C Innentemperaturen im Bereich von 17°C bis 19,5°C ein. Diese sind gem. DIN EN 15251 nicht mehr als behaglich zu bewerten. Da es sich jedoch um einen Schlafräum handelt (geringere Temperaturen erwünscht) sind diese Temperaturen auch unterhalb des Behaglichkeitsbereichs als zulässig einzuschätzen.

7. Kosten / Wirtschaftlichkeit

Im folgenden Kapitel wird die Wirtschaftlichkeit des Effizienzhaus Plus-Standards gegenüber einem konventionellen EnEV-Standard betrachtet. Dafür wurden die energetisch relevanten Investitionskosten der Kostengruppe 300 und 400 sowie die jährlichen Betriebskosten des Effizienzhaus Plus dem Referenzgebäude gemäß Bilanz nach EnEV 2009 gegenübergestellt.

Berechnungsgrundlagen des Referenzgebäudes

Die Hülle betreffend wurde für das Referenzgebäude eine monolithische Fassade aus einem Dämmziegel mit einer Tiefe von 30 cm und einem U-Wert von $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ zugrunde gelegt. Gegenüber dem Effizienzhaus Plus-Standard besitzt dieser damit eine 12,5 cm geringere Fassadenstärke. Die erdberührten Bauteile besitzen einen U-Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, welche in der Betrachtung mit einer XPS-Dämmung von 12 cm (Wand) und 6 cm (Bodenplatte), WLK 035 erlangt werden. Der U-Wert des Daches von $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ wird mit einem identischen Dachaufbau und 24 cm Mineralwolle, WLK 035, erzielt. Die Fenster besitzen einen U_w von $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, die Dachfenster von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da die Kellerfenster (Kunststoff) des Effizienzhaus Plus mit einem U_w von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ gegenüber dem Referenzstandard keine merkliche Kostenänderung erfahren, wurden diese Kosten in der Gegenüberstellung für das Referenzgebäude beibehalten. Abweichend zum Referenzgebäudestandard wird der außenliegende Sonnenschutz für beide Standards gleichermaßen veranschlagt.

Die Gebäudetechnik betreffend besitzt das Referenzgebäude einen Gas-Brennwertkessel, eine Solarthermieanlage (Kombisystem mit Flachkollektoren) zur Unterstützung der Trinkwarmwasserbereitung sowie eine zentrale Abluftanlage.

7.1 Baukosten und laufende Kosten

Die Baukosten des Bauvorhabens im Effizienzhaus Plus-Standard belaufen sich inklusive Garage und Hof insgesamt auf $\sim 650.000 \text{ €}$ (brutto) bei 358 m^2 BGF ($\sim 1.800 \text{ €/m}^2$ BGF (brutto)). Das Gebäude ist sehr hochwertig gebaut (u.a. Holz-Alu-Fenster) und damit mit einem gehobenen Standard zu bewerten. Dies ist bei dem folgenden Kostenvergleich zu berücksichtigen.

In der Tabelle (Abb.88) sind jene energetisch relevanten Baukosten im Einzelnen aufgeführt, die gegenüber dem Effizienzhaus Plus-Standard eine Kostenänderung bedingen. Dieser Anteil wurde auf die Gesamtsumme der Investitionskosten für das Gebäude (inkl. Garage und Hof) bezogen und die Mehrinvestition ermittelt.

In Bezug auf die Gesamtkosten des Gebäudes bedingt der Effizienzhaus Plus-Standard unter den getroffenen Annahmen eine Mehrinvestition von $\sim 9,6 \%$

(~56.970 € inkl. MwSt) gegenüber dem Referenzgebäude. Bei ausschließlicher Betrachtung der energetisch relevanten Kosten ergeben sich beim Effizienzhaus Plus Mehrinvestitionen von 68 %.

In der darauffolgenden Tabelle (Abb.89) sind die Betriebskosten des Effizienzhaus Plus dem Referenzgebäude gegenübergestellt. In der Betrachtung des Effizienzhaus Plus-Standards sind sowohl die Kosten auf die Bedarfsgrößen der Bilanz als auch die reale Messung des ersten Monitoringjahres bezogen dargestellt.

Nach Messung sind im ersten Monitoringjahr Energiekosten von ~1.320 € (netto) angefallen (ca. 250 € für Holz à 0,10 ct/kWh und 1.067 € à 0,23 ct/kWh für Netzstrombezug). Mit einer Netzeinspeisung von ~5.270 kWh konnte eine Einspeisevergütung von ~685 € verdient werden. Wartungskosten sind in dem ersten Monitoringjahr ca. 130 € (netto) für den Filterwechsel der Lüftungsanlage angefallen. Werden Wartung- und Instandhaltungskosten pauschal pro Jahr für die gesamte Gebäudetechnik veranschlagt, belaufen sich die Betriebskosten im Jahr auf ~1.422 € (netto) (1.692 € (brutto)).

Im zweiten Monitoringjahr wurde an Holzverbrauch eingespart, jedoch mehr Netzstrom bezogen. Obwohl der PV-Eigengebrauch von 26 % auf 30 % gesteigert und damit an Netzstrombezug eingespart werden konnte, war der Netzstrombezug aufgrund des deutlich erhöhten Wärmepumpenbetriebs im Vergleich zum ersten Jahr weiterhin höher. Zudem sind die Kosten pro kWh Strom auf ~0,24 €/kWh (netto) gestiegen. So erhöhten sich die Betriebskosten auf 1.407 € (netto). Über die Einspeisevergütung konnten ~672 € verdient werden. Mit Wartung- und Instandhaltungskosten belaufen sich die Betriebskosten im Jahr auf ~1.525 € (netto) (1.815 € (brutto)).

Werden den Energiekosten die bilanzierten Bedarfe des Effizienzhaus Plus-Standards zugrunde gelegt, so belaufen sich die jährlichen Kosten (unter Berücksichtigung der pauschalen Annahmen für Wartung und Instandhaltung) auf ~1.287 € (netto) (~1.532 € (brutto)). Die geringeren Kosten lassen sich zum einen mit dem geringeren Holzverbrauch im Vergleich zum ersten Jahr, als auch mit dem nach Bilanz höheren Eigengebrauch von 50 % in Bezug auf 9.420 kWh PV-Ertrag gegenüber real 26 % - 30 % Eigengebrauch bei einem PV-Ertrag von ~7.100 kWh – ~7.300 kWh begründen.

Im Vergleich zu dem Effizienzhaus Plus-Standard besitzt das Referenzgebäude deutlich höhere Betriebskosten von ~2.630 € (netto) und aufgrund der einfacheren Technik deutlich geringere Wartungs- und Instandhaltungskosten pro Jahr. Insgesamt belaufen sich die jährlichen Betriebskosten so auf 2.830 € netto (3.370 € (brutto)).

Investitionskosten der energetisch relevanten Bauteile / Anlagen (KG 300 und 400)*			
Referenzgebäude EnEV 2009 [€] exkl. MwSt.		Effizienzhaus Plus [€] exkl. MwSt.	
Außenwand			
Ziegelmauerwerk, Unipor PW9, 30 cm, $U_{Aw} = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Maurerkosten	13.180 €	Ziegelmauerwerk, Unipor PW8, 42,5 cm, $U_{Aw} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Maurerkosten	17.940 €
Dach			
Hallerdach-Dämmung, MW, 24 cm, WLK 035; PS-Hartschaum, $U_0 = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Montage	3.780 €	Hallerdach-Dämmung: MW, 24 cm, WLK 035; PS-Hartschaum, 80 mm, WLK 040, $U_0 = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Montage	4.720 €
Wand gegen Erdreich			
Perimeterdämmung der Vertikalbauteile, XPS, 120 mm, WLK 040, $U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Montage	2.630 €	Perimeterdämmung der Vertikalbauteile, XPS 160 mm, WLK 035, $U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Montage	3.810 €
Bodenplatte			
Perimeterdämmung unter der Bodenplatte, XPS, 60 mm, WLK 040, $U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Montage	1.030 €	Perimeterdämmung unter der Bodenplatte, XPS, 120 mm, WLK 035, $U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Montage	1.650 €
Fenster/Türen			
Holz-Alu-Fenster, $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Einbau	25.740 €	Holz-Alu-Fenster, $U_w = 0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Einbau	26.920 €
Dachflächenfenster, $U_w = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Einbau	4.500 €	Dachflächenfenster, Roto (Typ WDF R89G WDKCW 11/16), $U_w = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, inkl. Einbau	4.640 €
Holztür, wärmegeklämmt, inkl. Einbau	3.890 €	Holztür, $D_d = 1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, inkl. Einbau	3.950 €
Heizungsanlage			
Gas-Brennwertkessel, inkl. Montage	3.370 €	WP inkl. Speicher und Kaminanbindung, inkl. Montage	17.980 €
Solarthermie			
Solarthermieanlage mit einer Apperturfläche von 5,3 m ² zur TWW-Bereitung, inkl. Speicher, inkl. Montage	8.600 €	-	-
Kamin			
-	-	Kamin mit Wassertasche	7.480 €
Lüftungsanlage			
Zentrale Abluftanlage/ Abluftgeräte in Nassräumen, inkl. Montage	3.440 €	Lüftungsanlage mit WRG, inkl. Sole-WT, PLUGGIT	12.050 €
Photovoltaik			
-	-	PV-Anlage, Sunpower, 9,38 kWp, inkl. Wechselrichter, inkl. Mont.	16.900 €
SUMME (netto)	70.160 €		118.040 €
SUMME (brutto)	83.490 €		140.470 €
Investitionskosten für das Gesamtgebäude, inkl. Doppelgarage und Hof*			
Gesamtinvest (netto)	ca. 498.340		ca. 546.220
Gesamtinvest (brutto)	ca. 593.030		ca. 650.000
Mehrinvestitionskosten (brutto)	ca. 56.970 €		

Die Kosten sind auf die Zehnerstelle gerundet dargestellt.

*Quellen:

Investitionskostenangaben des Referenzgebäudes: gem. Herstellerangaben sowie gem. BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.), „BKI-Baukosten Positionen 2014: Statistische Kostenkennwerte Teil 3“, Stuttgart, 2014 (Mittlere Kosten); Investitionskostenangaben des Effizienzhaus Plus: Gem. Angaben des Bauherrn und Auftragsbestätigungen der Firmen sowie zugrunde gelegte Leistungsverzeichnisse (die Kosten können somit geringfügig von den realen Kosten abweichen).

* Für die Kostenangaben übernimmt die ina Planungsgesellschaft mbH keine Gewähr.

Abb. 88 Investitionskosten (Preisstand Juni 2015) des Pro-Klima-Hauses im Effizienzhaus Plus-Standard im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 09, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Betriebskosten pro Jahr*						
Referenzgebäude EnEV 2009 [€] exkl. MwSt.		Effizienzhaus Plus [€] exkl. MwSt.				
	Annahme für LCC gem. Bilanz (netto)		Annahme für LCC gem. Bilanz (netto)	Annahme für LCC gem. Messung (Jahr 1) (netto)	Angabe Bauherr (für 2015/2014) (netto)	Annahme für LCC gem. Messung (Jahr 2) (netto)
-	-	Holz (ca. 0,10 €/kg)	Ca. 44 € (436 kg)	Ca.250 € (2.500 kg)	Ca.250 € (2.500 kg)	Ca. 2,7 € (27 kg)
Gas (0,06 €/kWh)	1.410 € (24.015 kWh)	-	-	-	-	-
Strom (~ 0,23 €/kWh) (Hilfsenergie Lüftung 166 kWh, Beleuchtung + HHS 4.500 kWh, Hilfsenergie TWW + H 698 kWh)	1.220 € (5.364 kWh)	Strom (~ 0,23 €/kWh im 1. Jahr; ~0,24 €/kWh im 2. Jahr) (ges. Netzstrombezug für WP, Hilfsenergie, HHS, Beleuchtung)	1.066 € (4.698 kWh)	1.067 € (4.705 kWh)	1.067 € (4.705 kWh)	1.404 € (5.862 kWh)
		Netzeinspeiservergütung (0,13 €/kWh)	- 613 € (4.713 kWh)	- 685 € (5.270 kWh)	- 685 € (5.270 kWh)	- 672 € (5.171 kWh)
Teilsumme Energiekosten (netto)	2.630 €	Teilsumme Energiekosten (netto)	497 €	632 €	632 €	735 €
Wartung Heizung (Kessel) (pauschale Annahme: 0,9 % der Investitionskosten pro Jahr, gem. DGNB)	108 €	Wartung Heizung (WP) (pauschale Annahme: 0,9 % der Investitionskosten pro Jahr, gem. DGNB)	160 €	160 €	Noch nicht angefallen	160 €
Instandhaltung Heizung (Kessel) (pauschale Annahme: 0,5 % der Investitionskosten pro Jahr, gem. DGNB)	60 €	Instandhaltung Heizung (WP) (pauschale Annahme: 0,5 % der Investitionskosten pro Jahr, gem. DGNB)	90 €	90 €	-	90 €
Wartung Lüftung (Abluft)	-	Wartung Lüftung (Filter) (pauschale Annahme: 1,1 % der Investitionskosten pro Jahr)	130 €	130 €	130 €	130 €
Instandhaltung Lüftung (Abluft) (pauschale Annahme: 1 % der Investitionskosten pro Jahr)	34 €	Instandhaltung Lüftung (pauschale Annahme: 1 % der Investitionskosten pro Jahr)	130 €	130 €	-	130 €
-	-	Wartung PV-Anlage	Kein Wartungsvertrag abgeschlossen			
-	-	Instandhaltung PV-Anlage (pauschale Annahme: 2 % der Investitionskosten pro Jahr)	280 €	280 €	-	280 €
Laufende Kosten p.a. (netto)	2.830 €	Laufende Kosten p.a. (netto)	1.287 €	1.422 €	762 €	1.525 €
Laufende Kosten p.a. (brutto)	3.370 €	Laufende Kosten p.a. (brutto)	1.532 €	1.692 €	907 €	1.815 €

Die Kosten sind gerundet dargestellt.

* Quellen: Gaspreis: gem. Statista, (www.de.statista.com, Stand: 25.06.2015); Strompreis: gem. Angabe Bauherr; Stromverbrauch für Beleuchtung und HHS des Referenzgebäudes für einen 4-Personenhaushalt (durchschnittl. 4.500 kWh): gem. Energieagentur NRW; prozentuale Annahmen für Wartungs- und Instandhaltungskosten: gem. DGNB, Kriterium ECO 1.1, „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“ sowie auf Angaben des Bauherrn bezogene Pauschalisierungen.

* Für die Kostenangaben übernimmt die ina Planungsgesellschaft mbH keine Gewähr.

Abb. 89 Betriebskosten pro Jahr des Pro-Klima-Hauses im Effizienzhaus Plus-Standard im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 2009 (Preisstand Juni 2015 für Messjahr 1 und Juni 2016 für Messjahr 2), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Auf Basis der Investitions- und Betriebskosten wurde eine Lebenszykluskostenbetrachtung⁶¹ vorgenommen (s. Abb.90). Mit Berücksichtigung einer Diskontierung von 1,5 % und einer Energiepreissteigerung von 2 % amortisiert sich das Effizienzhaus Plus (mit Bilanzbezug) gegenüber dem Referenzgebäude nicht. Berücksichtigt man hingegen eine KfW-Förderung (KfW-Effizienzhaus 40 Plus, Tilgungszuschuss von 15.000 € (brutto) je Wohneinheit)⁶² so amortisiert sich das Effizienzhaus Plus nach ca. 26,5 Jahren.⁶³ Da in diesem Beispiel die Zinsvergünstigung der KfW nicht berücksichtigt ist, ist die Amortisationszeit real voraussichtlich geringer.

Der Bauherr hat diese erst im Jahr 2016 eingeführte Förderung in dem Maße nicht erhalten. Der fiktive Ansatz zeigt jedoch, dass Förderungen für einen nachhaltigen und ökologischen Gebäudestandard wie das Plus-Energie-Gebäude (s. dazu Kap. 8 „Ökobilanz“) – auch für ein „KfW Effizienzhaus 55 Plus“ – sinnvoll und auch in dem Maße richtig sind. Auch das „KfW-Effizienzhaus 55 Plus“ wäre auf Basis dieser Ergebnisse geeignet, um die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung zu erfüllen.

Da es sich bei den Energiebedarfen des Referenzgebäudes auch um Bilanzwerte handelt, sind nur die Bilanzangaben der Gebäudestandards direkt vergleichbar. In der Darstellung der Kostenentwicklung mit Bezug auf die Messung des ersten Monitoringjahres findet keine Amortisation statt, auch nicht unter Berücksichtigung einer KfW-Förderung. Dies ist mit den höheren Kosten für den Holzverbrauch im Vergleich zur Bilanz zu begründen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Bilanz mit einem 50 %igen PV-Eigengebrauch rechnet während sich die Messung nur auf 26 % beläuft.

Im Vergleich zum zweiten Monitoringjahr mit einer reinen Wärmepumpennutzung und einem damit höheren Stromverbrauch ist der hohe Holzverbrauch des ersten Jahres hingegen monetär von Vorteil gewesen, auch wenn sich der PV-Eigengebrauch im zweiten Jahr von 26 % auf 30 % steigern ließ und somit an Strombezug eingespart werden konnte (s. Abb.90, gelbe Strichlinie).

Vergleicht man die unterschiedlichen Monitoringjahre und damit Betriebsszenarien ökobilanziell, so zeigt sich jedoch ein umgekehrtes Bild. Dies ist dem Kapitel 8 zu entnehmen.

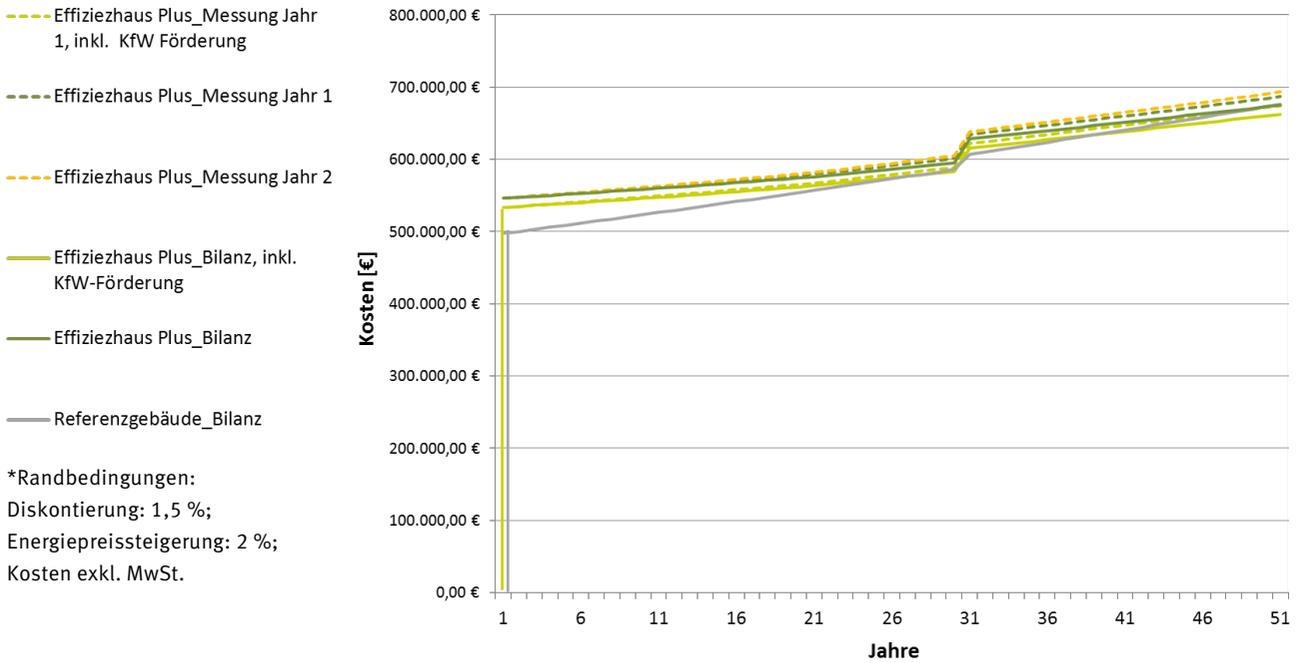
⁶¹ Gemäß Berechnungsverfahren der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)

⁶² KfW-Effizienzhaus 40 Plus“, Programm 153 Energieeffizient Bauen, Quelle: [www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-\(153\)/](http://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-(153)/) (Stand 06.2016)

⁶³ Unter Annahme einer Erneuerung der Gebäudetechnik (PV, Wärmepumpe, Lüftung und Kamin nach 30 Jahren)

LCC "Pro-Klima-Haus"

Effizienzhaus Plus-Standard vs. dem Referenzgebäude nach EnEV



Ausschnitt - LCC "Pro-Klima-Haus"

Effizienzhaus Plus-Standard vs. dem Referenzgebäude nach EnEV

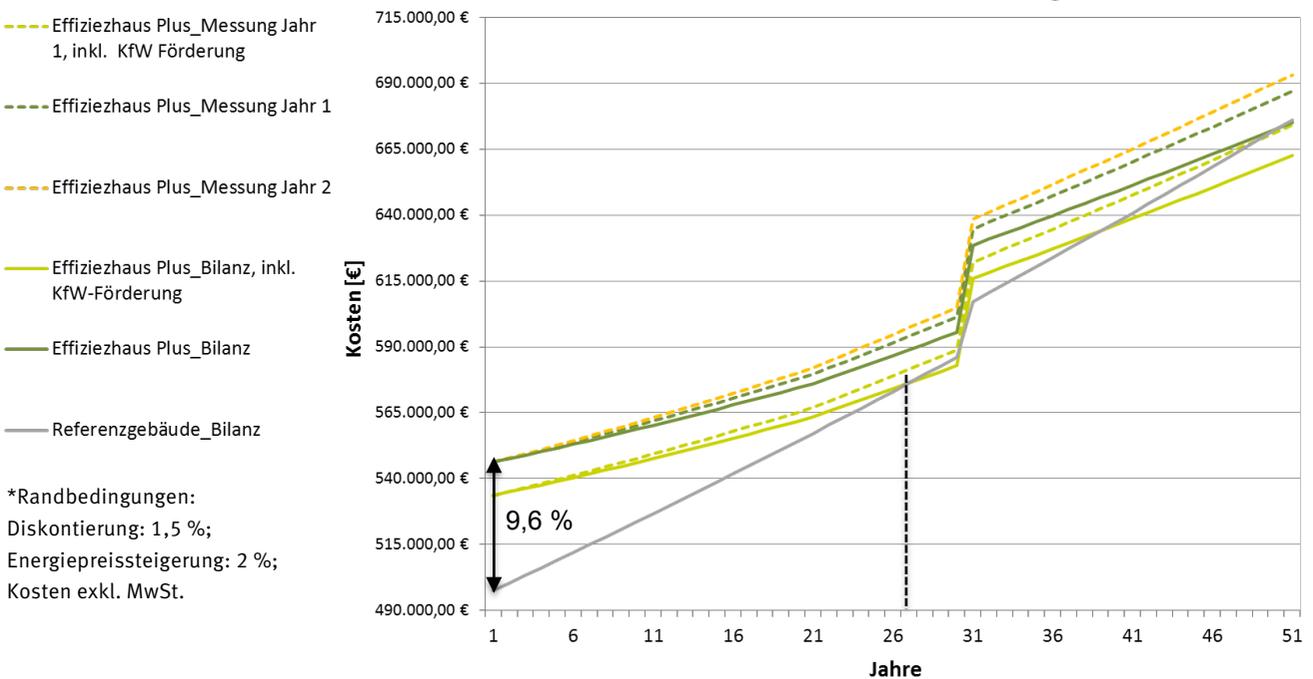


Abb. 90 Lebenszykluskostenbetrachtung über 50 Jahre. (oben: Darstellung der Gesamtkosten, unten: Zoom auf Gebäudebetrieb). Die Kosten sind als Netto-Kosten dargestellt, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

7.2 Kosten Beleuchtung/Geräte

In der Vorausgegangenen Kostenbetrachtung sind Kosten für die Beleuchtung und Geräte nicht enthalten, da diese als Nutzerausstattung nicht Teil der Baukosten sind. Aus der folgenden Tabelle sind die Kosten- und Effizienzangaben zu den Geräten gemäß Angaben des Bauherrn zu entnehmen. Da die Kosten nicht einzeln in der Küchenrechnung aufgeführt waren, wurde durch die ina Planungsgesellschaft eine Recherche aktueller Kosten (Stand Juni 2015) in Bezug auf die Fabrikate vorgenommen.

Gerät	Effizienzklasse	Kosten [€] (Angabe gem. Bauherr)	Kosten [€] (Recherche ina) ⁶⁴ (Kostenstand Juni 2015)
LED-Beleuchtung	-	Ca. 2.000 €	Kostenangabe gem. Bauherr
Herd	A	Nicht einzeln in Küchenrechnung aufgeführt	~340 (gem. Amazon) bis ~700 € UVP d. Herstellers
Backofen	A+	Nicht einzeln in Küchenrechnung aufgeführt	~1.200 (gem. Amazon) bis 1.400 € UVP d. Herstellers
Dunstabzugshaube	n.b.	Nicht einzeln in Küchenrechnung aufgeführt	n.b.
Mikrowelle	n.b.	alt	alt
Spülmaschine	A++	Nicht einzeln in Küchenrechnung aufgeführt	~650 €
Kühlschrank	A+++	Nicht einzeln in Küchenrechnung aufgeführt	~1.100 € (gem. Amazon) bis 1.800 € UVP Hersteller
Gefrierschrank		./.	./.
Waschmaschine	A+++	500 €	Kostenangabe gem. Bauherr
Wäschetrockner	-	./.	./.
Investitionskosten		Ca. 10.000 €	~5.800 bis 8.850 €*

* ohne Dunstabzugshaube

Abb. 91 Kostenangaben für Beleuchtung und Haushaltsgeräte, Quelle: S. Klawitter (Kostenangaben gem. Bauherr), ina Planungsgesellschaft mbH (Recherche ina, Stand Juni 2015)

⁶⁴ Unter Zugrundelegung der verbauten Fabrikate

7.3 Wirtschaftlichkeit des WP-Betriebs im Jahresvergleich

7.3.1 Betriebskosten der WP der Monitoringjahre mit und ohne Kaminnutzung

Im Folgenden werden die Betriebskosten der Wärmepumpe des ersten und zweiten Monitoringjahres dargestellt (s. Abb.92). Hieran soll ein wirtschaftlicher Vergleich der Betriebsszenarien der Wärmepumpe mit Kamin des ersten Jahres mit einem nahezu reinen Wärmepumpenkonzept des zweiten Jahres in Bezug auf die Messungen erfolgen.

In dem Vergleich der folgenden Tabelle sind die tatsächlichen Kosten der beiden Monitoringjahre abgebildet. Die Verbrauchsangaben sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da eine Bereinigung von zu vielen Faktoren abhängig wäre (Witterungsbereinigung, Nutzungsbereinigung (in Bezug auf TWW-Zapfungen), Ertragsbereinigung und Kostenbereinigung). Dennoch kann aus der Betrachtung abgelesen werden, dass der Bauherr im ersten Jahr mit der Kaminnutzung einen Kostenvorteil von ~11 % (ca. 115 €) besaß. Der Kostenvorteil ist jedoch im Verhältnis zu den Gesamtkosten gering. Grundlegend kann gesagt werden, dass die beiden Jahre in Bezug auf den Einsatz der Energieträger und Mengen grundverschieden sind, jedoch die Kosten recht nah beieinander liegen. Bei dieser Angabe muss berücksichtigt werden, dass das zweite Jahr im Verhältnis zum ersten ein wärmeres Jahr war, d.h. die Wärmepumpe geringer weniger werden musste.

Messjahr	Stromverbrauch ges.	Eigengebrauch der WP inkl. Heizstab	Stromkosten Netzbezug	Mehrwert Eigengebrauch ggü. Einspeiseverg.	Stromkosten ges.
	[kWh/a]	[kWh/a] berechnet	[€/kWh] netto	[€/kWh] netto	[€] netto
2014-2015	2709,52	841	0,23	0,10	530,67
2015-2016	4247,74	1.274,26	0,24	0,11	874,38
*Stromkosten abzgl. Einspeisevergütung (13 ct/kWh netto)					
	Holzbezug Kamin		Holzkosten		Holzkosten ges.
	[kg/a]		[€/kWh] netto		[€] netto
2014-2015	2500		0,10		250
2015-2016	27		0,10		2,7
2014-2015	Energiekosten ges. (netto) [kWh/a]				780,67
2015-2016	Energiekosten ges. (netto) [kWh/a]				877,08
2014-2015	Energiekosten ges. (brutto) [kWh/a]				928,99
2015-2016	Energiekosten ges. (brutto) [kWh/a]				1043,73
Kostendifferenz des ersten zum zweiten Monitoringjahr [%]					11,0

Abb. 92 Berechnung der Betriebskosten für Heizen und TWW des Monitoringjahres 2014-2015 und 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

7.3.2 Wirtschaftlichkeit des PV-Eigengebrauchs für den WP-Betrieb

Eine einfache Rechnung zeigt, dass es sich wirtschaftlich lohnt den PV-Strom über die WP selbst zu gebrauchen und Wärme zu bereiten anstelle Netzstrom zu beziehen.

So kosten 2 kWh PV-Strom für die Wärmebereitung über die Wärmepumpe 26 ct (Verzicht auf Einspeisevergütung von 13 ct/kWh). Der Netzstrombezug von 1kWh bereitet bereits Kosten von 28,5 ct/kWh. Ein Nachteil des PV-Stroms ist, dass er nicht immer Deckungsgleich zum Wärmebedarf ist. Doch selbst bei 50 % thermischen Verlusten über den Speicher (1kWh) ist es immer noch sinnvoller den Speicher über die Wärmepumpe mit PV-Strom, auch zu Zeiten ohne Warmwasserbedarf, zu laden anstatt die Wärmepumpe direkt mit Netzstrom zu versorgen.

Wird die Wärmepumpe über Solarstrom betrieben und damit dessen Eigengebrauch erhöht, so entsteht somit ein finanzieller Vorteil gegenüber dem reinen Netzstrombezug (0,285 €/kWh im 2. Monitoringjahr).

Theoretisch hätte sich der Bauherr auch für einen WP-Tarif entscheiden können, der deutlich günstiger als der konventionelle Netzstrompreis ist, hätte dann jedoch auf den PV-Eigengebrauch durch seine Wärmepumpe verzichtet.

Im folgenden Vergleich sollen diese beiden Szenarien in Bezug auf den Verbrauch des zweiten Monitoringjahres wirtschaftlich miteinander verglichen werden. Aufgrund von stark schwankenden WP-Tarifen ist bei diesem Vergleich nur eine Momentaufnahme (Stand Jun 2016) möglich.

Wirtschaftlichkeitsvergleich des WP-Betriebs mit PV-Eigengebrauch vs. eines WP-Tarifs

1. Monitoringjahr

Kosten PV-Eigengebrauch für WP-Betrieb

Verzicht auf Einspeisevergütung	13	ct/kWh	x	0,31
Netzstrombezug	27	ct/kWh	x	0,69
Effektive Kosten des WP-Betriebs				= 22,66 ct/kWh

Verbrauchsangaben

	[kWh]	[%]
Stromverbrauch WP inkl. Heizstab ges.	2.710	100
PV-Eigenversorgung der WP inkl. Heizstab	841	31
Netzstrombezug für WP inkl. Heizstab	1.869	69

Kosten für einen WP-Tarif

WP-Tarif **23,33** ct/kWh (Quelle: E WIE EINFACH, MeinWärmestrom 3, Stand 06.2016)

WP-Betrieb mit PV-Eigengebrauch **22,66** < **23,33** WP-Tarif

2. Monitoringjahr

Kosten PV-Eigengebrauch für WP-Betrieb

Verzicht auf Einspeisevergütung	13	ct/kWh	x	0,30
Netzstrombezug	28,5	ct/kWh	x	0,70
Effektive Kosten des WP-Betriebs				= 23,85 ct/kWh

Verbrauchsangaben

	[kWh]	[%]
Stromverbrauch WP inkl. Heizstab ges.	4.248	100
PV-Eigenversorgung der WP inkl. Heizstab	1.274	30
Netzstrombezug für WP inkl. Heizstab	2.973	70

Kosten für einen WP-Tarif

WP-Tarif **22,05** ct/kWh (Quelle: E WIE EINFACH, MeinWärmestrom 3, Stand 06.2016)

WP-Betrieb mit PV-Eigengebrauch **23,85** > **22,05** WP-Tarif

Abb. 93 Wirtschaftlichkeitsvergleich des WP-Betriebs mit PV-Eigengebrauch vs. eines WP-Tarifs in Bezug auf den Verbrauch der Monitoringjahre 2014-2015 und 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Ab welchem Eigennutzungsgrad (X) wird ein WP-Tarif unrentabel?

1. Monitoringjahr	13 ct/kWh	x	X	x	27 ct/kWh	x	(1-X)	=	23,33 ct/kWh
			X					=	0,26 %
Ab einer PV-Eigennutzung der WP von 26% ist der WP-Tarif unrentabel.									
2. Monitoringjahr	13 ct/kWh	x	X	x	28,5 ct/kWh	x	(1-X)	=	22,05 ct/kWh
			X					=	0,42 %
Ab einer PV-Eigennutzung der WP von 42% ist der WP-Tarif unrentabel.									

Abb. 94 Angabe der Unrentabilität des WP-Tarifs ab einer bestimmten Höhe der Versorgung der Wärmepumpe mit PV-Strom in Bezug auf die Kosten des ersten und zweiten Monitoringjahres, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Der Vergleich zeigt sowohl eine starke Abhängigkeit vom WP-Tarif (in Abhängigkeit vom Stromverbrauch der Wärmepumpe) als auch vom regulären Netzstrompreis (vgl. Abb.93 und Abb.94).

Da im ersten Monitoringjahr der Stromverbrauch über die WP gering war, war der WP-Tarif im Verhältnis zum zweiten Monitoringjahr etwas höher. Gleichzeitig waren die Kosten für den Netzstrombezug mit 27 ct/kWh etwas geringer. Mit einer Stromversorgung der Wärmepumpe über die PV-Anlage von ~31 % (Verzicht auf Einspeisevergütung von 13 ct/kWh) kostete der effektive WP-Betrieb ~ 22,7 ct/kWh. Dieser steht einem WP-Tarif von 23,3 ct/kWh gegenüber und ist damit rentabel. Erst ab einer PV-Stromversorgung der Wärmepumpe von < 26 % würde der WP-Tarif rentabler werden.

Der Kostenvergleich des zweiten Monitoringjahres zeigt hingegen ein anderes Bild. In Bezug auf den höheren Stromverbrauch der Wärmepumpe wurde der WP-Tarif günstiger (22,05 ct/kWh). Die Kosten für den Netzstrombezug stiegen hingegen an (28,5 ct/kWh). Mit einer gleichgebliebenen Stromversorgung der Wärmepumpe über die PV-Anlage von ~30 % (Verzicht auf Einspeisevergütung von 13 ct/kWh) kostete der effektive WP-Betrieb ~ 23,85 ct/kWh. Damit wäre die Nutzung eines WP-Tarifs für dieses Jahr (ohne Kaminnutzung) in Bezug auf den gewählten WP-Tarif günstiger gewesen. Erst ab einer PV-Stromversorgung der Wärmepumpe von > 42 % würde der WP-Tarif unrentabler werden.

8. Ökobilanz

Um nicht ausschließlich den Fokus auf die Betrachtung der Erlangung eines „Plus“ in der end- und primärenergetischen Bilanz zu legen bzw. die Wirtschaftlichkeit des Gebäudes zu betrachten, sondern den Benefit des Gebäudes ganzheitlich zu bewerten, soll im Folgenden die Umweltwirkung anhand des potenziellen Beitrags zum Treibhauseffekt (in kg CO₂ Äqv./m²) des Pro-Klima-Hauses untersucht werden. Dabei wird zum Einen das Gebäude dem in Kap.7 beschriebenen EnEV-Referenzgebäude gegenübergestellt und zum anderen die beiden Messjahre auf Basis ihres differierenden Gebäudebetriebs analysiert.

Für die Betrachtung wurde eine Ökobilanz erstellt. Eine Ökobilanz analysiert den Lebensweg eines Gebäudes. Sie bezieht sich dabei auf die potenziellen Umweltwirkungen (z.B. Nutzung von Ressourcen und Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebensweges eines Gebäudes und seiner Bauteile von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Instandhaltung, Betrieb, Entsorgung und Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d.h. „von der Wiege bis zur Bahre“).

Dafür wurden alle Stoffmengen für die Konstruktion des Gebäudes sowie deren Nutzungsdauern im Gebäude erfasst. Gleiches gilt für die Energiemengen, die beim Betrieb des Gebäudes verbraucht werden. Die in dieser so genannten Sachbilanz ermittelten Stoff- und Energiemengen werden im nächsten Schritt mit Ökobilanzdaten für die Herstellung und Entsorgung der Baustoffe bzw. die Nutzung der Gebäudetechnik (z.B. Betrieb der Heizung) verknüpft. Dafür werden die Daten aus der Ökobau.dat-Datenbank des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)⁶⁵ verwendet. Durch die Verknüpfung der Stoff- und Energiemengen des Gebäudes mit den Ökobilanzdaten lassen sich die Umweltwirkungen eines Gebäudes in verschiedenen Wirkungskategorien darstellen (Wirkungsbilanz). Im Folgenden wird sich aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich auf das Treibhauspotenzial (in kg CO₂ Äqv./m²) bezogen. Die Darstellung erfolgt für die Gebäudekonstruktion (Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung; Betrachtungszeitraum 50 Jahre) sowie den Gebäudebetrieb (ebenfalls über 50 Jahre).

Der Vergleich des Treibhauspotenzials in Abbildung 95 zeigt, dass das EnEV-Referenzgebäude in der Herstellung geringfügig weniger CO₂ emittiert, was u.a. mit der Einsparung an Bauteilaufbauten als auch der berücksichtigten Photovoltaikanlage des Pro-Klima-Hauses zu begründen ist. Der Betrieb des EnEV-Referenzgebäudes übersteigt die CO₂-Emmission der Herstellung jedoch innerhalb des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren um das Siebenfache.

⁶⁵ www.oekobaudat.de/, Stand: Jun. 2016

Demgegenüber ist die CO₂-Emission im Gebäudebetrieb des Pro-Klima-Hauses nach Bilanz sogar negativ.

Aufgrund der CO₂-Einsparung im Betrieb spart das Pro-Klima-Haus gemäß Bilanz 8,6 t CO₂/a gegenüber dem EnEV-Referenzgebäude ein. Auch die Messjahre zeigen - obwohl kein endenergetisches Plus erzielt wurde - eine deutliche Ersparnis von 7,5 – 7,9 t CO₂/a.

Zur besseren Einordnung werden die Ergebnisse mit den Zwischenzielen der 2.000Watt Gesellschaft für die Treibhausgasemissionen bis 2050 verglichen. Die Ziele der 2.000 Watt Gesellschaft leiten sich aus einer gerechten Verteilung der langfristig für den Planeten tragbaren Emissionen auf die Gesamtbevölkerung der Erde ab. Da dieser Gebäudestandard eine Möglichkeit im Bauwesen darstellt, um die klimapolitischen Ziele des Bundes zu erreichen, wurde dieser Standard als Vergleichsgröße gewählt. Das Zwischenziel 2050 fordert eine maximale Emission von 2t CO₂ pro Person und Jahr. Auf den Bau und Betrieb von Gebäuden dürfen dabei durchschnittlich 660kg CO₂ pro Person und Jahr entfallen. Umgerechnet auf den Quadratmeter Nutzfläche ergibt sich daraus ein Anforderungswert von 11 kg CO₂/m²a.⁶⁶ Im Vergleich dazu weist das Pro-Klima-Haus in Bezug auf die Messjahre ein geringeres Treibhauspotenzial auf. Für diesen Vergleich wurde mit dem (Etappen-)Zielwert der 2.000 Watt Gesellschaft für das Jahr 2050 nach SIA 2040 gerechnet.

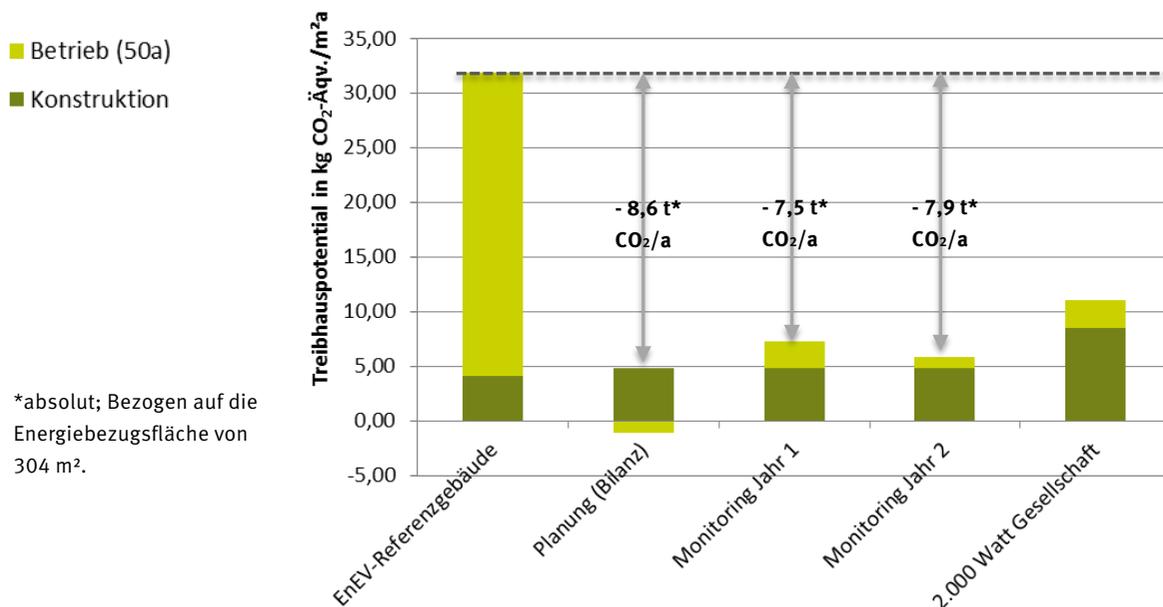


Abb. 95 Treibhauspotentials des „Pro-Klima-Hauses“ nach Bilanz und Messung in Gegenüberstellung mit dem EnEV-Referenzgebäudes sowie dem Anforderungswert der 2000 Watt-Gesellschaft, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

⁶⁶ schweizerischer ingenieur- und architektenverein, SIA, „Merkblatt 2040 – SIA- Effizienzpfad Energie“, 1. März 2011

Der Vergleich der Messjahre 1 und 2 zeigen, dass im ersten Monitoringjahr 1,4 kg CO₂-Äqv./m²a mehr emittiert wurde, obwohl ein größerer Anteil des CO₂-neutralen Rohstoffs Holz verfeuert wurde. Im zweiten Jahr konnte hingegen über den nahezu hundertprozentigen Wärmepumpenbetrieb und der damit verbundenen Nutzung von Umweltwärme sowie einem Mehrertrag der Photovoltaikanlage eine höhere Einsparung an CO₂ (0,4 t CO₂/a) erreicht werden. Aufgrund der hohen Menge an verfeuerten Holz und der Berücksichtigung der Emissionen durch dessen Verarbeitung weist das erste Jahr in Summe ein höheres Treibhauspotenzial auf.

Obwohl das erste Monitoringjahr mit einer hohen Holzverfeuerung einen wirtschaftlichen Vorteil mit sich brachte (s. Kap.7.3.1), stellt sich so das zweite Monitoringjahr mit einem nahezu hundertprozentigen Wärmepumpenbetrieb ökologisch positiver dar. Dabei ist der Anteil der Eigennutzung ökobilanziell nicht relevant, da davon ausgegangen wird, dass auf Grund der Vorrangregelung des EEG eingespeister erneuerbarer Strom auch im Stromnetz Strom aus nicht erneuerbaren Quellen ersetzt.

9. Bewertung

9.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

9.1.1 Betrachtung des ersten Monitoringjahres

Die Gegenüberstellung der gemessenen Verbrauchswerte des ersten Monitoringjahres (gem. Kap. 6.2 bis 6.3) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (gem. Kap. 3.6) zeigt – wie bereits im einzelnen beschrieben – eine deutliche Überschreitung des bilanzierten Holzverbrauchs um 620 % (s. Abb.96). Die Wärmepumpe hingegen unterschreitet die Bilanzangabe um ca. 10 % (3.284 kWh/a)⁶⁷ anstelle der vorherberechneten 3.646 kWh/a). Dies ist vor allem mit der höheren Nutzung des Kamins und dessen Unterstützung der Heizwärme- und Trinkwarmwasserbereitung zu begründen.

Die Messung des Haushaltsstrombedarf zeigt eine Abweichung zum prognostizierten Wert von + 28 % (2.721 kWh/a gegenüber den vorherberechneten 2.125 kWh/a). In Betrachtung der einzelnen Verbraucher ist der erhöhte Messwert gemäß der Erörterung in Kapitel 6.2.4 vor allem dem nicht im Einzelnen gemessenen Haushaltsstrombedarf („HHS Steckdosen Rest“) zuzuweisen. Der Gasverbrauch für das Kochen wurde in der Bilanz nicht berücksichtigt, ist jedoch mit ~9 kWh/a als vernachlässigbar gering einzustufen. Die Hilfsenergie für Heizung und Trinkwarmwasser (Regelung und Pumpen) überschreitet den bilanzierten Wert um ca. 48 % (481 kWh/a gegenüber den prognostizierten 324 kWh/a), diese Abweichung ist als hoch zu bewerten. Sie ist voraussichtlich durch den höheren Pumpenstrom für den Kamin bedingt.

Neben erhöhten Verbräuchen wurde jedoch im Vergleich zur Bilanz auch Energie eingespart. So besitzt die Hilfsenergie für die Lüftung einen um 2 % geringeren Verbrauch (346 kWh/a gegenüber dem prognostizierten Wert von 353 kWh/a). Auch die Beleuchtung hat einen um 25 % geringeren Verbrauch als prognostiziert (283kWh/a gegenüber den vorherberechneten 375 kWh/a), was mit dem hauptsächlichen Einsatz von LED als Leuchtmittel begründet werden kann.

In Summe führt dies zu einem um ~140 % höheren gemessenen Verbrauch als prognostiziert (20.744 kWh/a)⁶⁸ gegenüber 8.716 kWh). Die hohe Überschreitung des vorherberechneten Bedarfs ist allein der Nutzung des Kamins zuzuweisen, der allein eine Überschreitung des prognostizierten Wertes von 11.730 kWh/a bedingt. Ohne den Kamin läge der Verbrauchswert bei ~7.120 kWh/a und damit niedriger als der vorherberechnete Wert. Da jedoch die

⁶⁷ in Bezug auf das dt. Standardklima nach EnEV 2009 witterungsbereinigt

⁶⁸ ebd.

Wärmepumpe aufgrund der Kaminnutzung weniger betrieben werden musste, kann hierüber keine allgemeingültige Aussage über den Gesamtverbrauch ohne den Kamin getroffen werden.

Gleichzeitig zeigt der Vergleich des gemessenen Stromertrags der Photovoltaikanlage (gem. Kap. 6.1) von 7.104 kWh/a mit den prognostizierten Ertragswerten (gem. Kap.3.6) von 9.424 kWh/a eine Abweichung von 25 %, der z.T. mit in Kap. 6.1 beschriebenen Verschattung zu begründen ist. Aufgrund der nicht plausiblen Werte der gemessenen Globalstrahlung ist eine Witterungsbereinigung der Messwerte in Bezug auf das langjährige Mittel nicht erfolgt. Hier kann sich eine geringfügige Änderung im Vergleich ergeben.

Mit den jetzigen Bezugsgrößen ergibt sich eine endenergetische Überschreitung der Plus-Energie-Bilanz um + 13.640 kWh/a⁶⁹, das zum einen mit dem geringeren Ertrag, jedoch hauptsächlich mit der Nutzung des Kamins begründet werden kann.

Monitoringjahr April 2014 - Mai 2015

Technik/ Dienstleistung	Messung (kWh)	Messung (kWh) (witterungs- bereinigt)	Bilanz (kWh)	Abweichung ⁷⁰ [%]
Wärmepumpe (H + TWW)	2.710	3.284	3.646	- 10 %
Kamin (H+ TWW)	10.063 ⁷¹	13.620 ⁷²	1.893	+ 620 %
Hilfsenergie (H + TWW)	481	481 ⁷³	324	+ 48 %
Hilfsenergie Lüftung	346	346	353	- 2 %
Beleuchtung	283	283	375	- 25 %
Haushaltsstrom	2.721	2.721	2.125	+ 28 %
Gas für Kochen	8,53	8,53	-	+ 100 %
Summe Verbrauch	16.612	20.744	8.716	+ 138 %
Stromerzeugung	- 7.104	- 7.104	- 9.426	- 25 %
Plus-Energie-Bilanz	+ 9.508	+ 13.640	- 710	

Abb. 96 Vergleich der hausbezogenen Verbrauchs- und Ertragsmessungen des ersten Monitoringjahrs (Mai 2014 bis April 2015) ohne und mit Witterungsbereinigung in Bezug auf das deutsche Standardklima (Würzburg, Witterungsfaktor 1,34) gegenüber den vorherberechneten Bedarfswerten (Endenergie), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

⁶⁹ in Bezug auf das dt. Standardklima nach EnEV 2009 witterungsbereinigt

⁷⁰ bezogen auf witterungsbereinigte Angabe

⁷¹ heizwertbezogen

⁷² brennwertbezogen

⁷³ Da der Hilfsstrombedarf für die Trinkwarmwasser- und Heizwärmeregulierung und -verteilung aus dem Messerwert nicht einzeln ausgewiesen werden kann, wird der Hilfsenergiebedarf keiner Witterungsbereinigung unterzogen.

9.1.2 Betrachtung des zweiten Monitoringjahres

Die Gegenüberstellung der gemessenen Verbrauchswerte des zweiten Monitoringjahres (gem. Kap. 6.2 bis 6.3) mit den vorherberechneten Bedarfswerten (gem. Kap. 3.6) zeigt eine deutliche Unterschreitung des bilanzierten Holzverbrauchs um -92 % (s. Abb.97) an. Die Wärmepumpe hingegen überschreitet die Bilanzangabe um ca. 55 % (5.664 kWh/a)⁷⁴ anstelle der vorherberechneten 3.646 kWh/a). Dies ist mit dem nahezu vollständigen Verzicht auf den Kamin im zweiten Monitoringjahr zu begründen. Da der Kamin in der Bilanz mit 1.893 kWh/a einfließt und damit den Wärmepumpenbetrieb für die Warmwasserbereitung bilanziell verringert, sind die Verbrauchswerte des zweiten Monitoringjahres mit den Bedarfswerten nicht direkt vergleichbar.

Die Messung des Haushaltsstrombedarf zeigt weiterhin eine Abweichung zum prognostizierten Wert von + 26 % (2.682 kWh/a gegenüber den vorherberechneten 2.125 kWh/a). In Betrachtung der einzelnen Verbraucher ist der erhöhte Messwert gem. der Erörterung in Kapitel 6.2.5 wie im Vorjahr vor allem dem nicht im Einzelnen gemessenen Haushaltsstrombedarf („HHS Steckdosen Rest“) zuzuweisen. Gas für das Kochen wurde im zweiten Monitoringjahr nicht verbraucht, damit sind die Verbrauchsangaben mit der Bilanz direkt vergleichbar. Die Hilfsenergie für Heizung und Trinkwarmwasser (Regelung und Pumpen) unterschreitet den bilanzierten Wert um ca. -2 % (316 kWh/a gegenüber den prognostizierten 324 kWh/a). Durch den Wegfall des Pumpenbetriebs für den Kamin ist hier gegenüber dem Vorjahr eine Einsparung zu verzeichnen. Die Hilfsenergie für die Lüftung besitzt hingegen, aufgrund des höher eingestellten Luftvolumenstroms ab Anfang des Jahres 2016 einen erhöhten Verbrauch um +8 % (381 kWh/a gegenüber dem prognostizierten Wert von 353 kWh/a). Die Beleuchtung hat aufgrund des Einsatzes von LED als Leuchtmittel weiterhin einen um -28 % geringeren Verbrauch als prognostiziert (270 kWh/a gegenüber den vorherberechneten 283 kWh/a).

In Summe führt dies zu einem nur um ~9 % höheren gemessenen Verbrauch als prognostiziert (9.314 kWh/a)⁷⁵ gegenüber 8.716 kWh). Die erneute Überschreitung des vorherberechneten Bedarfs ist vor allem dem höheren Wärmepumpenstrombedarf zuzuweisen. Ohne die Nutzung des Kamins zeigt sich hingegen diesmal, dass der Hilfsenergiebedarf dem prognostizierten Wert nahezu entspricht.

Gleichzeitig zeigt der Vergleich des gemessenen Stromertrags der Photovoltaikanlage (gem. Kap. 6.1) von 7.342 kWh/a mit den prognostizierten Ertragswerten (gem. Kap.3.6) von 9.424 kWh/a weiterhin eine Abweichung von

⁷⁴ in Bezug auf das dt. Standardklima nach EnEV 2009 witterungsbereinigt

⁷⁵ ebd.

22 %, der z.T. mit in Kap. 6.1 beschriebenen anhaltenden Verschattung sowie Verschmutzung zu begründen ist. Zudem kann von einer zu optimistischen Ertragsprognose seitens des Herstellers ausgegangen werden. Ferner ist auch nach nochmaliger Prüfung eine plausible Witterungsbereinigung der Messwerte der Globalstrahlung in Bezug auf das langjährige Mittel nicht möglich. Hier kann sich eine geringfügige Änderung im Vergleich ergeben.

Abschließend ergibt sich eine endenergetische Überschreitung der Plus-Energie-Bilanz um + 2.122 kWh/a⁷⁶, das zum einen mit dem weiterhin geringeren Ertrag sowie mit dem erhöhten Wärmepumpenstrombedarf gegenüber der Prognose begründet werden kann.

Monitoringjahr April 2015 - Mai 2016

Technik/ Dienstleistung	Messung (kWh)	Messung (kWh) (witterungs- bereinigt)	Bilanz (kWh)	Abweichung ⁷⁷ [%]
Wärmepumpe (H + TWW)	4.248	5.664	3.646	+ 55 %
Kamin (H+ TWW)	109 ⁷⁸	150 ⁷⁹	1.893	- 92 %
Hilfsenergie (H + TWW)	316	316 ⁸⁰	324	- 2 %
Hilfsenergie Lüftung	381	381	353	+ 8 %
Beleuchtung	270	270	375	- 28 %
Haushaltsstrom	2.682	2.682	2.125	+26 %
Gas für Kochen	0	0	-	-
Summe Verbrauch	7.898	9.314	8.716	+ 9 %
Stromerzeugung	- 7.342	- 7.342	- 9.426	- 22 %
Plus-Energie-Bilanz	+ 664	+ 2.122	- 710	

Abb. 97 Vergleich der hausbezogenen Verbrauchs- und Ertragsmessungen des zweiten Monitoringjahres (Mai 2015 bis April 2016) ohne und mit Witterungsbereinigung in Bezug auf das deutsche Standardklima (Würzburg, Witterungsfaktor 1,54) gegenüber den vorherberechneten Bedarfswerten (Endenergie), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

Das zweite Betriebsjahr ohne die Nutzung des Kamins hat einen deutlich höheren Wärmepumpenstromverbrauch im Vergleich zum Vorjahr bedingt. Mit einer Jahresarbeitszahl von 3,2 blieb die Effizienz der Wärmepumpe annähernd gleich. Da das zweite Monitoringjahr einen milden Winter besaß, konnte messtechnisch nicht nachgewiesen werden, ob der Einsatz des Kamins in sehr

⁷⁶ in Bezug auf das dt. Standardklima nach EnEV 2009 witterungsbereinigt

⁷⁷ bezogen auf witterungsbereinigte Angabe

⁷⁸ heizwertbezogen

⁷⁹ brennwertbezogen

⁸⁰ Da der Hilfsstrombedarf für die Trinkwarmwasser- und Heizwärmeregulierung und -verteilung aus dem Messerwert nicht einzeln ausgewiesen werden kann, wird der Hilfsenergiebedarf keiner Witterungsbereinigung unterzogen.

kalten Winterperioden von Vorteil ist, um einen effizienteren Betrieb der Wärmepumpe zu fördern. Eine Entlastung der Wärmepumpe bei tiefen Außenlufttemperaturen und hoher Heizlast sollte sich erfahrungsgemäß aber günstig auf die Jahresarbeitszahl auswirken.

Der Eigengebrauchsgrad des Photovoltaikstroms stieg indes auf 30 %, dies ist auch auf den höheren Wärmepumpenstromverbrauch zurückzuführen. Der Anteil der Erhöhung des PV-Eigengebrauchs durch die Umstellung des Wärmepumpenbetriebs zur Trinkwarmwasserbereitung auf Tagzeiten kann aufgrund zu vieler Variablen nicht genau benannt werden. Es ist jedoch aufgrund der bestehenden hohen PV-Einspeisung in den Sommermonaten sinnvoll das thermische Lastverschiebepotenzial für die Erhöhung des PV-Eigengebrauchs zu nutzen bzw. darüber hinaus einen Stromspeicher anzudenken (s. dazu Kap.6.5 und 6.5.1).

Durch die Verringerung der Kaminnutzung konnte sich dem endenergetischen Plus genähert werden, der hinter der Prognose zurückbleibende Photovoltaikertrag verhinderte aber einen Überschuss.

9.2 Verbesserungspotenziale

In der Auswertung der Messwerte konnten für den Gebäudebetrieb folgende Verbesserungspotenziale identifiziert werden:

- Prüfung der Funktion der Photovoltaikanlage (Funktionsfähigkeit aller Strings), inkl. einer regelmäßigen Wartung der Anlage (Reinigung)
- Vermeidung der Verschattung der Photovoltaikanlage durch Baumbeschnitt am Bahndamm (steht in Aussicht)
- Hinsichtlich der Endenergiebilanz sollte der Holzverbrauch des Kamins weiterhin unter dem des ersten Monitoringjahres liegen. An kalten Wintertagen ist dessen Unterstützung der Wärmepumpe jedoch sinnvoll.
- Betriebskontrolle des Sole-Wärmetauschers in den Sommermonaten zur Verifizierung der erhöhten Temperaturanzeige im zweiten Monitoringjahr (s. Kap.6.6.5)
- Nutzung der Verschiebepotenziale des PV-Ertrags durch einen Stromspeichers inkl. Nutzung von E-Mobilität zur Erhöhung des PV-Eigengebrauchs (s. Kap. 6.5)

In Bezug auf weitere Monitoringvorhaben kann folgende Verbesserung genannt werden:

- Eine Grundlegende Berücksichtigung einer Einregulierungsphase der Monitoringtechnik im Monitoringzeitraum

Im ersten und zweiten Monitoringjahr wurden folgende Fehlfunktionen bzw. Mängel im Gebäudebetrieb identifiziert und behoben:

- Einbau eines bis dahin fehlenden Bypasses bei der Lüftungsanlage für den Sommerbetrieb
- Nicht funktionierender Sole-Wasserwärmetauscher (defekte Pumpe) im ersten Monitoringjahr
- Eine nicht plausible Temperaturerhöhung der Zuluft durch den Sole-Wasserwärmetauschers im zweiten Monitoringjahr führte zum Austausch der Steuerungseinheit
- Zu geringer Druck auf der Soleflüssigkeit des Sole-Wasser-Wärmetauschers
- Verschattung der PV-Anlage durch den Baumbestand des westlichen Nachbarn
- Identifizierung eines ggf. zu optimistischen Ansatzes der PV-Ertragsprognose durch den Hersteller
- In den Sommermonaten lagen sehr hohe Temperaturen im Schlafzimmer vor, weshalb ein zusätzlicher außenliegender Sonnenschutz der nord-östlichen Fenster eingebaut wurde.

9.3 Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz

Das „Pro-Klima-Haus“ bedingt über den Effizienzhaus Plus-Standard eine Mehrinvestition von ca. 9,6 % gegenüber einem Gebäudeenergiestandard nach EnEV 2009. Im Vergleich zu einer Passivhaus-Konzeption, die ebenfalls mit einem Mehrinvest von 8 – 10 % der Investitionskosten rechnet, ist der Mehrinvest moderat. Zudem besitzt das Effizienzhaus Plus den Vorteil der geringeren Betriebskosten und größerer Unabhängigkeit von Energieversorgern. Mit Zugrundelegung der Messung des ersten Monitoringjahres, unter Berücksichtigung pauschaler jährlicher Wartungs- und Instandhaltungskosten sind die Betriebskosten des Effizienzhaus Plus gegenüber dem EnEV-Standard um ~50 % geringer.

In einer Lebenszykluskostenbetrachtung des Effizienzhaus Plus mit Bezug auf die Messung des ersten Monitoringjahres findet gegenüber dem EnEV-Standard keine Amortisation statt. Aufgrund des erhöhten Stromverbrauchs im zweiten Monitoringjahr sind die Betriebskosten im zweiten Monitoringjahr sogar noch höher (s. dazu Kap.7.1).

In der Betrachtung sind mögliche Optimierungspotenziale nicht enthalten. Mit einer Erhöhung des PV-Eigengebrauchs durch einen Stromspeicher ließen sich z.B. die Kosten im Betrieb weiter senken. Zudem ist zu beachten, dass in den ersten Betriebsjahren von Gebäuden in der Regel höhere Verbräuche anfallen, da Systeme noch nicht ausreichend kalibriert sind. D.h. dass auch beim Betrieb des Referenzgebäudes höhere Verbrauchswerte zu erwarten wären. Deshalb muss der Vergleich von Messung und Bilanz hier kritisch bewertet werden.

Mit Zugrundelegung der Bilanzwerte des Effizienzhaus Plus sind die Betriebskosten geringer, es findet jedoch ebenfalls keine Amortisation gegenüber dem Gebäude im EnEV-Standard statt. Erst mit dem fiktiven Ansatz einer KfW Effizienzhaus 40 Plus-Förderung (mit einem Tilgungszuschuss von 15.000 € brutto) kann eine Amortisation nach 26,5 Jahren gegenüber dem EnEV-Referenzgebäude erzielt werden. In Bezug auf dieses Projekt zeigt sich, dass der Effizienzhaus Plus-Standard noch einer Förderung bedarf, um wirtschaftlich zu sein. Da der Bauherr die erst 2016 eingeführte Förderung in dem Maße, aufgrund des „schlechteren Hüllstandards“ eines KfW Effizienzhaus 55 nicht erhalten hätte, sei hier ein Andenken einer Förderung in ähnlicher Höhe auch für ein „KfW Effizienzhaus 55 Plus“ angeraten. Dies legt vor allem der ökologische Benefit nahe.

Bei dem Bilanzbezug ist zu berücksichtigen, dass bilanziell ein Eigengebrauch des PV-Stroms von 50 % in Ansatz gebracht wird, der real ohne einen Stromspeicher nicht zu erzielen ist. Da es sich um ein Modellvorhaben handelt ist zu erwarten, dass die Kosten für die eingebauten Komponenten bei

zukünftigen Projekten weiter sinken, sowie ein Stromspeicher wirtschaftlich abbildbar und damit ein höherer Eigengebrauch möglich wird.

Ökobilanziell wird deutlich, dass – auch ohne das Erzielen eines Plus – mit 7,5 bis 7,9 t CO₂/a deutlich an CO₂-Emissionen gegenüber dem EnEV-Referenzgebäude eingespart werden kann. Selbst die CO₂-Emissionen eines Vergleichsgebäudes im Standard der 2.000-Watt-Gesellschaft werden unterschritten. Dies zeigt, dass die Forderung eines end- oder primärenergetischen Überschusses oder eine weitere Verbesserung des Gebäudehüllstandards über den KfW55 Standard hinaus zur Erreichung der Klimaschutzziele nicht zwingend notwendig ist.

Im Wirtschaftlichkeitsvergleich des Netzstrombezugs gegenüber dem Holzverbrauch zeigte sich ein geringer Vorteil beim Holzverbrauch. Ökobilanziell zeigte sich jedoch ein anders Bild. So ist das zweite Monitoringjahr mit einer nahezu hundertprozentigen Wärmepumpennutzung und einer geringeren CO₂-Emission im Gebäudebetrieb gegenüber dem ersten Jahr im Vorteil. Für den Bauherrn bedeutet dies, dass die sehr hohe Kaminnutzung gegenüber der Wärmepumpennutzung ökologisch nicht sinnvoller ist. Es ist daher anzuraten den Holzverbrauch zu verringern. Die Kaminnutzung muss jedoch nicht, wie im zweiten Jahr betrieben, in Gänze eingestellt werden.

10. Quellenverzeichnis

Literatur:

- [1] Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), “Merkblatt 12, Der Energieinhalt von Holz und seine Bewertung”, Dez. 2007
- [2] BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.), „BKI-Baukosten Positionen 2014: Statistische Kostenkennwerte Teil 3“, Stuttgart, 2014
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.), „Effizienzhaus Plus „Pro-Klima-Haus, Bad Homburg“, Mai 2014
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.), „Wege zum Effizienzhaus Plus“, Juni 2014
- [5] Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB), Kriterium ECO 1.1, „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“, Version 2013
- [6] H. Ehorn et al., Fraunhofer IBP, „Messtechnische und energetische Validierung des BMVBS-Effizienzhaus Plus in Berlin, Messperiode März 2012 bis Februar 2013“, März 2013
- [7] M. Hegger et al., „Aktiv-Stadthaus Entwicklungsgrundlage für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 und zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main“, 2014
- [8] Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V (Hrs.), „Stromsparen im Haushalt“, 11.2013

Normen und Gesetze:

- [9] DIN V 18599:2007-02, „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“
- [10] DIN V 4108-6:2003-06, Anhang A, „Meteorologische Daten“
- [11] Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009
- [12] EN 308:1997, „Wärmeaustauscher - Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen; Deutsche Fassung“

[13]schweizerischer ingenieur- und architektenverein, SIA, „Merkblatt 2014 – SIA- Effizienzpfad Energie“, 1. März 2011

Internetquelle:

[14]BMUB, „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB“, 2011, in: www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen__2011-11-03.pdf (Stand 25.06.2015)

[15]IWU, „Gradtagzahlen in Deutschland“, Quelle: www.iwu.de/downloads/fachinfos/energiebilanzen/, (Stand 06.2015 und 12.05.2016)

[16]<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/168286/umfrage/entwicklung-der-gaspreise-fuer-haushaltskunden-seit-2006/> (Stand 25.06.2015)

[17]http://www.wpg-energie.de/media/filebase/files/fluessiggas/physikalische_daten.pdf

[18][www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-\(153\)/](http://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-(153)/) (Stand 06.2016)

[19]www.oekobaudat.de/, (Stand 06.2016)

Technische Datenblätter:

[20]Buderus, „Logalux, Katalog Teil 1 - Kleinanlagen – 2013“, 2013

[21]Buderus, „Logatherm WPLS 7,5/10/12 E/B“, Planunterlagen Ausgabe 2012/05

[22]PLUGGIT, „Betriebs- und Installationsanleitung, Sole-Erdwärmetauscher SWT180“, Dez, 2012

[23]PLUGGIT, „BIA Avent P190/P310/P460“, 2013

Klimadaten:

[24]Deutsche Wetterdienst, WESTE SOLAR, „Mittlere monatl. Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Ebene, Standort geogr. Breite 50,2175 / geogr. Länge 8,6352, Bad Homburg, für die Jahre 2015, 2014, 1981-2010“, Stand: 07.2015

[25]Deutsche Wetterdienst, WESTE SOLAR, „Mittlere monatl. Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Ebene, Standort geogr. Breite 50,2175 / geogr. Länge 8,6352, Bad Homburg, für die Jahre 2016, 2015, 1981-2010“, Stand: 05.2016

11. Abbildungsnachweis

Abb. 1 „Pro-Klima-Haus“ Ansicht Süd-West, Quelle: S. Klawitter.....	1
Abb. 2 Lage, Quelle: www.earth.google.de; DIN 4108-6 Klimazone TRY 12, Mannheim	10
Abb. 3 Ansicht Süd-West mit PV-Anlage auf Dachfläche, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner.....	11
Abb. 4 Ansicht Süd-Ost, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner.....	12
Abb. 5 Lageplan, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner	12
Abb. 6 Erdgeschoss-Grundriss, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner ...	13
Abb. 7 Obergeschoss-Grundriss, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner.	13
Abb. 8 Dachgeschoss-Grundriss, o.M. (Bad und Ankleide wurden im DG nicht ausgeführt), Quelle: bb22 architekten+stadtplaner	14
Abb. 9 Kellergeschoss-Grundriss, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner	14
Abb. 10 Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihre U-Werte, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH; bb22 architekten+stadtplaner	15
Abb. 11 Fensterdetail mit Schnitt durch monolithische Fassade, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner.....	16
Abb. 12 Dachdetail „Hallerdach“ mit integrierter PV-Anlage, o.M., Quelle: bb22 architekten+stadtplaner.....	17

Abb. 13 Schema der Gebäudetechnik, Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Wärmetechnik, weitergeführt durch ina Planungsgesellschaft mbH	19
Abb. 14 Endenergiebedarf der einzelnen Dienstleistungen, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	21
Abb. 15 Jahresbilanz (oben) und Monatsbilanz Plus-Energie-Bilanz (Endenergie) des Pro-Klima-Hauses nach Bilanzanpassung 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	22
Abb. 16 Endenergiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus nach Vorlage des Fraunhofer IBP, nach Bilanzanpassung 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	23
Abb. 17 Primärenergiebedarf der erforderlichen Energieträger und Primärenergiegutschrift nach Vorlage des Fraunhofer IBP, nach Bilanzanpassung 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....	23
Abb. 18 Prinzipschema der Messung der Elektroversorgung, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	26
Abb. 19 Prinzipschema der Messung des Haushaltsstroms, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	27
Abb. 20 Prinzipschema der Messungen an der Lüftung und des Sole- Wärmetauschers, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	28
Abb. 21 Prinzipschema der Strom- und Wärmemengenmessung der Heizungs- und Trinkwarmwassertechnik, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	29
Abb. 22 Prinzipschema der Messungen von Temperatur und relativer Luftfeuchte zur Erfassung des Innenraumklimas, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	30

Abb. 23 Bilder einer Hausbegehung und Sichtung der Messtechnik (von oben links nach unten rechts: Wärmemengenzähler an TWW-Speicher, Panel BUSCH-JAEGER, Temperatur-und Feuchtesensor im Schlafzimmer, Schaltschrank der Messtechnik im KG, Strommesser, Wärmemengenzähler am Speicher, Temperaturfühler an Kanal der Lüftungsanlage), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....	31
Abb. 24 Prozess des Monitorings von der Messwerterfassung bis zur Auswertung der Daten, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....	32
Abb. 25 Gegenüberstellung der mittleren Solarstrahlungsintensität nach DIN 4108-6 für die Referenzregion 12 (Mannheim), dem historischen Mittel für den Standort Bad Homburg, sowie der Globalstrahlung nach Messung über die Wetterstation am Gebäude, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	34
Abb. 26 Birke zur westlichen Nachbarsgrenze vor und nach dem Baumzuschnitt (aufgenommen aus dem Dachfenster des Süd-West-Daches), Quelle: S. Klawitter	34
Abb. 27 Verschattung von 80 % der Dachfläche durch gegenüberliegenden Baumbestand am 01. Dezember um 16:00 Uhr, Quelle: MainSolar GmbH, 2014	35
Abb. 28 Abgleich des gemessenen PV-Ertrags (2014 -2015) mit der gemessenen Globalstrahlung über einen berechneten PV-Ertrag.....	36
Abb. 29 Gegenüberstellung der mittleren Solarstrahlungsintensität nach DIN 4108-6 für die Referenzregion 12 (Mannheim), dem historischen Mittel für den Standort Bad Homburg, sowie der Globalstrahlung nach Messung über die Wetterstation am Gebäude, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	37

Abb. 30 Vergleich der 2014-2015 gemessenen und der Bilanz zugrunde liegenden Temperatur (Referenzklima nach EnEV 2009 (Standort Würzburg)), gem. DIN 18599-1:2007, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 37

Abb. 31 Vergleich der 2015-2016 gemessenen und der Bilanz zugrunde liegenden Temperatur (Referenzklima nach EnEV 2009 (Standort Würzburg)), gem. DIN 18599-1:2007, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 38

Abb. 32 Prognostizierte und von Mai 2014 – April 2015 gemessene Stromerträge im Vergleich zur Globalstrahlung nach DIN 4108-6, der Referenzregion 12 (Berechnungsgrundlage), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 40

Abb. 33 Beispiel der PV-Verschattung am 06.Aug.2014, 18:03 Uhr, Quelle: S. Klawitter..... 41

Abb. 34 Baumbestand am Grundstück als Ursache für Verschattungen der PV-Fläche und Wetterstation, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH..... 41

Abb. 35 Prognostizierte und von Mai 2014 – April 2015 sowie von Mai 2015 – April 2016 gemessene Stromerträge im Vergleich zur Globalstrahlung nach DIN 4108-6, der Referenzregion 12 (Berechnungsgrundlage) sowie zur gemessenen Globalstrahlung, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 42

Abb. 36 Messung des gesamten Stromverbrauchs im Hausbetrieb von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft 45

Abb. 37 Messung des gesamten Stromverbrauchs im Hausbetrieb von Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft 46

Abb. 38 Stromverbrauchvergleich des Monitoringjahres 2014-2015 zu 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....	47
Abb. 39 Messung des gesamten Stromverbrauchs im Hausbetrieb von Mai 2014 – April 2015 im Vergleich zu Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft.....	47
Abb. 41 Stromverbrauchsmessung der einzelnen Verbraucher des Haushaltstrombedarfs von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft.....	50
Abb. 42 Stromverbrauchsmessung der einzelnen Verbraucher des Haushaltstrombedarfs inkl. Beleuchtung vom Messjahr 2014-2015 im Vergleich zum Messjahr 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft	51
Abb. 43 Vergleich des Haushaltsstromverbrauchs in An- und Abwesenheit der Bewohner, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	52
Abb. 44 Gesamtstromverbrauch des Monat Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	53
Abb. 45 Haushaltsstromverbrauch inkl. Beleuchtung des Monat Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	53
Abb. 46 Wärmemengenmessung des TWW-Speichers, Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	54
Abb. 47 Holzverbrauch (Heizwert) des Kamins (Angabe als Heizwert = kg Holz *4,2 kWh/kg) von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	56
Abb. 48 Holzverbrauch (Heizwert) des Kamins (Angabe als Heizwert = kg Holz *4,2 kWh/kg) von Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	56

Abb. 49 Gasverbrauch für das Kochen (Angabe als Brennwert = kg Gas * 13,98 kWh/kg) von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 57

Abb. 50 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Endenergie) von Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 58

Abb. 51 Endenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 59

Abb. 52 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Primärenergie) von Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.. 59

Abb. 53 Primärenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag, ohne bilanziellen Abzug des Eigengebrauchs, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH..... 60

Abb. 54 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Endenergie) von Mai 2015 bis April 2016 gegenüber dem ersten Monitoringjahr Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH..... 61

Abb. 55 Endenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag des zweiten Monitoringjahres (Mai 2015 bis April 2016) gegenüber dem ersten Monitoringjahres (Mai 2014 bis April 2015), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH..... 61

Abb. 56 Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung (Kumulierte Primärenergie) von Mai 2015 bis April 2016 gegenüber dem ersten Monitoringjahr Mai 2014 bis April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH..... 62

Abb. 57 Primärenergetische Gegenüberstellung des Verbrauchs der einzelnen Dienstleistungen vs. PV-Ertrag des zweiten Monitoringjahres (Mai 2015

bis April 2016) gegenüber dem ersten Monitoringjahres (Mai 2014 bis April 2015), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	62
Abb. 58 Prozentuale Angaben zum Eigennutzungsgrad PV, Deckungsanteil des Stromverbrauchs und der Netzabhängigkeit der Monitoringjahre 2014-2015 und 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....	63
Abb. 59 Anteil des Eigengebrauchs am PV-Ertrag, absolut (oben) und prozentual (unten), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	63
Abb. 60 Abgleich PV-Eigengebrauch am WP-Betrieb, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	66
Abb. 61 Exempl. Tagesausschnitt des Wärmepumpenbetriebs in Abgleich mit der PV-Erzeugung vor der Umstellung der Betriebszeit für TWW am 04.05.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	66
Abb. 62 Exempl. Tagesausschnitt des Wärmepumpenbetriebs in Abgleich mit der PV-Erzeugung nach der Umstellung der Betriebszeit für TWW am 09.09.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	67
Abb. 63 Exempl. Tagesausschnitt des Wärmepumpenbetriebs in Abgleich mit der PV-Erzeugung nach der Umstellung der Betriebszeit für TWW (inkl. Heizpufferspeicherladung in den Wintermonaten) am 09.12.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	67
Abb. 64 Abgleich PV-Eigengebrauch am WP-Betrieb, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	68
Abb. 65 Speicherladung getrennt nach Kamin und Wärmepumpe für TWW und Heizung, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	69

Abb. 66 Speicherladung getrennt nach Kamin und Wärmepumpe für TWW und Heizung, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH70

Abb. 67 Bilanzgrenzen der Berechnung der JAZ, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH, basierend auf www.jahresarbeitszahlen.info71

Abb. 68 Holzverbrauch (Heizwert) in Gegenüberstellung mit der gemessenen Wärmeerzeugung (Speicherladung TWW + Heizpufferspeicher) sowie der berechneten Wärmebereitstellung gem. Herstellerangaben (Mai 2014-April 2015), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....72

Abb. 69 Temperaturmessung während des Kaminbetriebs am 23.02.15, 0:00 Uhr bis 24.02.15, 12:00 Uhr, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH ..73

Abb. 70 Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage im Monatsmittel von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....75

Abb. 71 Ab und Zulufttemperatur der Lüftungsanlage im Tagesmittel, Juli 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH75

Abb. 72 Ab- und Zulufttemperatur der Lüftungsanlage im Tagesmittel, August 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH76

Abb. 73 Ab- und Zulufttemperaturen der Lüftungsanlage im Monatsmittel von Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....76

Abb. 74 Temperaturänderungen durch den Sole-Wärmetauscher, Monatsmittelwerte, Maxima und Minima, Mai 2014 – April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH77

Abb. 75 Temperaturänderungen durch den Sole-Wärmetauscher, Monatsmittelwerte, Maxima und Minima, Mai 2015 – April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH78

Abb. 76 Temperaturänderung durch den Sole-Wärmetauscher im Tagesmittel, Juni 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	79
Abb. 77 Temperaturänderung durch den Sole-Wärmetauscher im Tagesmittel, Juli 2014, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	79
Abb. 78 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat Juni 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	80
Abb. 79 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat Juli 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	80
Abb. 80 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat August 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	81
Abb. 81 Temperaturmessungen des Sole-WT im Monat September 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	81
Abb. 82 Temperaturmessungen der Außenluft, der Zu- und Abluft der Lüftungsanlage sowie des Sole-WT (15min-Taktung) am 29.08.2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	82
Abb. 83 Raumtemperaturen und rel. Raumluftfeuchte der Räume Schlafen, Wohnzimmer, Küche des Monat Januar 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	84
Abb. 84 Raumtemperaturen und Raumluftfeuchte der Räume Schlafen, Wohnzimmer, Küche des Monat Februar 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	84
Abb. 85 Innenraumtemperatur in Abhängigkeit zur Außentemperatur im Stundenmittel des Wohnzimmers, im Messzeitraum Mai 2015-April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH.....	86

Abb. 86 Innenraumtemperatur in Abhängigkeit zur Außentemperatur im
 Stundenmittel des Kinderzimmers, im Messzeitraum Mai 2015-April
 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 87

Abb. 87 Innenraumtemperatur in Abhängigkeit zur Außentemperatur im
 Stundenmittel des Schlafzimmers, im Messzeitraum Mai 2015-April
 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 87

Abb. 88 Investitionskosten (Preisstand Juni 2015) des Pro-Klima-Hauses im
 Effizienzhaus Plus-Standard im Vergleich zum Referenzgebäude nach
 EnEV 09, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 91

Abb. 89 Betriebskosten pro Jahr des Pro-Klima-Hauses im Effizienzhaus Plus-
 Standard im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 2009
 (Preisstand Juni 2015 für Messjahr 1 und Juni 2016 für Messjahr 2),
 Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 92

Abb. 90 Lebenszykluskostenbetrachtung über 50 Jahre. (oben: Darstellung der
 Gesamtkosten, unten: Zoom auf Gebäudebetrieb). Die Kosten sind als
 Netto-Kosten dargestellt, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH..... 94

Abb. 92 Berechnung der Betriebskosten für Heizen und TWW des
 Monitoringjahres 2014-2015 und 2015-2016, Quelle: ina
 Planungsgesellschaft mbH 96

Abb. 93 Wirtschaftlichkeitsvergleich des WP-Betriebs mit PV-Eigengebrauch vs.
 eines WP-Tarifs in Bezug auf den Verbrauch der Monitoringjahres 2014-
 2015 und 2015-2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 97

Abb. 94 Angabe der Unrentabilität des WP-Tarifs ab einer bestimmten Höhe der
 Versorgung der Wärmepumpe mit PV-Strom in Bezug auf die Kosten des
 ersten und zweiten Monitoringjahres, Quelle: ina Planungsgesellschaft
 mbH 98

Abb. 95 Treibhauspotentials des „Pro-Klima-Hauses“ nach Bilanz und Messung in Gegenüberstellung mit dem EnEV-Referenzgebäudes sowie dem Anforderungswert der 2000 Watt-Gesellschaft, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	100
Abb. 96 Vergleich der hausbezogenen Verbrauchs- und Ertragsmessungen des ersten Monitoringjahrs (Mai 2014 bis April 2015) ohne und mit Witterungsbereinigung in Bezug auf das deutsche Standardklima (Würzburg, Witterungsfaktor 1,34) gegenüber den vorherberechneten Bedarfswerten (Endenergie), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	103
Abb. 97 Vergleich der hausbezogenen Verbrauchs- und Ertragsmessungen des zweiten Monitoringjahres (Mai 2015 bis April 2016) ohne und mit Witterungsbereinigung in Bezug auf das deutsche Standardklima (Würzburg, Witterungsfaktor 1,54) gegenüber den vorherberechneten Bedarfswerten (Endenergie), Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	105
Abb. 98 Stromverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasser, Lüftung und Projektspezifisch (Monitoringtechnik), gem. Messwerterfassung von Mai 2014 - April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	124
Abb. 99 Stromverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasser, Lüftung und Projektspezifisch (Monitoringtechnik), gem. Messwerterfassung von Mai 2015 - April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	125
Abb. 100 Stromverbrauch für Bezug und Hausverbrauch, gem. Messwerterfassung von Mai 2014-April 2015 Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	126
Abb. 101 Stromverbrauch für Bezug und Hausverbrauch, gem. Messwerterfassung von Mai 2015-April 2016 Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH	127

Abb. 102 Verbrauch sonstiger Energieträger, gem. Messwerterfassung von Mai
2014 - April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 128

Abb. 103 Verbrauch sonstiger Energieträger, gem. Messwerterfassung von Mai
2015- April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 129

Abb. 104 Montasmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG, OG und DG, gem.
Messwerterfassung von Mai 2014-April 2015, Quelle: ina
Planungsgesellschaft mbH 130

Abb. 105 Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG, OG und DG, gem.
Messwerterfassung von Mai 2015-April 2016, Quelle: ina
Planungsgesellschaft mbH 131

Abb. 106 Gemessene mittlere monatliche relative Luftfeuchte, gem.
Messwerterfassung von Mai 2014 - April 2015, Quelle: ina
Planungsgesellschaft mbH 132

Abb. 107 Gemessene mittlere monatliche relative Luftfeuchte, gem.
Messwerterfassung von Mai 2014 - April 2015, Quelle: ina
Planungsgesellschaft mbH 132

Abb. 108 Datenübermittlung an das Fraunhofer IBP, Messwerterfassung von Mai
2014-April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 133

Abb. 109 Datenübermittlung an das Fraunhofer IBP, Messwerterfassung von Mai
2015-April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 134

Abb. 110 Haushaltsstromverbrauch der Messjahre 2014 – 2015 und 2015 –
2016 im Vergleich zu den Bilanzannahmen des Effizienzhaus Plus,
Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 135

Abb. 111 Stromversorgung und -erzeugung der Messjahre 2014 – 2015 und
2015 – 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH 136

12. ANLAGE

In der folgenden Anlage sind Tabellen mit den monatlichen Messwerten gemäß der Berichtsvorlage des Fraunhofer IBP aufgeführt. Darin enthalten sind die Messungen der monatlichen Stromverbräuche, der Strombezug, die Erzeugung, der Holz- und Gasverbrauch sowie die gemessenen Temperaturen und rel. Feuchte des Jahres Mai 2014 - April 2015.

Ferner ist die monatliche Datenübermittlung an das Fraunhofer IBP, der Haushaltsstromverbrauch im Vergleich zu den Bilanzannahmen des Effizienzhaus Plus sowie eine Gegenüberstellung der Stromversorgung zur Stromerzeugung enthalten.

12.1.1 Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung und Projektspezifisch

(Mai 2014 - April 2015)

Monat	Heizung + TWW+ Lüftung (inkl. Hilfsenergie)		Projektspezifisch
	Heizung + TWW	Lüftung	Monitoringtechnik
	[kwh]	[kwh]	[kwh]
Mai 14	174,727	33,78	10,96
Jun 14	149,59	30,66	10,86
Jul 14	125,349	28,46	11,12
Aug 14	125,077	18,59	11,30
Sep 14	103,372	24,80	11,06
Okt 14	127,609	28,72	11,48
Nov 14	328,206	28,42	11,18
Dez 14	416,762	30,55	11,49
Jan 15	483,702	27,86	11,48
Feb 15	487,752	29,30	10,37
Mrz 15	418,632	33,13	11,53
Apr 15	249,324	32,14	11,19
Summe	3190,10	346,41	134,01

Abb. 98 Stromverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasser, Lüftung und Projektspezifisch (Monitoringtechnik), gem. Messwarterfassung von Mai 2014 - April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

(Mai 2015 - April 2016)

Monat	Heizung + TWW+ Lüftung (inkl. Hilfsenergie)		Projektspezifisch
	Heizung + TWW	Lüftung	Monitoringtechnik
	[kwh]	[kwh]	[kwh]
Mai 15	156,496	32,72	11,574
Jun 15	116,613	29,979	11,205
Jul 15	91,773	26,608	11,447
Aug 15	69,279	23,334	11,584
Sep 15	168,214	21,666	11,179
Okt 15	366,618	30,182	11,576
Nov 15	455,206	28,883	11,182
Dez 15	573,949	30,001	11,555
Jan 16	838,391	31,484	11,538
Feb 16	691,249	37,821	10,792
Mrz 16	642,467	43,227	11,548
Apr 16	393,499	45,28	10,817
Summe	4563,75	381,19	136,00

Abb. 99 Stromverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasser, Lüftung und Projektspezifisch (Monitoringtechnik), gem. Messwerterfassung von Mai 2015 - April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

12.1.2 Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch (Mai 2014 - April 2015)

Monat	Bezug		Photovoltaik				Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch	
	Netz-bezug [kwh]	PV-Ertrag [kwh]	PV-Einspeisung [kwh]	PV-Eigenverbrauch [kwh]	Heizung + TWW [kwh]	Hilfsenergie Lüftung und Sole-WT [kwh]	Hilfsenergie (Regelung, Pumpen für TWW + H-Verteilung) [kwh]	Beleuchtung [kwh]	Kochen* [kwh]	Haushaltsgeräte* [kwh]	Haushaltsstrom über Steckdosen (Rest) [kwh]	[kwh]	[kwh]	
Mai 14	260,65	958,78	761,09	197,69	143,53	33,78	31,20	18,47	10,01	38,09	172,27	447,34		
Jun 14	243,92	1.044,34	858,82	185,51	125,35	30,66	24,24	13,39	26,18	37,16	161,60	418,57		
Jul 14	211,11	966,40	805,89	160,51	104,06	28,46	21,28	11,67	17,29	35,55	142,18	360,50		
Aug 14	205,29	823,43	650,75	172,67	102,14	18,59	22,94	18,04	35,78	34,40	134,78	366,66		
Sep 14	211,08	567,42	407,37	160,05	80,56	24,80	22,82	22,34	29,48	36,50	143,59	360,07		
Okt 14	320,98	302,89	177,53	125,35	99,59	28,72	28,02	28,20	38,72	40,05	171,55	434,85		
Nov 14	556,14	112,40	36,18	76,22	276,50	28,42	51,71	33,33	30,69	32,48	168,05	621,19		
Dez 14	719,64	60,30	13,99	46,31	345,34	30,55	71,42	38,76	43,91	47,23	177,25	754,46		
Jan 15	717,51	98,74	21,93	76,81	412,28	27,86	71,42	30,49	37,91	38,57	164,30	782,83		
Feb 15	629,73	263,43	121,96	141,47	425,97	29,30	61,78	28,05	31,57	38,83	145,34	760,83		
März 15	482,00	690,74	450,26	240,48	373,65	33,13	44,99	22,90	35,32	47,31	153,66	710,95		
Apr 15	282,22	1.215,59	964,38	251,21	220,56	32,14	28,76	17,40	43,32	45,36	134,70	522,24		
Summe	4.840,27	7.104,42	5.270,15	1.834,28	2.709,52	346,41	480,58	283,04	380,16	471,52	1.869,26	6.540,49		

*E-Herd + Backofen

**Spülmaschine, Waschmaschine, Kühlschrank

Abb. 100 Stromverbrauch für Bezug und Hausverbrauch, gem. Messwerterfassung von Mai 2014-April 2015 Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

(Mai 2015 - April 2016)

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch	
	Netzbezug [kwh]	PV-Ertrag [kwh]	PV-Einspeisung [kwh]	PV-Eigenverbrauch [kwh]	Heizung + TWW [kwh]	Hilfsenergie Lüftung und Sole-WT [kwh]	Hilfsenergie (Regelung, Pumpen für TWW + H-Verteilung) [kwh]	Beleuchtung [kwh]	Kochen* [kwh]	Haushaltsgeräte* [kwh]		Haushaltsstrom über Steckdosen (Rest) [kwh]
Mai 15	195,51	1.076,40	817,75	258,65	129,54	32,72	26,95	15,93	39,99	41,38	156,08	442,58
Jun 15	164,52	1.095,71	873,73	221,98	95,55	29,98	21,06	17,81	35,16	37,45	138,28	375,29
Jul 15	133,68	1.133,69	939,90	193,80	71,86	26,61	19,91	18,90	15,26	37,28	126,20	316,03
Aug 15	108,34	1.058,38	914,72	143,66	48,51	23,33	20,77	13,38	3,77	14,89	115,78	240,42
Sep 15	249,11	582,53	401,60	180,93	141,14	21,67	27,07	22,04	32,35	37,74	136,85	418,86
Okt 15	518,39	312,30	150,44	161,86	331,80	30,18	34,82	23,78	47,52	41,92	158,67	668,68
Nov 15	642,14	157,50	45,65	111,85	424,29	28,88	30,92	29,25	38,36	29,15	161,95	742,81
Dez 15	813,51	105,59	13,89	91,71	553,12	30,00	20,83	32,39	49,35	34,72	173,26	893,67
Jan 16	1.047,21	132,58	21,44	111,14	817,56	31,48	20,83	31,60	30,99	36,53	177,81	1.146,81
Feb 16	849,48	227,51	81,30	146,21	671,76	37,82	19,49	25,62	37,43	31,45	161,33	984,90
März 16	712,46	546,95	294,95	252,00	621,63	43,23	20,83	21,00	38,81	34,48	172,93	952,92
Apr 16	427,81	913,09	615,44	297,65	340,98	45,28	52,52	18,55	33,77	37,10	186,44	714,64
Summe	5.862,16	7.342,24	5.170,80	2.171,44	4.247,74	381,19	316,01	270,25	402,75	414,08	1.865,57	7.897,59

*E-Herd + Backofen

**Spülmaschine, Waschmaschine, Kühlschrank

Abb. 101 Stromverbrauch für Bezug und Hausverbrauch, gem. Messwertfassung von Mai 2015-April 2016 Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

12.1.3 Zusammenstellung des Verbrauchs sonstiger Energieträger (Mai 2014 - April 2015)

Monat	Kamin		Gas	
	Holzverbrauch	Heizung + TWW (Heizwert*)	Gasverbrauch	Kochen**
	[kg]	[kwh]	[kg]	[kwh]
Mai 14	50,67	203,69	0,18	2,52
Jun 14	15,13	60,82	0	0,00
Jul 14	0	0,00	0	0,00
Aug 14	0	0,00	0,33	4,61
Sep 14	118,5	476,37	0	0,00
Okt 14	221,5	890,43	0	0,00
Nov 14	363,5	1461,27	0,1	1,40
Dez 14	633	2544,66	0	0,00
Jan 15	463	1861,26	0	0,00
Feb 15	394	1583,88	0	0,00
Mrz 15	234	940,68	0	0,00
Apr 15	10	40,20	0	0,00
Summe	2.503,30	10.063,27	0,61	8,53

*4,02 kWh/kg, Nadelholz, 20 % Feuchte

**Brennwert: 13,98 kWh/kg

Abb. 102 Verbrauch sonstiger Energieträger, gem. Messwernerfassung von Mai 2014 - April 2015,
Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

(Mai 2015 - April 2016)

Monat	Kamin		Gas	
	Holzver- brauch	Heizung + TWW (Heizwert*)	Gasver- brauch	Kochen**
	[kg]	[kwh]	[kg]	[kwh]
Mai 15	0,00	0,00	0,00	0,00
Jun 15	0,00	0,00	0,00	0,00
Jul 15	0,00	0,00	0,00	0,00
Aug 15	0,00	0,00	0,00	0,00
Sep 15	0,00	0,00	0,00	0,00
Okt 15	2,00	8,04	0,00	0,00
Nov 15	0,00	0,00	0,00	0,00
Dez 15	0,00	0,00	0,00	0,00
Jan 16	10,00	40,20	0,00	0,00
Feb 16	0,00	0,00	0,00	0,00
Mrz 16	15,00	60,30	0,00	0,00
Apr 16	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	27,00	108,54	0,00	0,00

*4,02 kWh/kg, Nadelholz, 20 % Feuchte

**Brennwert: 13,98 kWh/kg

Abb. 103 Verbrauch sonstiger Energieträger, gem. Messwerterfassung von Mai 2015- April 2016,
Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

12.1.4 Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG, OG und DG (Mai 2014 - April 2015)

Monat	Küche (EG)	Wohnzimmer (EG)	Kind 1 (1.OG)	Kind 2 (1.OG)	Studio (1.OG)	Bad (1.OG)	Galerie DG (DG)	Schlafen (DG)
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mai 14	0,1	-	2,0	-	-	1,9	-	25,0
Jun 14	21,4	-	22,7	-	-	21,7	-	27,5
Jul 14	22,9	-	23,8	-	-	22,9	-	28,6
Aug 14	21,4	-	22,3	-	-	21,5	-	26,8
Sep 14	20,1	-	20,9	-	-	20,1	-	25,3
Okt 14	18,9	-	19,5	-	-	18,7	-	23,4
Nov 14	19,2	-	20,3	-	-	19,4	-	23,2
Dez 14	19,5	-	20,5	-	-	19,6	-	23,9
Jan 15	18,9	24,0	19,9	18,9	18,4	19,1	19,4	23,1
Feb 15	19,8	21,7	19,2	19,5	19,0	19,8	19,5	19,9
Mrz 15	19,9	20,7	19,4	19,5	20,2	20,3	19,7	19,7
Apr 15	20,0	20,8	20,3	20,2	20,3	20,7	20,9	21,1
Mittelwert Heizperiode*	19,5	21,8	19,8	19,5	19,5	19,7	19,9	22,0

*Heizperiode Oktober 2014 bis April 2015

Temperaturabgleich der Sensoren ab Feb. 2015

Mittelwerte inkl. Messungen vor Temperaturabgleich der Sensoren (die Temperaturen lagen nach dem Abgleich ca. 3°C niedriger)

Abb. 104 Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG, OG und DG, gem. Messwerterfassung von Mai 2014-April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

(Mai 2015 - April 2016)

Monat	Küche (EG)	Wohnzimmer (EG)	Kind 1 (1.OG)	Kind 2 (1.OG)	Studio (1.OG)	Bad (1.OG)	Galerie DG (DG)	Schlafen (DG)
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Mai 15	20,9	21,8	21,2	20,9	21,0	21,1	22,0	22,1
Jun 15	21,8	22,8	21,8	21,6	21,7	21,7	22,4	22,5
Jul 15	24,4	25,5	24,0	24,0	24,2	24,2	24,9	25,4
Aug 15	23,5	24,6	23,2	23,2	23,2	23,2	23,5	23,8
Sep 15	20,7	21,5	20,5	20,5	20,6	20,7	20,6	20,7
Okt 15	21,0	21,8	19,9	20,6	20,7	20,9	19,7	19,1
Nov 15	20,8	21,4	19,7	20,5	20,5	20,8	19,2	18,8
Dez 15	21,1	21,5	20,3	21,3	21,0	21,0	20,2	20,4
Jan 16	21,2	21,5	20,9	20,0	21,1	20,9	20,1	20,1
Feb 16	21,3	21,5	20,8	19,7	21,1	21,0	20,1	20,3
März 16	21,2	21,5	20,8	19,9	21,1	20,9	20,3	20,7
Apr 16	21,2	21,6	20,6	20,2	21,1	20,7	21,0	21,4
Mittelwert Heizperiode*	21,1	21,5	20,4	20,3	20,9	20,9	20,1	20,1

*Heizperiode März bis April 2015 und Oktober 2015 bis Februar

Abb. 105 Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG, OG und DG, gem. Messwerterfassung von Mai 2015-April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

12.1.5 Zusammenstellung der gemessenen mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten

(Mai 2014 - April 2015)

Monat	Wohnzimmer (EG)*	Schlafen (DG)
	%	%
Mai 14	41	-
Jun 14	39	-
Jul 14	44	-
Aug 14	45	-
Sep 14	49	-
Okt 14	52	-
Nov 14	43	-
Dez 14	33	-
Jan 15	33	30
Feb 15	30	27
Mrz 15	32	31
Apr 15	31	32

Abb. 106 Gemessene mittlere monatliche relative Luftfeuchte, gem. Messwerterfassung von Mai 2014 - April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

(Mai 2015 - April 2016)

Monat	Wohnzimmer (EG)*	Schlafen (DG)
	%	%
Mai 14	37,2	35,3
Jun 14	41,3	39,9
Jul 14	41,9	40,1
Aug 14	42,8	42,5
Sep 14	45,8	47,2
Okt 14	37,9	44,2
Nov 14	37,6	43,1
Dez 14	37,6	38,9
Jan 15	30,6	32,4
Feb 15	30,0	30,9
Mrz 15	27,9	27,8
Apr 15	32,0	30,9

Abb. 107 Gemessene mittlere monatliche relative Luftfeuchte, gem. Messwerterfassung von Mai 2014 - April 2015, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

12.1.6 Zusammenstellung der Datenübermittlung an das Fraunhofer IBP

(Mai 2014 - April 2015)

Verbrauch/Produktion Strom und Wärme	Monatsbilanz 2014												Monatsbilanz 2015			
	Monat	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Jahr		
Öffentliches Stromnetz																
Versorgung aus dem Netz	[kWh]	260,65	243,92	211,11	205,29	211,08	320,98	556,14	719,64	717,51	629,73	482,00	282,22	4840,27		
Rückspeisung in das Netz	[kWh]	761,09	858,82	805,89	650,75	407,37	177,53	36,18	13,99	21,93	121,96	450,26	964,38	5270,15		
Photovoltaik																
PV-Produktion gesamt	[kWh]	958,78	1.044,34	966,40	823,43	567,42	302,89	112,40	60,30	98,74	263,43	690,74	1.215,59	7104,42		
PV-Eigenverbrauch	[kWh]	197,69	185,51	160,51	172,67	160,05	125,35	76,22	46,31	76,81	141,47	240,48	251,21	1834,28		
PV - Rückspeisung	[kWh]	761,09	858,82	805,89	650,75	407,37	177,53	36,18	13,99	21,93	121,96	450,26	964,38	5270,15		
Wärmeerzeugerel. Wärmepumpe inkl. Heizstab																
Stromverbrauch	[kWh]	143,53	125,35	104,06	102,14	80,56	99,59	276,50	345,34	412,28	425,97	373,65	220,56	2709,52		
Wärmeerzeugung	[kWh]	417,00	400,00	346,00	336,00	280,00	350,00	1.004,00	1.164,00	1.351,00	1.334,00	1.199,00	710,00	8891,00		
Gasherd (Flüssiggas)																
Gasverbrauch	[kg]	0,18	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61		
Wärmeerzeugung (berechnet, Brennwert: 13,98 kWh/kg)	[kWh]	2,52	0,00	0,00	4,61	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,53		
Holzkaamin																
Holzverbrauch	[kg]	50,67	15,13	0,00	0,00	118,50	221,5	363,5	633,0	463,0	394,0	234,0	10,0	2503,30		
Wärmeerzeugung (Ladung TWV- und Pufferspeicher)	[kWh]	57,00	18,00	0,00	0,00	141,00	291,00	439,00	872,00	694,00	552,00	278,00	35,00	3377,00		
Heizwert Kaamin (4,02 kWh/kg, Nadelholz, 20% Feuchte) ggf.	[kWh]	203,69	60,82	0,00	0,00	476,37	890,43	1.461,27	2.544,66	1.861,26	1.583,88	940,88	40,2	10.063,27		
TWW-Speicher																
Wärme Speichereingang	[kWh]	378,00	367,00	319,00	316,00	344,00	381,00	353,00	480,00	389,00	428,00	433,00	385,00	4573,00		
Wärme Speicherausgang	[kWh]	nicht erfasst	nicht erfasst													
Heizpufferspeicher																
Wärme Speichereingang	[kWh]	96,00	51,00	27,00	20,00	77,00	260,00	1.090,00	1.556,00	1.656,00	1.458,00	1.044,00	360,00	7695,00		
Wärme Speicherausgang	[kWh]	27,00	5,00	2,00	1,00	1,00	187,00	1.064,00	1.494,00	1.585,00	1.422,00	1.009,00	335,00	7132,00		
Nutzenergie TGA und Haushalt																
Beleuchtung	[kWh]	18,47	13,39	11,67	18,04	22,34	28,20	33,33	38,76	30,49	28,05	22,90	17,40	283,04		
Kochen	[kWh]	10,01	26,18	17,29	35,78	29,48	38,72	30,69	43,91	37,91	31,57	35,32	43,32	380,16		
Haushalts- + Elektrogeräte	[kWh]	210,37	198,76	177,73	169,18	180,09	211,60	200,53	224,48	202,88	184,17	200,97	180,06	2340,81		
Hilfsenergie Anlagentechnik	[kWh]	64,98	54,89	49,74	41,53	47,61	56,74	80,13	101,98	99,29	91,08	78,12	60,90	826,99		
Messtechnik Monitoring	[kWh]	10,96	10,86	11,12	11,30	11,06	11,48	11,18	11,49	11,48	10,37	11,53	11,19	134,01		

Anmerkung Mai: Im Monat Mai wurde der Backofen noch nicht separat erfasst. Unter "Kochen" ist ausschließlich der Herd enthalten. In "Haushalt- + Elektrogeräte" ist der Backofen enthalten.

Anmerkung Juni: Werte wurden auf Angabe von Bauherren angepasst: Holz aus Mai wurde noch im Juni verbraucht; Holzverbrauch wurde auf Wärmemenge bezogen

Anmerkung Juni: korrigierte bzw. erweiterte Angabe

Anmerkung Juli: Werte wurden auf Angabe von Bauherren angepasst: Gasverbrauch im Juni = 0

Anmerkung August: Am 04.08.14 wurden von 22:00 Uhr bis 23:15 Uhr keine Messwerte erfasst. Die Stunden vom 04.08. (22:00 Uhr, 23:00 Uhr) und 05.08. (00:00 Uhr) fließen daher nicht in den monatlichen Summe und Mittelwert der Messwertfassung ein.

Anmerkung September: Am 25.09.14 wurden von 9:30 Uhr bis 13:15 Uhr keine Messwerte erfasst. Die Stunden vom 25.09. (10:00 Uhr, 14:00 Uhr) fließen daher nicht in den monatlichen Summen- und Mittelwert der Messwertfassung ein.

Anmerkung Oktober: Am 26.10.14 wurden von 00:00 Uhr bis 02:00 Uhr keine bzw. fehlerhafte Messwerte erfasst. Die Stunden vom 26.10. (00:00 Uhr, 02:00 Uhr) fließen daher nicht in den monatlichen Summen- und Mittelwert der Messwertfassung ein.

Anmerkung Februar 2015: Am 06.02. und 23.02 wurden z. T. von 0:00 bis 02:00 Uhr und von 08:00 bis 09:00 Uhr keine bzw. fehlerhafte Messwerte erfasst. Die Messwerte wurde z. T. durch den Mittelwert des Wertes zuvor und danach ersetzt. Je nach Plausibilität wurden die Messwerte zuvor weitergeführt (z. B. bei Temperaturen).

Abb. 108 Datenübermittlung an das Fraunhofer IBP, Messwertfassung von Mai 2014-April 2015,

Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

(Mai 2015 - April 2016)

Verbrauch/Produktion Strom und Wärme	Monatsbilanz 2015												Monatsbilanz 2016			
	Monat	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Jahr		
Öffentliches Stromnetz																
Versorgung aus dem Netz	[kWh]	195,51	164,52	133,68	108,34	249,11	518,39	642,14	813,51	1.047,21	849,48	712,46	427,81	5862,16		
Rückspeisung in das Netz	[kWh]	817,75	873,73	939,90	914,72	401,60	150,44	45,65	13,89	21,44	81,30	294,95	615,44	5170,80		
Photovoltaik																
PV-Produktion gesamt	[kWh]	1.076,40	1.095,71	1.133,69	1.058,38	582,53	312,30	157,50	105,59	132,58	227,51	546,95	913,09	7942,24		
PV Eigenverbrauch	[kWh]	258,65	221,98	193,80	143,66	180,93	161,86	111,85	91,71	111,14	146,21	252,00	297,65	2171,44		
PV - Rückspeisung	[kWh]	817,75	873,73	939,90	914,72	401,60	150,44	45,65	13,89	21,44	81,30	294,95	615,44	5170,80		
Wärmeerzeuger el. Wärmepumpe inkl. Heizstab																
Stromverbrauch	[kWh]	129,54	95,55	71,86	48,51	141,14	331,80	424,29	553,12	817,56	671,76	621,63	340,98	4247,74		
Wärmeerzeugung	[kWh]	456,00	351,00	311,00	165,00	501,00	1.237,00	1.437,00	1.737,00	2.301,00	1.953,00	1.780,00	1.096,00	13325,00		
Gasherd (flüssiges Gas)																
Gasverbrauch	[kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Wärmeerzeugung (berechnet), Brennwert: 13,98 kWh/kg	[kWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Holzkaamin																
Holzverbrauch	[kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	10,0	0,0	15,0	0,0	27,00		
Wärmeerzeugung (Laubung TWW- und Pufferspeicher)	[kWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	8,00	0,00	18,00	0,00	31,00		
Heizwert Kamin (e.02 kWh/kg, Nadelholz, 20 % Feuchte) je	[kWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,04	0,00	0,00	40,20	0,00	60,30	0,00	108,54		
TWW-Speicher																
Wärme Speichereingang	[kWh]	367,00	331,00	294,00	154,00	330,00	344,00	359,00	405,00	413,00	377,00	408,00	388,00	4170,00		
Wärme Speicherausgang	[kWh]	nicht erfasst	nicht erfasst													
Heizpufferspeicher																
Wärme Speichereingang	[kWh]	89,00	20,00	17,00	11,00	171,00	898,00	1.078,00	1.332,00	1.896,00	1.576,00	1.390,00	708,00	9186,00		
Wärme Speicherausgang	[kWh]	69,00	4,00	0,00	0,00	167,00	895,00	1.065,00	1.329,00	1.867,00	1.566,00	1.386,00	700,00	9048,00		
Nutzenergie TGA und Haushalt																
Beleuchtung	[kWh]	15,93	17,81	18,90	13,38	22,04	23,78	29,25	32,39	31,60	25,62	21,00	18,55	270,25		
Kochen	[kWh]	39,99	35,16	15,26	3,77	32,35	47,52	38,36	49,35	30,99	37,43	38,81	33,77	402,75		
Haushalts- + Elektrogeräte	[kWh]	197,45	175,72	163,49	130,67	174,59	200,59	191,10	207,97	214,35	192,78	207,41	223,54	2279,65		
Hilfsenergie Anlagentechnik	[kWh]	59,67	51,04	46,52	44,10	48,74	65,01	59,80	50,83	52,32	57,31	64,06	97,80	697,20		
Messtechnik Monitoring	[kWh]	11,57	11,21	11,45	11,58	11,18	11,58	11,18	11,56	11,54	10,79	11,55	10,82	136,00		

Aufgrund von Stromausfall sind die Messwerte vom 04.07.15 (0:00 bis 2:00 Uhr) und 08.07.15 (5:00 bis 09:00 Uhr) nicht in den Messergebnissen enthalten. (In dem folgenden Tabellenblatt zur Stundenauswertung rot markiert)

Abb. 109 Datenübermittlung an das Fraunhofer IBP, Messwerterfassung von Mai 2015-April 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

12.1.7 Haushaltsstromverbrauch der Messjahre 2014-2015 und 2015-2016 im Vergleich zu den Bilanzannahmen des Effizienzhaus Plus

Haushaltsstromverbrauch des Monitoringjahres 2014-2015 im Vergleich zum Effizienzhaus Plus															
HHS-Verbrauch		Kochen			Beleuchtung	Haushaltsgeräte				sonstiges			Gesamt-haushaltsstromverbrauch		
		ges.	Herd	Backofen		ges.	Kühlschrank	Spülmaschine	Waschmaschine	Wäschetrockner	ges.	Steckdose Wohnzimmer		Steckdose Küche	Steckdosen Rest
Messjahr 2014-2015	[kWh]	380	193	187	283	472	108	201	163	-	1.869	15	195	1.660	3.004
prozentualer Anteil am Gesamt-HHS-Verbrauch	[%]	13	7	6	10	16	4	7	6	-	63	0	7	56	102
Bilanzwerte des Effizienzhaus Plus*	[kWh]	375			375	1250					500				2.500
prozentualer Anteil am Gesamt-HHS-Bedarf	[%]	15			15	50					20				100
Differenz Messung zu Bilanz	[kWh]	5			-92	-778					1.369				504
prozentuale Abweichung	[%]	1			-25	-62					274				20

* Bezug auf 125 m²

Haushaltsstromverbrauch des Monitoringjahres 2015-2016 im Vergleich zum Effizienzhaus Plus															
HHS-Verbrauch		Kochen			Beleuchtung	Haushaltsgeräte				sonstiges			Gesamt-haushaltsstromverbrauch		
		ges.	Herd	Backofen		ges.	Kühlschrank	Spülmaschine	Waschmaschine	Wäschetrockner	ges.	Steckdose Wohnzimmer		Steckdose Küche	Steckdosen Rest
Messjahr 2015-2016	[kWh]	403	199	204	270	414	111	171	132	-	1.866	14	196	1.656	2.953
prozentualer Anteil am Gesamt-HHS-Verbrauch	[%]	14	7	7	9	14	4	6	4	-	63	0	7	56	100
Bilanzwerte des Effizienzhaus Plus*	[kWh]	375			375	1250					500				2.500
prozentualer Anteil am Gesamt-HHS-Bedarf	[%]	15			15	50					20				100
Differenz Messung zu Bilanz	[kWh]	28			-105	-836					1.366				453
prozentuale Abweichung	[%]	7			-28	-67					273				18

* Bezug auf 125 m²

Abb. 110 Haushaltsstromverbrauch der Messjahre 2014 – 2015 und 2015 – 2016 im Vergleich zu den Bilanzannahmen des Effizienzhaus Plus, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH

12.1.8 Stromversorgung und -erzeugung der Messjahre 2014-2015 und 2015-2016

Monitoringjahr 2014 - 2015													
Monat	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Jahr
Stromversorgung / -erzeugung													
Versorgung aus dem Netz [kWh]	260,65	243,92	211,11	205,29	211,08	320,98	556,14	719,64	717,51	629,73	482,00	282,22	4.840,27
Rückspeisung in das Netz [kWh]	761,09	858,82	805,89	650,75	407,37	177,53	36,18	13,99	21,93	121,96	450,26	964,38	5.270,15
PV-Produktion gesamt [kWh]	958,78	1044,34	966,40	823,43	567,42	302,89	112,40	60,30	98,74	263,43	690,74	1215,59	7.104,42
PV Eigengebrauch [kWh]	197,69	185,51	160,51	172,67	160,05	125,35	76,22	46,31	76,81	141,47	240,48	251,21	1.834,28
Monitoringjahr 2015 - 2016													
Monat	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Jahr
Stromversorgung / -erzeugung													
Versorgung aus dem Netz [kWh]	195,51	164,52	133,68	108,34	249,11	518,39	642,14	813,51	1.047,21	849,48	712,46	427,81	5.862,16
Rückspeisung in das Netz [kWh]	817,75	873,73	939,90	914,72	401,60	150,44	45,65	13,89	21,44	81,30	294,95	615,44	5.170,80
PV-Produktion gesamt [kWh]	1076,40	1095,71	1133,69	1058,38	582,53	312,30	157,50	105,59	132,58	227,51	546,95	913,09	7.342,24
PV Eigengebrauch [kWh]	258,65	221,98	193,80	143,66	180,93	161,86	111,85	91,71	111,14	146,21	252,00	297,65	2.171,44

Abb. 1.11 Stromversorgung und -erzeugung der Messjahre 2014 – 2015 und 2015 – 2016, Quelle: ina Planungsgesellschaft mbH